



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

PATÓGENOS EN SEMILLAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) PRESENTES

EN DIVERSOS AMBIENTES

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

PRESENTA:

GUADALUPE GARCÍA SOLANO

DIRECTOR DE TESIS:

DR. FRANCISCO PALEMÓN ALBERTO

CO-DIRECTOR DE TESIS:

DR. SANTO ÁNGEL ORTEGA ACOSTA

IGUALA DE LA INDEPENDENCIA, GUERRERO, MÉXICO, DICIEMBRE DE 2021.

La presente tesis titulada: **PATÓGENOS EN SEMILLAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) PRESENTES EN DIVERSOS AMBIENTES** realizada por la alumna Guadalupe García Solano, que ha sido revisada y aprobada por el comité tutorial como requisito para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

COMITÉ TUTORIAL

Director de tesis:



Dr. Francisco Palermón Alberto

Co-Director de tesis:



Dr. Santo Ángel Ortega Acosta

Asesor:



Dr. Agustín Damián Nava

Asesor:



Dr. Porfirio Juárez López

Asesor:



Dr. Paul García Escamilla

IGUALA DE LA INDEPENDENCIA, GUERRERO, MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2021.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a dios por la dicha de tener vida y el don de ser perseverante cada día, por todos esos días buenos y malos en el trayecto de mi formación profesional, que sin duda fueron de mucho aprendizaje y por haberme permitido finalizar este trabajo de investigación.

A la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local por todos los aprendizajes adquiridos durante los dos años de formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT, por el apoyo mediante la beca otorgada en el periodo contemplado como estudiante de maestría.

Al Dr. Francisco Palemón Alberto, con gran aprecio y agradecimiento por haberme dado la oportunidad de asesorarme en este trabajo de investigación, por haber sido parte de mi formación y por todo su apoyo para lograr la finalización de este trabajo.

Al Dr. Santo Ángel Ortega Acosta, mi más sincero agradecimiento por instruirme en cada uno de los objetivos de este trabajo, por todos sus consejos, enseñanzas y conocimientos compartidos.

Al Dr. Agustín Damián Nava, por las sugerencias y por brindarme la oportunidad de hacer uso del laboratorio para el establecimiento del experimento.

Al Dr. Porfirio Juárez López, por ser partícipe en este trabajo de tesis, por las sugerencias y aportaciones.

Al Dr. Paul García Escamilla, por formar parte de mi comité tutorial y por las sugerencias en la revisión de escritura.

Al Dr. Nelson Avonce Vergara, por el apoyo en la extracción de ADN para la identificación de las especies de hongos.

A Pablo Rufino Marcelino, con mucho aprecio por haberme acompañado y apoyado en este trabajo de investigación.

DEDICATORIAS

A mis padres: Florentina Solano Espíndola y Gerardo García Bernardino, por ser mi fortaleza de cada día, por todos sus consejos y apoyo otorgados.

A mis hermanas (os) Amanda, Paulina, Ma. Concepción, Pedro, Efrén, Remedios y Nicolás.

CONTENIDO	página
CAPITULO I	1
IDENTIFICACIÓN MORFOLÓGICA DE PATÓGENOS AISLADOS EN MAÍCES CRIOLLOS	1
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	5
Objetivo.....	5
Hipótesis.....	5
MATERIALES Y MÉTODOS	5
Muestreo de mazorcas de maíz criollo	5
Lugar de estudio	6
Aislamiento de hongos	7
Identificación de hongos	7
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
Aislamientos de hongos obtenidos	9
CONCLUSIONES	30
LITERATURA CITADA.....	31
CAPITULO II	45
FRECUENCIA DE PATÓGENOS EN SEMILLAS DE MAÍCES CRIOLLOS	45
RESUMEN.....	45
INTRODUCCIÓN	47
OBJETIVO E HIPÓTESIS	48
Objetivo.....	48
Hipótesis.....	48
MATERIALES Y MÉTODOS	48
Muestreo de mazorcas de maíz criollo	48
Procesamiento de muestras	49
Preparación y desinfestación de fragmentos de maíz.....	50
Preparación de cajas Petri y siembra de fragmentos de maíz.....	50
Crecimiento y estimación de hongos en cada caja Petri.....	50

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
CONCLUSIONES	61
LITERATURA CITADA.....	62
CAPITULO III	71
PRUEBAS DE PATOGENICIDAD EN SEMILLAS DE MAÍCES CRIOLLOS	71
RESUMEN.....	71
INTRODUCCIÓN	73
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	74
Objetivo.....	74
Hipótesis.....	74
MATERIALES Y MÉTODOS	74
Lugar de estudio	74
Prueba de patogenicidad.....	74
Variables respuesta.....	76
Severidad de semillas de maíz.....	77
Germinación	77
Severidad de radícula	77
Severidad de hoja	77
Análisis estadístico de datos.....	78
Análisis molecular de hongos.....	79
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	80
Prueba de patogenicidad.....	80
Experimento 1	80
Maíz amarillo	80
Maíz Blanco	83
Maíz Morado.....	85
Maíz Rojo Intenso	88
Maíz Rosado.....	91
Experimento 2	93
Maíz amarillo	93
Maíz Blanco	96

Maíz Morado	98
Maíz Rojo Intenso	101
Maíz Rosado.....	103
Análisis molecular.....	106
DISCUSIÓN.....	107
CONCLUSIONES	110
LITERATURA CITADA.....	111

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Genotipos criollos de maíz (<i>Zea mays</i> L.) colectados en cinco localidades pertenecientes a cuatro municipios de tres Regiones del Estado de Guerrero, periodo enero - febrero 2019.....	6
2	Claves de aislamientos identificados morfológicamente en semillas criollas de maíz sintomáticas y asintomáticas pertenecientes a cinco localidades.....	9
3	Hongos estimados en (%), aislados de semillas sintomáticas y asintomáticas, en cinco razas de maíz criollo.....	11
4	Genotipos de maíz criollo (<i>Zea mays</i> L.) colectados en cinco localidades del Estado de Guerrero, periodo enero - febrero 2019.....	49
5	Fragmentos de semillas de maíces criollos (<i>Zea mays</i> L.) depositadas por caja Petri.....	51
6	Frecuencia de hongos presentes en semillas sintomáticas y asintomáticas de maíces criollos procedentes de cinco localidades del Estado de Guerrero; expresada en porcentaje.....	52
7	Material genético y hongos utilizados como tratamiento en el ensayo de pruebas de patogenicidad en los meses de noviembre de 2019 y febrero de 2020.....	75
8	Escala de Horsfall-Barratt (1945) para estimar la severidad inducida por hongos inoculados en semillas de maíces criollos asintomáticas.....	78
9	Secuencias analizadas con iniciadores ITS1, ITS2, ITS4, comparadas con la base de datos de BLAST.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Estructuras reproductivas de <i>Aspergillus flavus</i> . Aislado de mazorcas de maíz enfermas colectadas en la localidad de San Francisco Lagunita del Estado de Guerrero, 2019. A. Conidióforo. B – C. cabeza conidial.....	12
2	Morfología de <i>Aspergillus</i> sp. (anamorfo) - <i>Emericella</i> sp. (teleomorfo). Aislado de mazorcas de maíz sintomáticas de la localidad de San Francisco Lagunita. Anamorfo; A. estípite no ramificado, sin septos, con terminación de una vesícula, conidios en agrupamientos. Teleomorfo; B. Células Hülle, C. Cleistotecio D. Ascosporas.....	14
3	<i>Fusarium acuminatum</i> . Aislado de mazorcas de maíz asintomáticas de la localidad de San Francisco Lagunita. A, B. macroconidio recto y curvado con el ápice doblado, de dos a tres septos. C. Microconidios de forma ovalada, oblonga, alantoidea de 0 a 1 septo.....	15
4	<i>Fusarium graminearum</i> . Aislados en mazorcas de maíz sintomáticas colectadas en dos localidades del Estado de Guerrero, 2019. Cuamañotepec: A. Macroconidio recto con 5 septos. San Francisco Lagunita: B. Macroconidio con el dorso curvado, con células apicales puntiagudas, de 5 septos.....	16
5	<i>Fusarium oxysporum</i> , Aislados en mazorcas de maíz sintomáticas colectadas en la localidad de San Francisco Lagunita, Estado de Guerrero, 2019. A. Macroconidio recto, B. Macroconidio curvado con célula apical ligeramente enganchada, ambos con 2 a 3 septos, C. Microconidios en abundancia de forma ovalada de 0 septos.....	18
6	<i>Gibberella moniliformis</i> Aislado de mazorcas de maíz sintomáticas de la localidad de Tlanipatlán. A, B. Macroconidios con célula del ápice doblado, de tres a cuatro septos, C. Microconidios de óvalo a largo, obovoide de solo una base truncada, de 0 a 1 septo.....	19
7	Estructuras reproductivas de <i>Talaromyces variabilis</i> , aislado de mazorcas de maíz sintomáticas de la localidad de San Francisco Lagunita A. Conidióforos.	21

	B. Fiálide en forma de matraz, conidios producidos en columnas, en forma de escoba o pincel.....	
8	Estructura microscópica del género <i>Phomopsis</i> sp. Aislado de mazorcas de maíz sintomáticas de la localidad de Pascala del Oro. A, B. Micelios septado y no septado.....	22
9	<i>Sarocladium strictum</i> , aislado de mazorca de maíz sintomática de la localidad de San Francisco Lagunita A. Conidios sueltos y agrupados A. Fiálides que producen conidios en cabezas falsas.....	24
10	<i>Setosphaeria túrcica</i> , aislado de mazorca de maíz sintomática de la localidad de San Francisco Lagunita A – B. Estructura micelial de color marrón claro y hialino con septo.....	25
11	<i>Stenocarpella macrospora</i> . Aislado de mazorcas de maíz sintomáticas de la comunidad de Apetlanca, colectadas en el Estado de Guerrero, 2019. A-B. Desarrollo micelial septado.....	26
12	Estructura microscópica del género <i>Rhizoctonia solani</i> . Aislado de mazorcas de maíz asintomáticas de la localidad de Pascala del Oro. A. Hifas ramificadas en forma de ángulo recto de 90°. B. Hifa tabicado.....	28
13	Severidad de maíz, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo amarillo. Periodo noviembre 2019.....	81
14	Germinación de semillas de maíz criollo amarillo, inoculados con ocho hongos. Periodo noviembre 2019.....	81
15	Severidad de radícula, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo amarillo. Periodo noviembre 2019.....	82
16	Severidad de hoja, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo amarillo. Periodo noviembre 2019.....	82
17	Severidad de maíz, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo blanco. Periodo noviembre 2019.....	83
18	Germinación de semillas de maíz criollo blanco, inoculados con ocho hongos. Periodo noviembre 2019.....	84
19	Severidad de radícula, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo blanco. Periodo noviembre 2019.....	84

20	Severidad de hoja, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo blanco. Periodo noviembre 2019.....	85
21	Severidad de maíz, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo morado. Periodo noviembre 2019.....	86
22	Germinación de semillas de maíz criollo morado, inoculados con ocho hongos. Periodo noviembre 2019.....	86
23	Severidad de radícula, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo morado. Periodo noviembre 2019.....	87
24	Severidad de hoja, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo blanco. Periodo noviembre 2019.....	88
25	Severidad de maíz, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo rojo intenso. Periodo noviembre 2019.....	88
26	Germinación de semillas de maíz criollo rojo intenso, inoculados con ocho hongos. Periodo noviembre 2019.....	89
27	Severidad de radícula, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo rojo intenso. Periodo noviembre 2019.....	90
28	Severidad de hoja, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo rojo intenso. Periodo noviembre 2019.....	90
29	Severidad de maíz, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo rosado. Periodo noviembre 2019.....	91
30	Germinación de semillas de maíz criollo rojo intenso, inoculados con ocho hongos. Periodo noviembre 2019.....	92
31	Severidad de radícula, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo rosado. Periodo noviembre 2019.....	92
32	Severidad de hoja, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo rosado. Periodo noviembre 2019.....	93
33	Severidad de maíz, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo amarillo. Periodo febrero 2020.....	94
34	Germinación de semillas de maíz criollo amarillo, inoculados con trece hongos. Periodo febrero 2020.....	94

35	Severidad de radícula, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo amarillo. Periodo febrero 2020.....	95
36	Severidad de hoja, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo amarillo. Periodo febrero 2020.....	95
37	Severidad de maíz, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo blanco. Periodo febrero 2020.....	96
38	Germinación de semillas de maíz criollo blanco, inoculados con trece hongos. Periodo febrero 2020.....	97
39	Severidad de radícula, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo blanco. Periodo febrero 2020.....	97
40	Severidad de hoja, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo blanco. Periodo febrero 2020.....	98
41	Severidad de maíz, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo morado. Periodo febrero 2020.....	99
42	Germinación de semillas de maíz criollo morado, inoculados con trece hongos. Periodo febrero 2020.....	99
43	Severidad de radícula, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo morado. Periodo febrero 2020.....	100
44	Severidad de hoja, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo morado. Periodo febrero 2020.....	100
45	Severidad de maíz, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo rojo intenso. Periodo febrero 2020.....	101
46	Germinación de semillas de maíz criollo rojo intenso, inoculados con trece hongos. Periodo febrero 2020.....	102
47	Severidad de radícula, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo rojo intenso. Periodo febrero 2020.....	102
48	Severidad de hoja, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo rojo intenso. Periodo febrero 2020.....	103
49	Severidad de maíz, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo rosado. Periodo febrero 2020.....	104

50	Germinación de semillas de maíz criollo rosado, inoculados con trece hongos. Periodo febrero 2020.....	104
51	Severidad de radícula, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo rosado. Periodo febrero 2020.....	105
52	Severidad de hoja, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo rosado. Periodo febrero 2020.....	105

CAPITULO I

IDENTIFICACIÓN MORFOLÓGICA DE PATÓGENOS AISLADOS EN MAÍCES CRIOLLOS

RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) presenta diversos problemas fitosanitarios en campo y almacenamiento, entre ellos, los hongos son los causantes de la pudrición de granos de maíz. El objetivo de la investigación fue identificar morfológicamente las estructuras de los hongos aislados en semillas de maíces criollos. Se colectaron siete razas de maíz criollo: Pepitilla, Olotillo, Cónico pepitilla, Arrocillo delgado, Arrocillo, Elotes occidentales, Maíz costeño y dos razas de maíz no identificados; cada colecta correspondió a cinco mazorcas criollas sintomáticas y tres asintomáticas, ubicadas en las localidades de Apetlanca, San Francisco Lagunita y Tlanipatlán correspondientes a la región Norte, Cuamañotepec de la región Centro y Pascala del Oro de la región Costa Chica del estado de Guerrero. Para aislar los hongos, se tomaron como muestra 25 semillas sintomáticas y 10 asintomáticas, de tipo plano medio, se fragmentaron en seis segmentos por semilla, cada fragmento se desinfectó con NaClO al 1.5 % durante dos minutos, se enjuagaron con agua esterilizada por dos minutos, posteriormente se dejaron secar por 20 minutos en papel absorbente previamente esterilizado. Los seis fragmentos fueron sembrados en cajas Petri que contenía PDA, se incubaron por siete días a intervalos de 12 horas luz/oscuridad. Después de 72 horas los hongos desarrollados se seleccionaron y aislaron una colonia por cada grupo similares en coloración, mismas que fueron transferidos a nuevos PDA. Para la identificación morfológica se utilizó un microscopio compuesto. Los hongos aislados fueron *Fusarium graminearum*, *F. oxysporum*, *F. acuminatum*, *Sarocladium strictum*, *Gibberella moniliformis*, *Stenocarpella macrospora*, *Phomopsis* sp., *Talaromyces variabilis*, *Aspergillus flavus*, *Rhizoctonia solani*, *Setosphaeria turcica* y *Emericella* sp., también se registraron

segmentos sin desarrollo del hongo. En la región Centro prevaleció *Fusarium graminearum*, en la región Norte prevaleció *F. graminearum* y *F. oxysporum*, en la región Costa Chica el hongo prevalente fue *Phomopsis* sp. En las semillas de maíces criollos existen diversos hongos que causan pudrición de granos en mazorcas de maíz.

Palabras clave: aislamiento, morfología, patógenos, pudrición.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) se encuentra entre los cuatro cereales cultivados de mayor relevancia, puede ser utilizado tanto para el consumo humano, alimento para animales o para la fabricación de productos industrializados (Paliwual, 2001; Ranum *et al.*, 2014). México es considerado el centro de diversificación de este cultivo (Sánchez *et al.*, 2000; López-Torres *et al.*, 2016), en el territorio mexicano se registran 59 razas de maíz criollo (Sánchez *et al.*, 2000), del total cultivado, el 72.3 % de agricultores siembran solo semillas criollas, el 14.3 % utilizan semillas criollas y mejoradas y el 13.4 % solo cultivan semillas mejoradas (Guillén-Pérez *et al.*, 2002). Los maíces criollos que se cultivan son principalmente para autoconsumo por pequeños productores que solo los comercializan ocasionalmente y en mercados locales (López-Torres *et al.*, Magdaleno-Hernández *et al.*, 2016). El maíz presenta problemáticas fitosanitarias, entre ellas, se encuentran los hongos, causantes de enfermedades, en cultivo y almacenamiento de granos, los hongos aparte de disminuir el rendimiento de granos, pueden generar micotoxinas que ocasionan daños a la salud humana y animal (Mannaa y Kim, 2017). Entre esta multitud de problemáticas, se han reportado géneros de hongos causales de enfermedades en semillas de maíz, en todo el mundo, y los más frecuentes son; *Fusarium* spp., *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp., a nivel de especie y con mayor incidencia *Fusarium verticillioides*, *Penicillium digitatum* y *Aspergillus fumigatus*, reportado en la Provincia de Noroeste de Etiopía (Tsedaley y Adugna, 2016; Ekwomadu *et al.*, 2018). Además, en Malasia un estudio realizado ha registrado el género *Fusarium* spp., como una enfermedad de gran importancia por la pudrición que causa en las mazorcas de maíz entre ellos a *Fusarium proliferatum* y *Fusarium verticillioides* (Zainudin *et al.*, y Silva *et al.*, 2017). *Fusarium verticillioides* es también reportado como un patógeno de gran importancia en maíz por causar pudrición en el tallo y mazorcas de maíz (Gai *et al.*, 2018). *Fusarium verticillioides* se ha reportado como un patógeno muy frecuente a nivel mundial, que

afecta a diferentes partes del maíz, causando pudrición en las mazorcas y granos de maíz (de la Torre-Hernández *et al.*, 2014). En México se ha reportado la presencia de distintos géneros y especies de hongos como: *Fusarium* sp., *Fusarium andiyazi*, *F. equiseti*, *F. nygamai*, *F. oxysporum*, *Fusarium subglutinans*, *Fusarium verticillioides* y *F. cf. bullatum*, este último reportado por primera vez en México (Velarde-Félix *et al.*, 2018), *Aspergillus parasiticus* y *A. flavus* (Martínez-Padrón *et al.*, 2013), *Fusarium* sp., *Penicillium* sp., *Alternaria* sp., *Aspergillus flavus*, *Fusarium verticillioides*, *F. oxysporum* y *Fusarium moniliforme* (Betancourt y Denise, 2016) cada uno de ellos son reportados como responsables en la pudrición de mazorcas y granos de maíz. Por otra parte, Morales-Rodríguez *et al.* (2007) han reportado *F. chlamydosporum*, *F. napiforme*, *F. poae*, *F. pseudonygamai*, *F. solani*, *F. subglutinans* y *F. verticillioides* como los causantes de la pudrición de granos del maíz.

En el estado de Guerrero se han realizado estudios sobre caracterización de maíces nativos en el cual la raza Palmeño y Olotillo fueron reportados como los de mayor uso de acuerdo al criterio de los productores locales (Navarro-Garza *et al.*, 2012). Respecto a lo anterior no se encontraron reportes referentes a hongos asociados en semillas de maíces criollos. Por lo que en el presente trabajo estuvo enfocado en el aislamiento y caracterización morfológica de los agentes causales de la pudrición de mazorcas de maíces criollos.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo

Identificar morfológicamente las estructuras de los hongos aislados en semillas de maíces criollos.

Hipótesis

En las semillas de maíces criollos se observarán morfológicamente estructuras semejantes de hongos fitopatógenos del mismo género.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo de mazorcas de maíz criollo

El presente trabajo de investigación consistió de tres fases. En la primera fase se llevó a cabo el muestreo de mazorcas de enero a febrero de 2019. El muestreo consistió en coleccionar cinco mazorcas sintomáticas y tres mazorcas asintomáticas de la misma raza de maíz criollo, directamente en las trojes donde almacenan las mazorcas los agricultores. Las muestras se colocaron en bolsas de plástico transparente y se etiquetaron, mismas que se trasladaron al laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal, así mismo las mazorcas de maíz sintomáticas y asintomáticas fueron desgranadas y posteriormente almacenadas en bolsas de papel estraza (Cuadro 1).

Cuadro 1. Genotipos criollos de maíz (*Zea mays* L.) colectados en cinco localidades pertenecientes a cuatro municipios de tres regiones del Estado de Guerrero, periodo enero a febrero 2019.

Maíz						
Región	Municipio	Localidad	Coordenadas	Humedad relativa (%)	Altitud (msnm)	Razas
Centro	Chilapa de Álvarez	Cuamañotepec	17° 33' 0.07" N 99° 3' 9.68" W	62.69	2,096	Olotillo blanco 1
	Cocula	Tlanipatlán	18° 9' 34.05" N 99° 44' 52.51" W	58.80	1,067	Elotes occidentales morado 1, no identificado blanco, Elotes occidentales morado 2 y elotes occidentales rosado 3
Norte	Cuetzala del Progreso	Apetlanca	18° 12' 27.9" N 99° 47' 21.29" W	58.80	1,718	Pepitilla blanco
		San Francisco Lagunita	18° 10' 34.28" N 99° 46' 3.75" W	58.80	1,679	Cónico pepitilla blanco, arrocillo delgado blanco-crema, arrocillo blanco 1 y arrocillo blanco 2
Costa Chica	San Luis Acatlán	Pascala del Oro	17° 3' 17.49" N 98° 48' 35.09" W	67.28	1,085	Olotillo morado 2 y Maíz costeño blanco 1 y 2

Lugar de estudio

La segunda fase se llevó a cabo en el laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero, ubicada en Iguala de la Independencia, Guerrero, entre las coordenadas 18° 20' 34.01" latitud norte 99° 30' 50" longitud oeste, con una altitud promedio de 766 msnm (García, 2004).

Aislamiento de hongos

Para el proceso de aislamiento se procedió a la preparación de medio de cultivo PDA comercial de la marca Bioxon[®] utilizando el procedimiento descrito por el fabricante. Por cada colecta de mazorca de maíz criollo de cada localidad, se seleccionaron semillas de tipo plano medio, 25 semillas enfermas para el aislamiento de posibles hongos y 10 semillas sanas que fueron utilizados como control negativo, por cada semilla seleccionada fue fragmentada en seis piezas de aproximadamente 0.5 cm, ambas muestras se desinfectaron con hipoclorito de sodio a una concentración de 1.5 % durante dos minutos, posteriormente se enjuagaron en dos cambios de agua esterilizada durante dos minutos por cada raza de maíz, seguido por la metodología de (Kator *et al.*, 2016). Las muestras se colocaron en papel absorbente previamente esterilizado durante 20 minutos para eliminar el exceso de agua, transcurrido los 20 minutos se procedió a la siembra con una aguja de disección tomando de uno en uno de seis fragmentos distribuyéndolos en cajas Petri (cajas de 90 x 15 mm de diámetro) con contenido de medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA). Las cajas Petri se sellaron con plástico adhesivo y se incubaron a 26 °C durante siete días bajo luz blanca en ciclos alternos de 12 h de luz / oscuridad. Se verificó el crecimiento de las colonias de hongos por cada caja Petri durante 72 horas posterior a la siembra, así como la ausencia de colonias, los hongos desarrollados durante ese periodo se transfirieron a nuevos medios PDA por cada colonia diferente en coloración se seleccionó una colonia y se procedió a un pequeño corte del medio de cultivo con micelios de hongos depositándolos en nuevos PDA para su crecimiento y desarrollo de colonias puras durante siete días.

Identificación de hongos

Para la identificación morfológica se observaron características macroscópicas y microscópicas en colonias de hongos de 8-15 días de desarrollo en medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA).

Las características macroscópicas y culturales de las cepas fueron registradas de manera visual observando la coloración y la forma de crecimiento del micelio de los hongos desarrollados, para la identificación microscópica se apoyó en las claves de identificación propuestos por (Barnett y Hunter, 1998; Leslie y Summerell, 2006; Crous *et al.*, 2009). Se utilizó un método clásico, en un portaobjeto se agregó una gota de ácido láctico al 2 % en el cual se colocó el micelio del hongo observándolo bajo el microscopio compuesto a 40x.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aislamientos de hongos obtenidos

De acuerdo a los resultados en el presente trabajo, los maíces criollos utilizados de las siete razas y dos no identificados procedentes de cinco localidades, desarrollaron un total de diez géneros de hongos tanto en semillas sintomáticas y asintomáticas, cada aislamiento obtenido fue representado en claves de identificación (Cuadro 2). Del total de aislamientos identificados morfológicamente por consiguiente se identificaron 11 especies y dos géneros que no se logró identificar a nivel de especie ya que algunos hongos requieren de medios de cultivos especiales para el desarrollo de estructuras morfológicas (Cuadro 3).

Cuadro 2. Claves de aislamientos fúngicos identificados morfológicamente en semillas criollas de maíz sintomáticas y asintomáticas pertenecientes a cinco localidades del Estado de Guerrero.

Semillas sintomáticas				
Localidad	Raza	Color	Hongo	Hongos aislados (claves de aislamientos)
Apetlanca	Pepitilla	Blanco	<i>Fusarium</i> spp.	MA1C1APE1, MA1C2APE1, MA1C3APE2, MA1C5APE2 y MA1C5APE3
			Desconocido	MA1C2APE2, MA1C3APE1, MA1C3APE3, MA1C4APE1, MA1C5APE1
Cuamañotepec	Olotillo 1	Blanco	<i>Fusarium</i> spp.	MA1C1CUA1, MA1C2CUA1, MA1C2CUA2, MA1C3CUA1, MA1C4CUA1, MA1C5CUA1 y MA1C6CUA1
San Francisco Lagunita	Cónico pepitilla	Blanco	<i>Penicillium</i> sp.	MA1C1SFL1
			<i>Fusarium</i> spp.	MA1C1SFL2, MA1C2SFL3, MA1C2SFL2, MA1C2SFL1, MA1C3SFL2, MA1C3SFL3, MA1C3SFL1, MA1C6SFL1, MA1C6SFL3 y MA1C6SFL2
			<i>Aspergillus</i> sp.	MA1C4SFL1
			Desconocido	MA1C5SFL1
San Francisco Lagunita	Arrocillo delgado	Blanco-crema	<i>Phomopsis</i> sp.	MA1C1SFL1, MA1C3SFL1 y MA1C5SFL1
			<i>Fusarium</i> sp.	MA1C1SFL2 y MA1C1SFL3
			Desconocido	MA1C2SFL1, MA1C2SFL2, MA1C2SFL3, MA1C4SFL1, MA1C5SFL2, MA1C6SFL2, MA1C6SFL3 y MA1C6SFL1

Continuidad del cuadro 2

San Francisco Lagunita	Arrocillo 1	Blanco	Desconocido	MA2C1SFL1
			<i>Fusarium</i> sp.	MA2C2SFL1, MA2C3SFL1, MA2C4SFL1, MA2C5SFL1, MA2C5SFL2 y MA2C6SFL1
San Francisco Lagunita	Arrocillo 2	Blanco	Desconocido	MA2C1SFL2
			<i>Fusarium</i> sp.	MA2C1SFL1, MA2C3SFL2, MA2C3SFL3, MA2C4SFL1 y MA2C6SFL1
			<i>Penicillium</i> sp.	MA2C3SFL1 y MA2C6SFL2
Tlanipatlán	Elotes occidentales 1	Morado	<i>Fusarium</i> sp.	MA1C1TLA1, MA1C2TLA2, MA1C2TLA3, MA1C2TLA1, MA1C3TLA1, MA1C4TLA1 y MA1C5TLA1
			Desconocido	MA1C5TLA2
Tlanipatlán	No identificado	Blanco	<i>Fusarium</i> sp.	MA1C1TLA1, MA1C2TLA1, MA1C2TLA2, MA1C3TLA2, MA1C3TLA3, MA1C3TLA1, MA1C4TLA1, MA1C4TLA2, MA1C5TLA1 y MA1C6TLA1
Tlanipatlán	Elotes occidentales 2	Morado	<i>Fusarium</i> sp.	MA2C1TLA1, MA2C2TLA3, MA2C2TLA1, MA2C2TLA2, MA2C3TLA1, MA2C3TLA2, MA2C4TLA1 y MA2C6TLA1
			Desconocido	MA2C1TLA2
			<i>Phomopsis</i> sp.	MA2C5TLA1
Tlanipatlán	Elotes occidentales 3	Rosado	<i>Fusarium</i> sp.	MA2C1TLA1, MA2C2TLA1, MA2C2TLA2, MA2C3TLA1, MA2C3TLA3, MA2C3TLA2, MA2C4TLA1, MA2C4TLA2, MA2C4TLA3, MA2C5TLA1 y MA2C6TLA1
Pascala del Oro	Olotillo 2	Morado	<i>Phomopsis</i> sp.	MAC2C1-1, MAC2C2-1, MAC2C3-1, MAC4C2-1, MAC2C5-1 y MAC2C6-1
Pascala del Oro	Maíz costeño	Blanco	<i>Phomopsis</i> sp.	MAC1B1-1, MAC2B1-1, MAC3B1-1, MAC4B1-1, MAC5B1-1 y MAC6B1-1
Pascala del Oro	Maíz costeño	Blanco	<i>Phomopsis</i> sp.	MAC2C3-1, MAC3C3-1 y MAC4C3-1
Tuxpan	No identificado	Morado	<i>Aspergillus</i> sp.	ASPNTUX
Semillas Asintomáticas				
Cuamañotepec	Olotillo	Blanco	<i>Phomopsis</i> sp.	MA1C2CUA1S y MA1C2CUA2S
San Francisco Lagunita	Cónico pepitilla	Blanco	<i>Fusarium</i> sp.	MA1C1SFL1S, MA1C2SFL2S y MA1C2SFL1S
Pascala del Oro	Olotillo	Morado	<i>Rhizotocnia</i> sp.	MAC1C1C1-1S

Cuadro 3. Hongos estimados en (%), aislados de semillas sintomáticas y asintomáticas, en cinco razas de maíz criollo.

Raza de maíz	Fgra	Foxy	Facu	Sstr	Gmon	Smac	Phom	Tvar	Afla	Rsol	Stur	Emer	Sh
^a Pepitilla	0 ^f	2.8 ^f	0 ^f	2.8 ^f	19.4 ^f	72.2 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	2.8 ^f
^b Olotillo 1	94.4 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	5.6 ^f
^b Olotillo	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	50 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	50 ^g
^c Cónico pepitilla	58.3 ^f	5.6 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	16.7 ^f	2.8 ^f	16.7 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f
^c Cónico pepitilla	0 ^g	8.3 ^g	8.3 ^g	0 ^g	41.7 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	41.7 ^g
^c Arrocillo delgado	0 ^f	8.3 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	75 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	16.7 ^f	2.8 ^f	0 ^f
^c Arrocillo 1	0 ^f	13.9 ^f	0 ^f	8.3 ^f	66.7 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	11.1 ^f
^c Arrocillo 2	0 ^f	38.9 ^f	0 ^f	11.1 ^f	0.0 ^f	0 ^f	0 ^f	11.1 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	38.9 ^f
^d Elotes occidentales1	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	83.3 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	16.7 ^f
^d Blanco no identificado	0 ^f	97.2 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	2.8 ^f
^d Elotes occidentales2	0 ^f	77.8 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	22.2 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f
^d Elotes occidentales3	0 ^f	52.8 ^f	0 ^f	0 ^f	44.4 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	2.8 ^f
^e Olotillo 2	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	100 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f
^e Olotillo	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	50 ^g	0 ^g	0 ^g	50 ^g
^e Maíz costeño 1	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	97.2 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	2.8 ^f
^e Maíz costeño 2	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	50 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	50 ^f

a= Apetlanca, Mpio. de Cuetzala del Progreso; b= Cuamañotepec, Mpio. de Chilapa de Álvarez c=San Francisco Lagunita, Mpio. de Cuetzala del Progreso; d= Tlanipatlan, Mpio. de Cocula; e= Pascala del Oro, Mpio. de San Luis Acatlan. Fgra= *Fusarium graminearum*, Foxy= *Fusarium oxysporum*, Facu= *Fusarium acuminatum*, Sstr= *Sarocladium strictum*, Gmon= *Gibberella moniliformis*, Smac= *Stenocarpella macrospora*, Phom= *Phomopsis* sp., Tvar= *Talaromyces variabilis*, Afla= *Aspergillus flavus*, Rsol= *Rizoctonia solani*, Stur= *Setosphaeria turcica*, Emer= *Emericella* sp., Sh= Sin hongo. f= aislamiento del hongo en semillas enfermas; g= aislamiento del hongo en semillas sanas.

Los aislamientos de semillas sintomáticas, cultivados en medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) se observaron características morfológicas similares a: *Aspergillus flavus*, *Emericella* sp., *Fusarium acuminatum*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium oxysporum*, *Gibberella moniliformis*, *Talaromyces variabilis*, *Phomopsis* sp., *Sarocladium strictum*, *Setosphaeria turcica*, *Stenocarpella macrospora*, en semillas sintomáticas y *Rhizoctonia solani* en semillas asintomáticas. Los hongos antes mencionados se describen a continuación:

Aspergillus flavus

El hongo se observó de manera visual, presentó una colonia micelial lanosa a arenosa, microscópicamente se observó la presencia de conidióforo con una la cabeza conidial compuesta por una vesícula, fiálides en forma de matraz y conidios en agrupamientos en forma de cadenas sueltas (Figura 1), características morfológicas reportados por (Crous *et al.*, 2009).

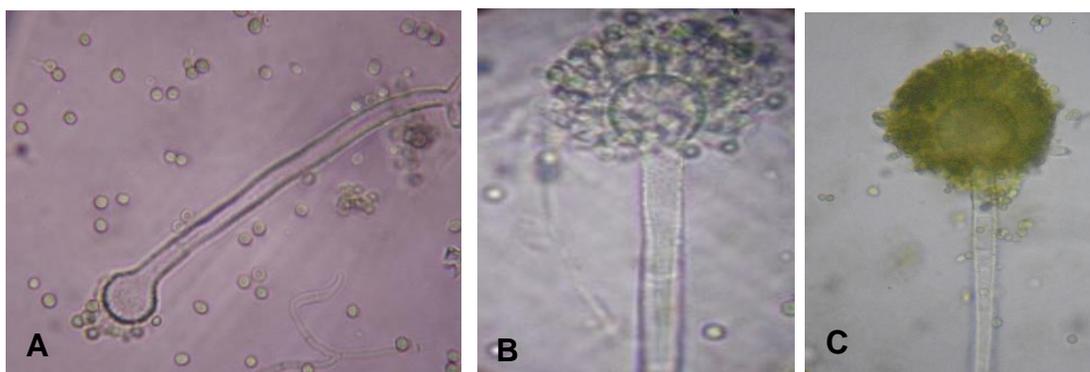


Figura 1. Estructuras reproductivas de *Aspergillus flavus*. Aislado de mazorcas de maíz enfermas colectadas en la localidad de San Francisco Lagunita, del Estado de Guerrero, 2019. **A.** Conidióforo. **B – C.** cabeza conidial.

De las siete razas estudiadas y dos no identificadas, en una de ellas se aisló el hongo *Aspergillus flavus* en un 16.7 % de granos sintomáticos de maíz de la raza cónico pepitilla, a diferencia de las siete razas restantes no fue observado dicho patógeno (Cuadro 3). En la región centro de México, Betancourt y Denise (2016), aislaron *A. flavus* de semillas de maíces híbridos Oso, Leopardo y el

híbrido 30V46, así como otras especies de: *Ochraceus penicillium*, *Alternaria* sp., *Fusarium verticillioides*, *F. moniliforme* y *F. oxysporum*, con altos niveles de contaminación en los granos de maíz. Acorde con Montes *et al.* (2009) documentaron la presencia de *Aspergillus flavus* en los híbridos DK 697, DK 1060, Garst 8222IT, Garst 8285, Garst 8288, Asgrow 7573Y, TechAg N83-N5, Golden Acres 8112, Golden Acres 8311, Golden Acres 8460, Pioneer 31R88, Pioneer 31G98, Asgrow Tigre, Asgrow Puma, H-436, H-437, H-439, Asgrow 7573W, DK 2010, Pioneer 3025W, UAP-1790W y UAP-1851W de grano amarillo y blanco, los mismos autores reportaron que el maíz amarillo también es atacado por *A. niger* y *Fusarium verticillioides*, mientras que los híbridos de grano blanco informaron que son dañados del 13.3 %, 7 % y 2.6 % por *F. verticillioides*, *A. flavus* y *A. niger*. Chavarri *et al.* (2017) documentaron que además de *Aspergillus flavus*, también detectaron *A. niger*, *A. ochraceus*, *A. terreus*, *Eurotium chevalieri*, *Fusarium verticillioides*, *Penicillium* spp. *Alternaria* sp., y *Curvularia* sp. como hongos asociados en maíces híbridos; D1B-246, D1B-255, D2B-259, D2B-290, D1B-265, D1B-683, D1B-718, D1B-270, DK-357, D1B-287 y D1B-348 con granos de color blanco. Sowley *et al.* (2018) reportaron *Aspergillus flavus*, *A. niger* y *Fusarium* spp., como especies más frecuentes en semillas de maíz tanto en campo y en el almacén, además indicaron que *A. flavus* fue el que predominó en los mercados que en los almacenes de los productores. Las semillas de maíz son contaminadas en campo y almacenes por *A. flavus* (Reyes-Méndez *et al.*, 2017; Hernández-Delgado *et al.*, 2007). Cabe mencionar que el patógeno *A. flavus* puede usar como hospedante para su reproducción a maíces con diferente nivel de mejoramiento genético, su presencia en semillas de maíces híbridos, variedades y criollos merma la calidad del grano y no es posible su consumo tanto para los animales de traspatio como para el ser humano que radican en las comunidades rurales y urbanos.

Emericella sp.

En los primeros 15 días fue observada macroscópicamente en PDA una colonia de coloración cremosa a marrón claro, posteriormente en un periodo de 30 días se observó microscópicamente su estructura en fase anamorfo y teleomorfo, un estípite no ramificado, sin septos, con terminación de una vesícula, conidios en agrupamientos. Cleistotecio, Ascosporas y Células Hülle (Crous *et al.*, 2009) (Figura 2).

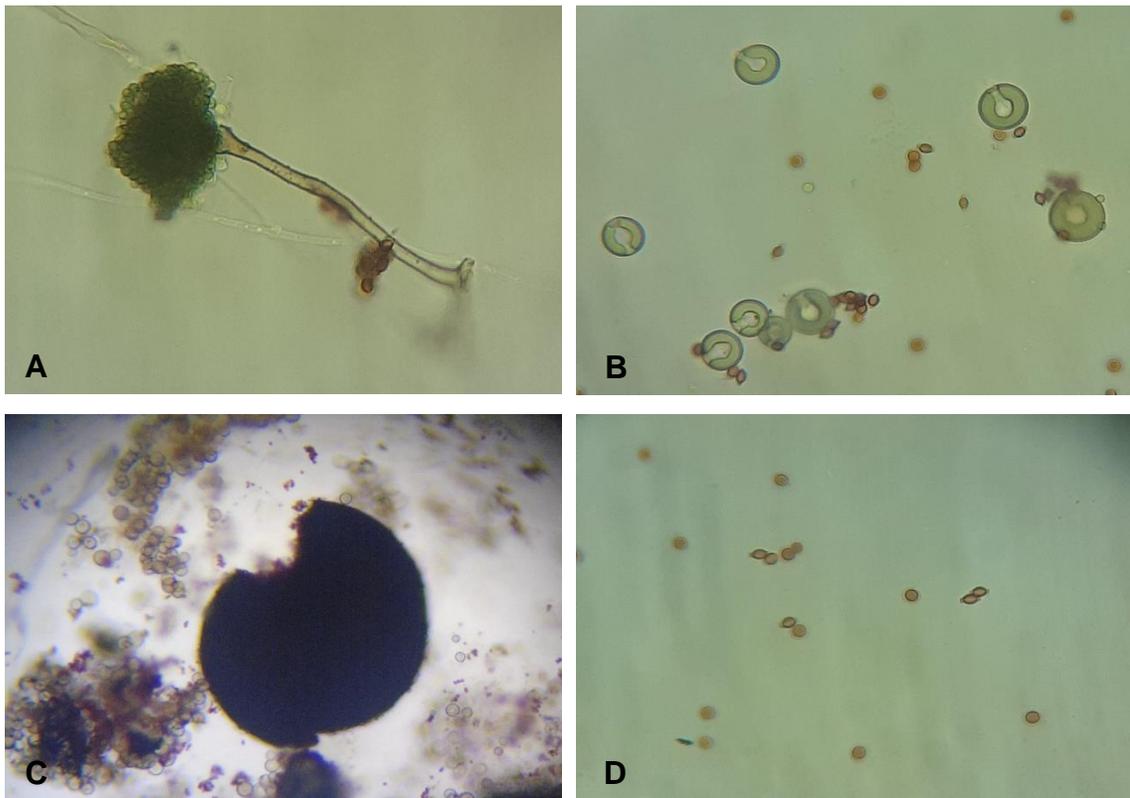


Figura 2. Morfología de *Aspergillus* sp. (anamorfo) - *Emericella* sp. (telomorfo). Aislado de mazorcas de maíz sintomáticas de la localidad de San Francisco Lagunita. Anamorfo; **A.** estípite no ramificado, sin septos, con terminación de una vesícula, conidios en agrupamientos. Teleomorfo; **B.** Células Hülle, **C.** Cleistotecio **D.** Ascosporas.

En semillas sintomáticas de la raza de maíz Arrocillo delgado de color blanco-crema se aisló 2.8 % el hongo *Emericella* sp. (anamorfo *Aspergillus* sp.) (Cuadro 3). Este resultado sugiere que este

organismo fúngico también causa la pudrición de semillas de maíz de la raza Arrocillo delgado. En este sentido, en Arabia Saudita, Yassin *et al.* (2011), reportaron a *Emericella* sp., como parte de la biota fúngica que se desarrolla en la superficie de distintos granos y semillas de cultivos de importancia económica, mismos autores reportaron la presencia de *Emericella nidulans* en granos de maíz palomero. En México aún no se ha reportado a *Emericella* sp., actualmente no existe evidencia bibliográfica con sustento científico que respalde la presencia de este hongo en maíz, en tanto que, se reporta por primera vez la presencia de *Aspergillus* sp., en estado telemorfo aislado en semillas sintomáticas de la raza de maíz Arrocillo delgado.

Fusarium acuminatum

Sus características culturales naranja ligero. Con presencia de macroconidios recto y curvado con el ápice doblado, de dos a tres septos. Microconidios abundantes de forma ovalada, oblonga, alantoidea de 0 a 1 septo (Leslie y Summerell, 2006) (Figura 3).

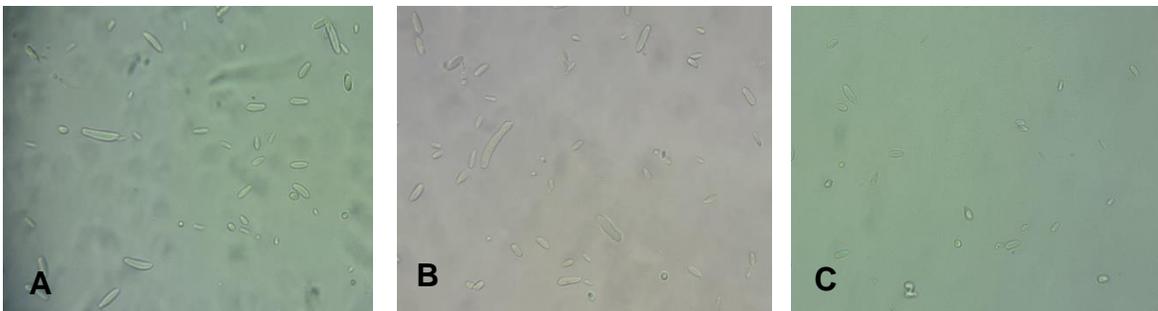


Figura 3. *Fusarium acuminatum*. Aislado de mazorcas de maíz asintomáticas de la localidad de San Francisco Lagunita. **A, B.** macroconidio recto y curvado con el ápice doblado, de dos a tres septos. **C.** Microconidios de forma ovalada, oblonga, alantoidea de 0 a 1 septo.

En la raza de maíz Cónico pepitilla de color blanco se aisló en semillas asintomáticas 8.3 % de *F. acuminatum* (Cuadro 3). Cabe mencionar que este aislamiento no se registró en semillas sintomáticas, este resultado indica que es posible encontrar *F. acuminatum* en semillas con apariencia asintomática, aunque también es importante mencionar que en semillas de maíz

asintomáticas pueden desarrollarse otros microorganismos fúngicos que no se detectan a simple vista. Sin embargo, comparado con lo reportado por Moreno *et al.* (2000) documentaron un complejo de especies de hongos presentes en los cereales como: cebada, trigo y maíz, mismos autores reportaron 7.8 % de *F. acuminatum* aislados solamente en semillas de trigo en Caracas-Venezuela. Acorde con Marín *et al.* (2012), argumentaron que *F. acuminatum* es una especie toxigénica que causa daño a los cereales trigo y cebada en distintas regiones de España, mismos autores reportaron a *Fusarium equiseti* como una especie frecuente en dichos cereales, ambas especies aisladas en cebada. En este sentido los autores Okello *et al.*, (2019), informaron la presencia de un complejo de especies del género *Fusarium* como; *F. acuminatum*, *F. oxysporum*, *F. graminearum*, *F. boothii*, *F. solani*, *F. subglutinans*, *F. proliferatum* y *F. equiseti-incarnatum* complex, aislados en plántulas y raíz de maíz, además indican que dichas especies son altamente patogénicas en la pudrición de raíz en maíz, en Dakota del Sur, Estados Unidos.

Fusarium graminearum

En coloración de las colonias varía entre micelio purpura a marrón pálido. Los macroconidios son curvados y rectos, las células apicales puntiagudas, de 3 a 5 septos. Ausencia de conidios (Leslie y Summerell, 2006) (Figura 4).

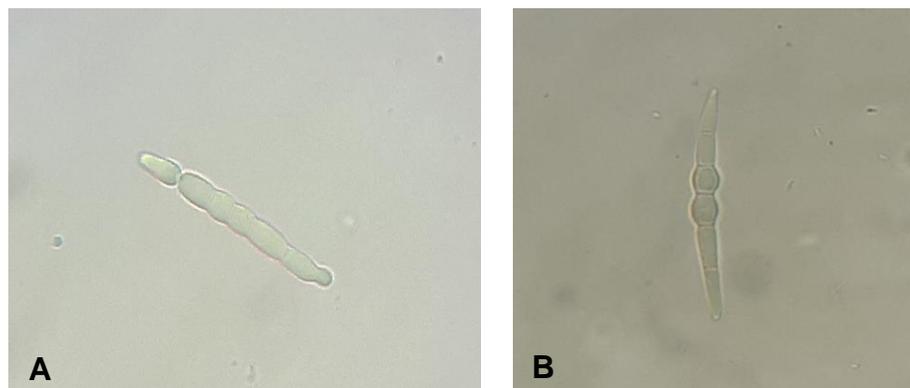


Figura 4. *Fusarium graminearum*. Aislados en mazorcas de maíz sintomáticas colectadas en dos localidades del Estado de Guerrero, 2019. Cuamañotepec: **A.** Macroconidio recto con 5 septos.

San Francisco Lagunita: **B.** Macroconidio con el dorso curvado, con células apicales puntiagudas, de 5 septos.

En la raza de maíz Olotillo1 con granos de color blanco se observó 94.4 % de aislamientos de *F. graminearum* y en la raza Cónico Pepitilla de color blanco el valor fue de 58.3 % de *F. graminearum*, en ambas razas de maíz se aisló el mismo patógeno en semillas sintomáticas (Cuadro 3). Acorde con García-Aguirre y Martínez-Flores (2010), realizaron un estudio en la región Ciudad Serdán del Estado de Puebla, México, reportaron al hongo *F. graminearum* como el responsable de la pudrición de granos en la mazorca y tallo de maíz blanco nacional y criollo de color blanco y se asocian otras especies del género *Fusarium* como: *F. subglutinans*, *F. poae*, *F. moniliforme*, *F. proliferatum* y *F. sporotrichioides*. En USA, Kaur *et al.* (2020), han reportado a *F. graminearum* como un patógeno que se encuentra presente en la raíz, además indicaron que es un agente causal de la pudrición de semillas en el suelo, mermó la germinación de las semillas y causó tizón en plántulas de trigo. De acuerdo con Boutigny *et al.* (2013), en Francia, reportaron pudrición de granos en mazorcas de maíz y aislaron en los mismos granos a *F. graminearum*, además señalan que fue el causante de la enfermedad conocida como “tizón de la cabeza” por *Fusarium* en cebada y trigo. Por otra parte, un estudio realizado en Minnesota, Estados Unidos, Lofgren *et al.* (2018) reportaron a *F. graminearum* como responsable en la pudrición de semillas, hojas e inflorescencia en trigo, gramíneas nativas (Canada Wildrye, Wild Rye, Foxtail Barley, Switchgrass, Fowl Mannagrass, entre otras) y cebada *Hordeum vulgare*. En Galicia, España Sainz *et al.* (2012), documentaron especies del género *Fusarium* aislados de tallos de maíz híbrido forrajero y detectaron a *F. graminearum* con mayor frecuencia en los tallos infectados y lo catalogaron como el patógeno responsable de grandes pérdidas económicas en maíz.

Fusarium oxysporum

Se observó en medio de cultivo PDA una colonia de coloración purpura pálido con micelio abundante en la superficie del agar. Microscópicamente se observaron los macroconidios rectos y curvados con célula apical ligeramente enganchadas con 2 a 3 septos, microconidios en abundancia de forma ovalada de 0 septos (Leslie y Summerell, 2006) (Figura 5).

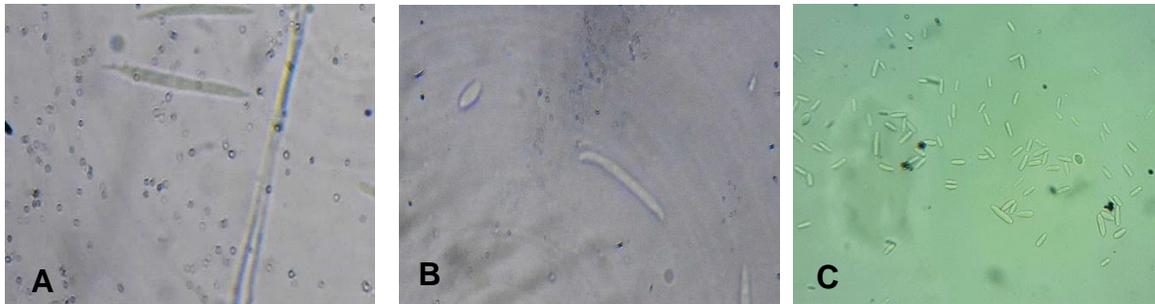


Figura 5. *Fusarium oxysporum*, Aislados en mazorcas de maíz sintomáticas colectadas en la localidad de San Francisco Lagunita, Estado de Guerrero, 2019. **A.** Macroconidio recto, **B.** Macroconidio curvado con célula apical ligeramente enganchada, ambos con 2 a 3 septos, **C.** Microconidios en abundancia de forma ovalada de 0 septos.

En semillas sintomáticas se aisló *Fusarium oxysporum* en las razas de maíz Cónico pepitilla (5.6 %), Cónico pepitilla (8.3 %), Arrocillo delgado (5.6 %), Arrocillo 1 (13.9 %), Arrocillo 2 (38.9 %), Blanco raza no identificado (97.2 %), Elotes occidentales 2 (77.8 %) y Elotes occidentales 3 (50.0 %) de maíz criollo, también se aisló el hongo *F. oxysporum* (8.3 %) en semillas asintomáticas de la raza de maíz Cónico pepitilla. Al respecto Velarde-Félix *et al.* (2018), informaron que *F. oxysporum* se asocia a la pudrición de tallos en maíz. Por su parte Parikh *et al.* (2018), aislaron 26.3 % de *F. oxysporum* en maíz, trigo y soya como causante de la pudrición de raíces y marchitamiento de las plantas en Nebraska, E. U. Rahjoo *et al.* (2008) detectaron baja frecuencia de *F. oxysporum* en granos de maíz, aunque también reportaron otras especies como: *F. verticillioides*, *F. proliferación*, *F. thapsinu* y *F. cf. hullatum* como causantes de la pudrición

de granos de maíz. Por otra parte, Hernández *et al.* (2019), reportaron a *F. oxysporum* como patógeno asociado a la marchites y pudrición radicular en pimiento (papríka) *Capsicum annum* L. en las zonas de producción en Perú, además documentaron a esta especie con un 61.1 % de aislamientos en el cultivo de *Capsicum annum* L.

Gibberella moniliformis

Coloración de la cepa va desde amarillo pálido a naranja pálido. Macroconidios con célula del ápice doblado, de tres a cuatro septos, microconidios de óvalo a largo, obovoide de solo una base truncada, de 0 a 1 septo (Leslie y Summerell, 2006) (Figura 6).

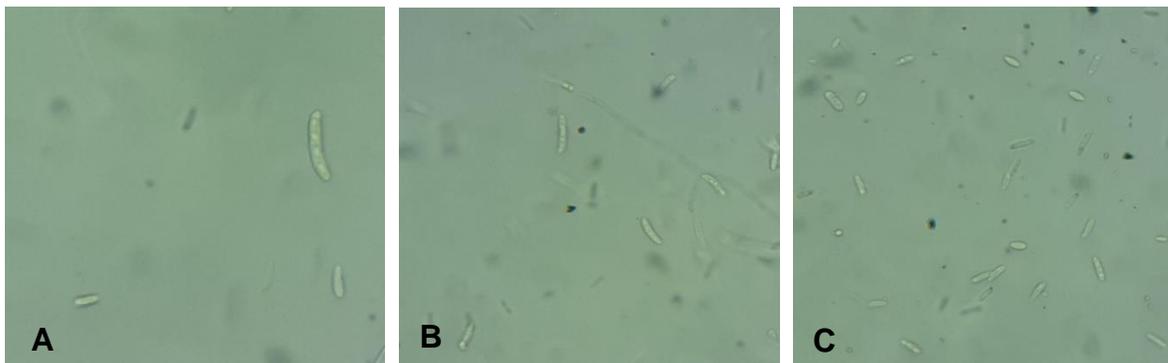


Figura 6. *Gibberella moniliformis* Aislado de mazorcas de maíz sintomáticas de la localidad de Tlanipatlán. **A, B.** Macroconidios con célula del ápice doblado, de tres a cuatro septos, **C.** Microconidios de óvalo a largo, obovoide de solo una base truncada, de 0 a 1 septo.

El aislamiento de *Gibberella moniliformis* se obtuvo en semillas sintomáticas de tres razas de maíz criollo, además se detectó variación en la frecuencia del hongo en cada raza de maíz y mismas que se estimaron en porcentajes. En la raza de maíz Pepitilla (25 %), Cónico pepitilla (41.7 %), Arrocillo 1 (66.7 %), Elotes occidentales 1 (83.3 %), Elotes occidentales 3 (47.2 %), caso contrario para la raza de maíz Cónico pepitilla el hongo se aisló un (41.7 %) en semillas asintomáticas (Cuadro 3), cabe mencionar que la frecuencia y variación observada del hongo *G. moniliformis* en cada raza de maíz, es debido a las características morfológicas como: color y

textura del grano, origen genético y geográfico en la cual fueron producidas las semillas de maíz y la capacidad de infección y preferencia del patógeno en la semilla de maíz. De acuerdo a los aislamientos obtenidos y lo reportado por Desjardins *et al.* (2002) en Estados Unidos, documentaron la presencia de *G. moniliformis* en mazorcas de maíz, causante de pudrición de semillas de maíz. Acorde con Figueroa-Gómez *et al.* (2006) en un estudio realizado en México, reportaron a *Fusarium verticillioides* (*G. moniliformis*) en su estado telemorfico, como un contaminante y causante de la pudrición de semillas de maíz híbrido Alsa 036W, Lucero 801, Lince, Lucero 901, Lucero 807, UDG 600 y Lucero 808, en combinación con otras especies de *F. subglutinans* (*G. subglutinans*) y *F. proliferatum* (*G. intermedia*). En un estudio realizado en USA, sobre granos almacenados de maíz, Bacon *et al.* (2001) aislaron hongos como *G. moniliformis* y *F. verticillioides* los señalaron como un complejo de hongos y principal causante de la pudrición de granos de maíz. Voorhees (1935) documentó que *G. moniliformis* es un patógeno que causa daños en los granos, raíces, hojas y plántulas, y consecuentemente disminuye el rendimiento de granos de maíz en Florida, USA. En la Península Ibérica, han aislado a *Fusarium* en el cultivo de maíz, entre los aislamientos destaca *F. verticillioides* en un 16 %, y fue catalogado como el principal causante de la marchitez tardía, además dicha especie corresponde al complejo *G. moniliformis* (Ortiz-Bustos *et al.*, 2015).

Talaromyces variabilis

De manera visual se observó una colonia de coloración verdoso pálido, microscópicamente se observaron conidióforos, fiálides en forma de matraz, conidios producidos en columnas, en forma de escoba o pincel característico del género *Talaromyces* (Crous *et al.*, 2009) (Figura 7).

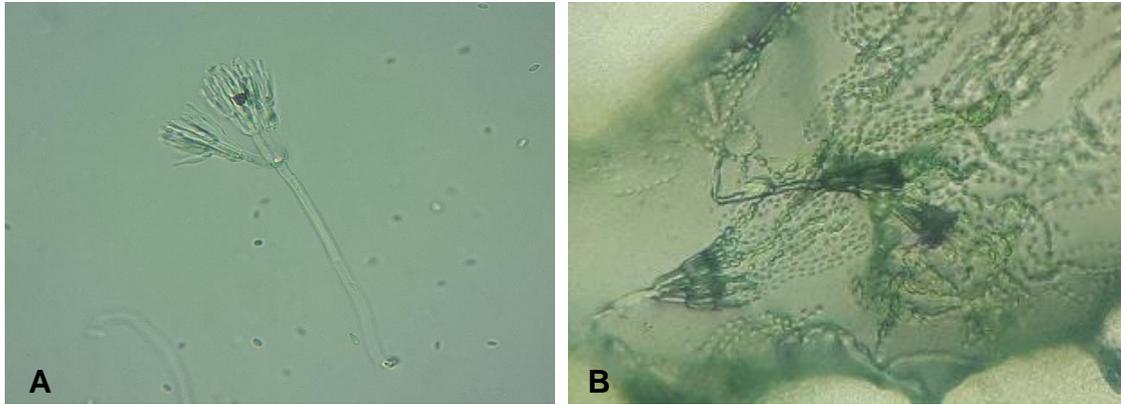


Figura 7. Estructuras reproductivas de *Talaromyces variabilis*, aislado de mazorcas de maíz sintomáticas de la localidad de San Francisco Lagunita **A.** Conidióforos. **B.** Fiálide en forma de matraz, conidios producidos en columnas, en forma de escoba o pincel.

Cónico pepitilla y Arrocillo 2 se aisló *Talaromyces variabilis* que oscilaron entre 2.8 y 11.1 % (Cuadro 3). En un estudio realizado por Yilmaz *et al.* (2014) reportaron la descripción del género *Talaromyces* con 88 especies divididos en siete secciones como: *Helici*, *Islandici*, *Subinflati*, *Bacillispori*, *Purpurei*, *Trachyspermi* y *Talaromyces* entre ellas *Talaromyces variabilis* como especie en estado telemorfico aislado de sustrato de coco (*Cocos nucifera*) en Sudáfrica. En Argentina Castellari *et al.* (2015) aislaron en granos de maíz almacenados en silos y reportaron 35 especies fúngicas entre ellas *T. variabilis*, los autores argumentan que el patógeno se desarrolla favorablemente a temperaturas que oscilan los 25 °C y a una humedad promedio del grano de 16.4 %, en estas condiciones idóneas el hongo se reproduce e infecta el grano del maíz, consecuentemente merma la calidad del grano. También, Susca *et al.* (2020) en Italia aislaron *T. variabilis* en grano del maíz, además reportaron otras especies de hongos como asociados a pudriciones de granos en mazorcas de maíz. En Colombia Galíndez-Chicaíza *et al.* (2020) monitorearon plantas de *Espeletia pycnophylla* y encontraron insectos del género *Neomyopites* y *Diabrotica* sp., los autores aislaron *T. variabilis* en partes corporales de los insectos. Omán, Halo

et al. (2019) informaron que *T. variabilis* puede usarse como controlador biológico para inhibir el desarrollo de *Pythium aphanidermatum* causante de enfermedades en la raíz de los cultivos de tomate y pepino. En E.U.A a partir del género *Talaromyces* reportaron aislamientos de diversas especies como: *Talaromyces juglandicola*, *T. herodensis*, *T. rogersiae*, *T. kilbournensis*, *T. delawarensis*, *T. subtropicales*, *T. siglerae*, *T. novojersensis*, *T. tiftonensis*, *T. ricevillensis*, dichas especies fueron aislados de semillas de maíces (Peterson *et al.*, 2017).

Phomopsis sp.

En el desarrollo de la colonia presentó una coloración inicialmente blanquecina algodonosa con el tiempo esta adquirió una coloración grisácea oscura, observados microscópicamente hubo presencia de abundante micelio septado y no septado, no se observaron ningún tipo de conidio (Crous *et al.*, 2009) (Figura 8).

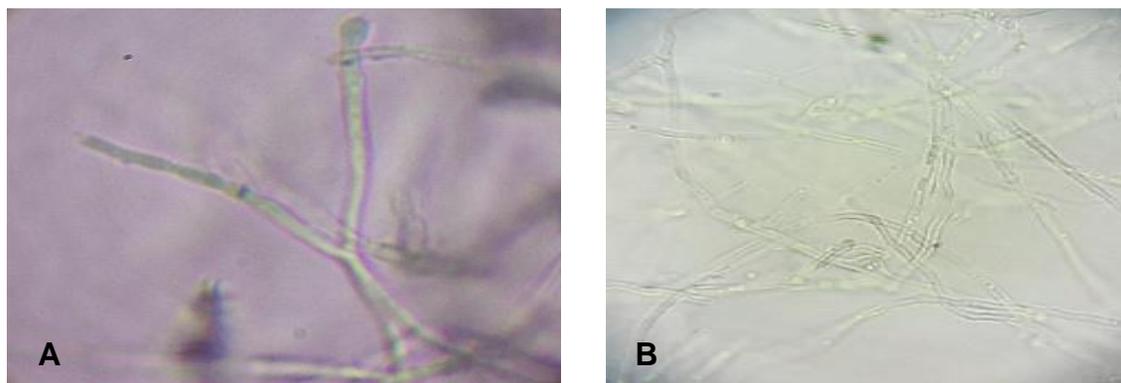


Figura 8. Estructura microscópica del género *Phomopsis* sp. Aislado de mazorcas de maíz sintomáticas de la localidad de Pascala del Oro. **A, B.** Micelios septado y no septado.

En las semillas sintomáticas de la raza de maíz Olotillo, Cónico pepitilla, Arrocillo delgado, Elotes occidentales 2, Olotillo 2, Tuxpeño conocido también como maíz Costeño 1 y 2 se aisló el hongo *Phomopsis* sp., en los siguientes porcentajes 50, 16.7, 75, 22.2, 100, 97.2, 50 %. En caso de semillas asintomáticas de la raza Olotillo se aisló 50 % (Cuadro 3). En Brasil, Ghissi *et al.* (2014) reportaron aislamientos de *Phomopsis* sp. como patógeno que ocasiona pudrición

radicular, marchitez y muerte de plantas en el cultivo de soya. En Illinois, Li *et al.* (2007) reportaron la presencia de *Phomopsis* en plantas de hojas de terciopelo (*Abutilon theophrasti* Medik), como la causante de la pudrición en tallo y raíz, mismos autores afirmaron que la especie *P. longicolla* también causó pudrición de tallos en plantas de soya y plantas de hojas de terciopelo. En Argentina, Hernández *et al.* (2015) informaron que *Phomopsis* sp., llega a colonizar desde etapas tempranas en diferentes cultivos desde los que son cultivados y no cultivados como: frutales, malezas y forestales, así mismo permanece en los rastros para su nuevo ciclo, en este caso aislaron diversas 12 especies *P. longicolla* y *D. phaseolorum* var. *sojae*, y reportaron como responsables del tizón en los tallos y vainas en el cultivo de soya. En Tailandia Sittisart *et al.* (2017) reportaron diferentes especies del género *Phomopsis* como: *Phomopsis* sp. SSK1.1, *Phomopsis* sp. SSK3.1, *Phomopsis* sp. SSK1.2, *Phomopsis* sp. SSK4.1, *Phomopsis* sp. SSK5.2, *Phomopsis* sp. SSK5.1, *Phomopsis* sp. SSK7.1 misma que causó infección en hojas de árboles de *Hevea brasiliensis*. El género *Phomopsis* sp. ha sido reportado en Italia por Luongo *et al.* (2011) quienes lo catalogaron como un agente patogénico en la pudrición de frutos almacenados de kiwi. Aunado a lo anterior, el género *Phomopsis* es un hongo que tiene un amplio rango de hospedantes como en forestales, frutales y cereales (Hernández *et al.*, 2015: Luongo *et al.*, 2011). En el Estado de Guerrero, por primera vez se reporta *Phomopsis* sp., como un hongo asociado a la pudrición de semillas de maíces criollos de las razas Tuxpeño, Olotillo, Arrocillo, Elotes Occidentales y Cónico Pepitilla.

Sarocladium strictum

En medio de cultivo PDA su coloración fue entre blanco a naranja pálido, se observaron conidios sueltos hialinos y agrupados a partir de fiálides que producen conidios en cabezas falsas (Summerbell *et al.*, 2011) (Figura 9).

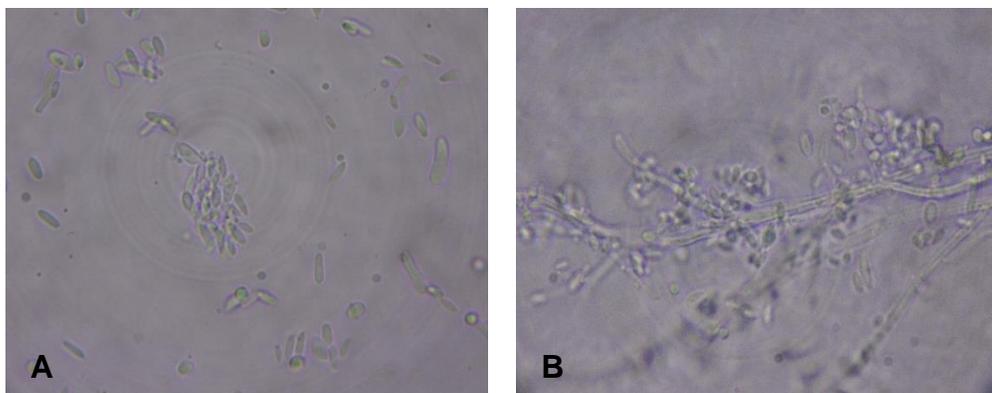


Figura 9. *Sarocladium strictum*, aislado de mazorca de maíz sintomática de la localidad de San Francisco Lagunita **A.** Conidios sueltos y agrupados **A.** Fiálides que producen conidios en cabezas falsas.

Se aisló el hongo *Sarocladium strictum* de semillas criollas sintomáticas en las razas de Arrocillo 1 y 2, con porcentajes de 8.3 y 11.1 % de *S. strictum*. En Brasil, acorde con Gonçalves *et al.*, (2013), mencionaron que el maíz es afectado por *S. strictum* como una enfermedad causante de la mancha foliar en conjunto con *Phaeosphaeria*, al infectar las plantas de maíz en etapa de floración (espiga) causaron pérdidas económicas ocasionadas por esta enfermedad. Anteriormente *S. strictum*, denominado *Acremonium strictum* o *Cephalosporium acremonium*, es un hongo cosmopolita que se ha reportado como saprófito, patógeno y asociado a distintos materiales vegetativos y cultivos como: *Sorghum bicolor*, *Avena sativa*, *Zea mays*, entre otros, alrededor del mundo como en la India, E.U., Canadá, Brasil, China, España (Farr and Rossman, 2021). En Iran, Ebrahimi y Fotouhifar (2016), mencionan que *S. strictum* se asocia a hojas de pera (*Pyrus communis*), uva (*Vitis vinifera*), trigo harinero (*Triticum aestivum*) y madera en descomposición, mismos autores manifestaron que el hongo tiene amplio rango de hospedantes. En Egipto, Gherbawy *et al.* (2018), aislaron *S. strictum* en frutos podridos de jitomates. En Argentina, Racedo *et al.* (2013) reportó *S. strictum* como el causante del estrangulamiento y muerte de las plantas del cultivo de fresa.

Setosphaeria turcica

El hongo presentó una colonia de color café-marron oscuro, microscópicamente se observó únicamente micelio con apariencia de conidio con estructura no definidas por lo que no se determinó como conidio. Llegan a presentar conidios rectos y ligeramente curvados (Leonard y Suggs, 1974) (Figura 10).

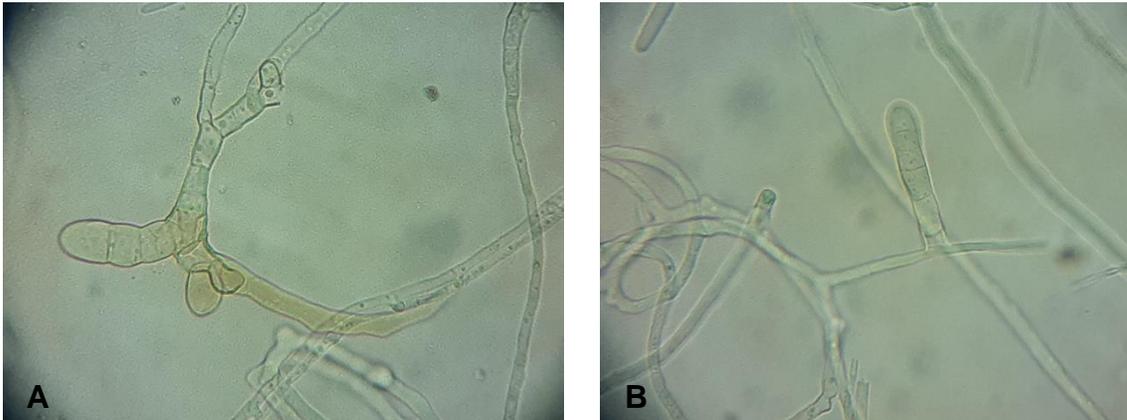


Figura 10. *Setosphaeria turcica*, aislado de mazorca de maíz sintomática de la localidad de San Francisco Lagunita **A – B.** Estructura micelial de color marrón claro y hialino con septo.

En semillas sintomáticas de la raza Arrocillo delgado se aisló el 16.7 % de *Setosphaeria turcica*.

En Estados Unidos, Ferguson y Carson (2007), reportaron *S. turcica* como patógeno que causó tizón en hojas de maíz, así mismo informaron que la especie es de importancia económica en el campo agrícola de cultivos de maíz en dicho país. En Uganda, Ramathani *et al.* (2011) reportaron que *S. turcica* causó tizón foliar en cultivos de razas de sorgo kafir, sorgo guinea, sorgo caudatum, sorgo bicolor y sorgo durra. Por su parte, Martin *et al.* (2011), informaron la presencia del tizón en el cultivo de sorgo, enfermedad causada por *S. turcica* dicha especie reportada como patógeno devastador que ataca las hojas de maíz y sorgo, además los autores realizaron otros estudios de resistencia por *S. turcica* en variedades de sorgo y maíz en Uganda. En Tailandia, Bunkoed *et al.* (2014) aislaron en hojas enfermas de maíz ceroso y maíz híbrido dulce a *S. turcica* en estado telemórfico dicha especie lo consideraron de gran importancia por causar tizón foliar y

pérdidas económicas en la producción de maíz. El hongo *S. turcica* es reportado como una enfermedad devastadora en maíz, sin embargo, en un estudio realizado han evaluado la especie *Chaetomium globosum* como inhibidor y biocontrol contra el hongo *S. turcica* (Zhang *et al.*, 2013; Galiano-Carneiro y Miedaner, 2017). Cabe mencionar que *S. turcica* es el principal causante del tizón foliar en maíz y sorgo y se encuentra presente en varios países, mencionados previamente. En la presente investigación *S. turcica* fue aislado en semillas sintomáticas de la raza de maíz Arrocillo delgado con origen en la localidad de San Francisco Lagunita Municipio de Cuetzala del Progreso, Guerrero.

Stenocarpella macrospora

Stenocarpella macrospora, colonia micelial de color blanco algodonosa, con picnidios sumergidos en el medio de cultivo, esféricos a subglobosos, los conidios son curvos o rectos cuentan con uno a tres septos, son de paredes lisas de coloración marron palido, los extremos tienen una forma redondeada (Sutton y Waterston, 1966) (Figura 11).

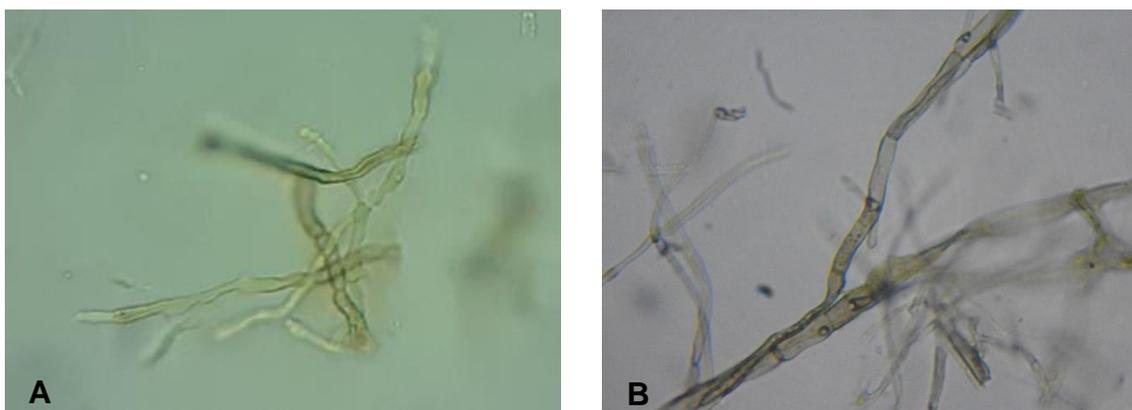


Figura 11. *Stenocarpella macrospora*. Aislado de mazorcas de maíz sintomáticas de la comunidad de Apetlanca, colectadas en el Estado de Guerrero, 2019. **A-B.** Desarrollo micelial septado.

En semillas sintomáticas de la raza de maíz Pepitilla se aisló 72.2 % del hongo *Stenocarpella macrospora* de semillas de maíz criollo. A nivel mundial, *S. macrospora* es un problema fitosanitario que afecta los granos de la mazorca de maíz, esta afectación se presentó en los países de Brasil, Estados Unidos, Camerún, Nepal, Sudafrica y Panamá, es considerada como una de las enfermedades más destructivas en maíz (Petatán-Sagahón *et al.*, 2011; Farr and Rossman, 2021). Romero y Wise, (2015) reportaron *S. macrospora* como un patógeno que tiene la capacidad de infectar y causar daños severos en las hojas, tallos y mazorcas. Además, *S. macrospora* se considera una especie productora de micotoxinas, que pueden ser de riesgo para la salud de los consumidores como en animales y humanos (Petatán-Sagahón *et al.*, 2011). En Brasil, Mário *et al.* (2017) informaron que *S. macrospora* junto a *S. maydis* como los causantes de la muerte de plántulas y la pudrición de las mazorcas. Por otra parte, en Estados Unidos de América, también se ha reportado *S. macrospora* en hojas, tallos y mazorcas de maíz, también fue reportado como un patógeno agresivo y con alto potencial para generar grandes pérdidas económicas en granos de maíz (Bradley *et al.*, 2010; Romero-Luna *et al.*, 2016). Acorde con Da Silva-Siqueira *et al.* (2014) comunicaron que las semillas infectadas son uno de los principales medios potenciales de transmisión de *S. macrospora*, más cuando las condiciones climáticas son favorables y el material genético es expuesto a dicho hongo. Aunado a lo anterior, en Brasil (Jian-Piletti *et al.*, 2014; Mário *et al.*, 2017) y México (Betanzos-Mendoza *et al.*, 2009) se han implementado estrategias para su manejo y control del patógeno, en programas de selección y seguimiento de materiales híbridos tolerantes. En México Petatán-Sagahón *et al.* (2011) reportaron 160 aislamientos de bacterias en suelos de cultivos de maíz, en los que indican que diez cepas bacterianas *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas*, *Pantoea agglomerans* y *Pseudomonas fluorescens* poseen actividades antifúngicas contra *Stenocarpella maydis* y *Stenocarpella macrospora*. En el Estado de Guerrero no se ha registrado *S. macrospora* que indique el daño en cultivos agrícolas,

sin embargo, se reporta por primera vez la presencia de dicho hongo en semillas sintomáticas de la raza de maíz criollo Pepitilla.

Rhizoctonia solani

Rhizoctonia solani desarrolló una colonia de coloración blanco (marrón claro) lamoso con esclerocios café, presencia de hifas en forma de ángulo recto de 90°, las hifas hialinas y tabicadas se encuentran cerca del punto de ramificación, son unas de las características que presenta este género Barnett y Hunter (1998) (Figura 12).

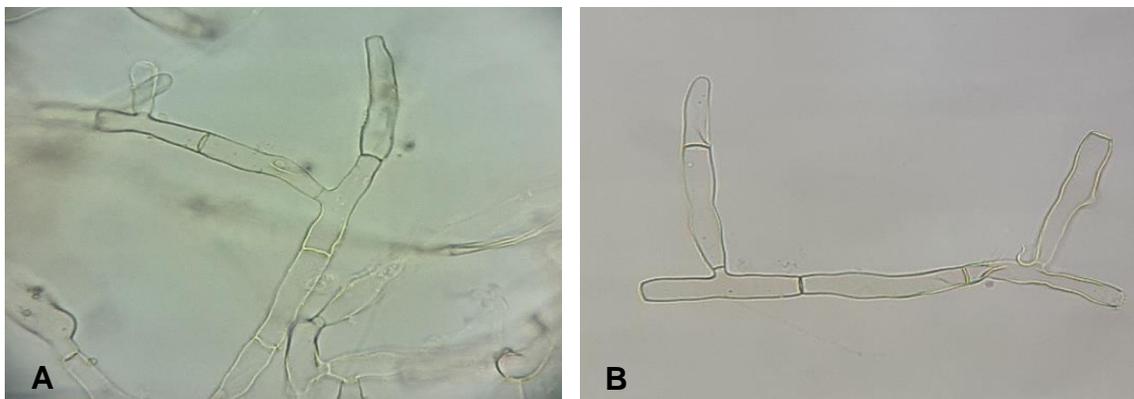


Figura 12. Estructura microscópica del género *Rhizoctonia solani*. Aislado de mazorcas de maíz asintomáticas de la localidad de Pascala del Oro. **A.** Hifas ramificadas en forma de ángulo recto de 90°. **B.** Hifa tabicado.

En semillas asintomáticas del maíz criollo Olotillo de color blanco se aisló 50 % de colonias fungosas correspondientes a *Rizoctonia solani*. Por otra parte *R. solani* fue reportado en E.U, China, India, Panamá, Sudáfrica, Reino Unido con afectaciones de raíz y tallo en cultivos de maíz (Farr and Rossman, 2021). Además, en China se han reportado importantes afectaciones como pudrición de las hojas en el cultivo de cacahuate, (Yan *et al.*, 2013). También, en Italia, Aiello *et al.* (2012), reportaron severos daños en pudriciones de raíz en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*) causado por *R. solani*; en el Noroeste de Argentina, Spedaletti *et al.* (2016) reportaron *R. solani* como una enfermedad de alto impacto que afecta a las hojas del cultivo de frijol. En Norte

América, *R. solani* es considerado como un patógeno causante de la pudrición de la raíz en plántulas de soya (Ajayi-Oyetunde *et al.*, 2019). Además, en Filipinas *R. solani* se considera como el principal patógeno en maíz, causante del tizón de las hojas (Muis y Quimio, 2006), ocasiona daños en las raíces de las plántulas de maíz (Da Silva *et al.*, 2017). En México, Ayala-Armenta *et al.* (2020) informaron que el complejo de hongos que causan el marchitamiento de tomate verde y pérdidas económicas superaron el 50 % en Sinaloa. En los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Colima, Querétaro y Guanajuato, se encuentra presente *R. solani* y lo reportaron como el causante de daño de raíz y tallo del cultivo de chile (Montero-Tavera *et al.*, 2013). Cabe mencionar que *Rhizoctonia solani* afecta a hojas, raíz y tallo a varios cultivos, y se encuentra presente en diversos países. En la presente investigación *Rhizoctonia solani* se aisló por primera vez en semillas asintomáticas de la raza Olotillo con origen geográfico de la localidad de Pascala del Oro, municipio de San Luis Acatlán, Guerrero, México.

CONCLUSIONES

La identificación morfológica permitió identificar 10 especies que fueron *Fusarium graminearum*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium acuminatum*, *Sarocladium strictum*, *Gibberella moniliformis*, *Stenocarpella macrospora*, *Talaromyces variabilis*, *Aspergillus flavus*, *Rizoctonia solani*, *Setosphaeria turcica*, y dos géneros que no se lograron identificar a nivel de especie *Emericella* sp., y *Phomopsis* sp., los hongos más frecuentes fueron *F. graminearum*, *F. oxysporum* y además *Phomopsis* sp., fue predominante en una localidad, este estudio indica que las semillas de maíz criollo hay una diversidad de hongos causantes de la pudrición de granos de maíz y son hospedantes de estos agentes fúngicos desde los cultivos en campo hasta almacenamiento, por lo que no se debe seleccionar o mezclar mazorcas de maíz con daños de pudrición dado el caso que los hongos producen esporas que no se visualizan a simple vista y pueden llegar a contaminar grandes cantidades de semillas de maíz.

LITERATURA CITADA

- Aiello, D., Vitale, A., Hyakumachi, M. and Polizzi, G. (2012). Molecular characterization and pathogenicity of binucleate *Rhizoctonia* AG-F associated to the watermelon vine decline in Italy. *European Journal of Plant Pathology*. 134: 161-165. <https://doi.org/10.1007/s10658-012-9973-9>
- Ajayi-Oyetunde, O. O., Everhart, S. E., Brown, P. J., Tenuta, A. U., Dorrance, A. E. and Bradley, C. A. (2019). Genetic structure of *Rhizoctonia solani* AG-2-2IIIB from soybean in Illinois, Ohio, and Ontario. *Phytopathology*. 109(12): 2132-2141. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-19-0015-R>
- Ayala-Armenta, Q. A., Tovar-Pedraza, J. M., Apodaca-Sánchez, M. A., Correia, K. C., Saucedo-Acosta, C. P., Camacho-Tapia, M. and Beltrán-Peña, H. (2020). Phylogeny and pathogenicity of soilborne fungi associated with wilt disease complex of tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) in northern Sinaloa, Mexico. *European Journal of Plant Pathology*. 157: 733-749. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02030-9>
- Bacon, C. W., Yates, I. E., Hinton, D. M. and Meredith, F. (2001). Biological control of *Fusarium moniliforme* in maize. *Environmental Health Perspectives*. 109(2): 325-332. <https://doi.org/10.1289/ehp.01109s2325>
- Barnett, H. L. and Hunter, B. B. (1998). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. Ed. 4. Saint Paul, U.S.A. American Phytopathological Society. 218. pp. https://www.academia.edu/35499449/Illustrated_genera_of_imperfect_fungi_fourth_edition_Barnett_y_Hunter_pdf_pdf
- Betancourt, P. and Denise, S. (2016). Microbiota and mycotoxins in trilinear hybrid maize produced in natural environments at central region in Mexico. *Advances in Microbiology*. 6: 671-676. <http://dx.doi.org/10.4236/aim.2016.69066>

- Betanzos-Mendoza, E., Ramírez-Fonseca, A., Coutiño-Estrada, B., Espinosa-Paz, N., Sierra-Macias, M., Zambada-Martínez, A. y Grajales Solis, M. (2009). Híbridos de maíz resistentes a pudrición de mazorca en Chiapas y Veracruz, México. *Agricultura Técnica en México*. 35(4): 389-398. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172009000400004
- Boutigny, A. L., Ward, T. J., Ballois, N., Iancu, G. and Ioos, R. (2013). Diversity of the *Fusarium graminearum* species complex on French cereals. *European Journal of Plant Pathology*. 138: 133–148. <https://doi.org/10.1007/s10658-013-0312-6>
- Bradley, C. A., Pedersen, D. K., Zhang, G. R. and Pataky, N. R. (2010). Occurrences of diplodia leaf streak caused by *Stenocarpella macrospora* on corn (*Zea mays*) in Illinois. *Plant Disease*. 94(10): 1262-1262. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-10-0398>
- Bunkoed, W., Kasam, S., Chaijuckam, P., Yhamsoongnern, J. and Prathuangwong, S. (2014). Sexual reproduction of *Setosphaeria turcica* in natural corn fields in Thailand. *Kasetsart Journal Natural Science*. 48(2): 175-182. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/anres/article/view/243246>
- Castellari, C. C., Cendoya, M. G., Valle, F. J. M., Barrera, V. y Pacin, A. M. (2015). Factores extrínsecos e intrínsecos asociados a poblaciones fúngicas micotoxigénicas de granos de maíz (*Zea mays* L.) almacenados en silos bolsa en Argentina. *Revista Argentina de Microbiología*. 47(4): 350-359. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2015.08.003>
- Chavarri, M., Barroyeta, J., Ochoa, Y., Rumbos, N. y 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. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i19.1035>

- Crous, P. W., Verkley, G. J. M., Groenewald, J. Z. and Samson, R. A. (2009). Fungal biodiversity. CBS Laboratory Manual Series. Utrecht, Netherlands. pp. 1-269.
- Da Silva Siqueira, C., da Cruz Machado, J., Barrocas, E. N. and de Almeida, M. F. (2014). Potential for transmission of *Stenocarpella macrospora* from inoculated seeds to maize plants grown under controlled conditions. Journal of Seed Science. 36(2): 154-161. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v32n2904>
- Da Silva, M. P., Tylka, G. L. and Munkvold, G. P. (2017). Seed treatment effects on maize seedlings coinfecting with *Rhizoctonia solani* and *Pratylenchus penetrans*. Plant Disease. 101(6): 957-963. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/full/10.1094/PDIS-10-16-1417-RE>
- De la Torre-Hernández, M. E., Sánchez-Rangel, D., Galeana-Sánchez, E. y Plasencia-de la Parra, J. (2014). Fumonisin—Síntesis y función en la interacción *Fusarium verticillioides*-maíz. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas. 17(1): 77-91. doi:10.1016/s1405-888x(14)70321-3
- Desjardins, A. E., Munkvold, G. P., Plattner, R. D. and Proctor, R. H. (2002). FUM1—a gene required for fumonisin biosynthesis but not for maize ear rot and ear infection by *Gibberella moniliformis* in field tests. Molecular Plant-Microbe Interactions, 15(11): 1157-1164. <https://doi.org/10.1094/MPMI.2002.15.11.1157>
- Ebrahimi, L. and Fotouhifar, K. B. (2016). Identification of some fungi accompanying the scab symptoms in Iran. Mycologia Iranica. 3(1): 25-37. DOI: 10.22043/MI.2017.48716.1077
- Ekwomadu, T. I., Gopane, R. E. and Mwanza, M. (2018). Occurrence of filamentous fungi in maize destined for human consumption in South Africa. Food Science & Nutrition, 6: 884–890. <https://doi.org/10.1002/fsn3.561>
- Farr, D.F. and Rossman, A.Y. (2021) Fungal Databases, U.S. National Fungus Collections, ARS, USDA. Consultado 20 de febrero 2021. <https://nt.ars-grin.gov/fungaldatabases/>

- Ferguson, L. M. and Carson, M. L. (2007). Temporal variation in *Setosphaeria turcica* between 1974 and 1994 and origin of races 1, 23, and 23N in the United States. *Phytopathology*. 97(11): 1501-1511. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-97-11-1501>
- Figueroa-Gómez, R. M., Reynoso, M. M., Castro-Zambrano, C. E. y Reyes-Velázquez, W. P. (2006). Estudio de las poblaciones de *Fusarium* (Sección Liseola) aisladas de híbridos de maíz cultivados en México. *Scientia-CUCBA*. 8(2):181-192. http://www.cucba.udg.mx/sites/default/files/Publicaciones_DPF/articulo/2006_Gallegos_et_al_Scientia_8_2_variacion_uso_suelo.pdf#page=43
- Gai, X., Dong, H., Wang, S., Liu, B., Zhang, Z., Li, X. and Gao, Z. (2018). Infection cycle of maize stalk rot and ear rot caused by *Fusarium verticillioides*. *PloS One*. 13(7):1-11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201588>
- Galiano-Carneiro, A. L. and Miedaner, T. (2017). Genetics of resistance and pathogenicity in the maize/*Setosphaeria turcica* pathosystem and implications for breeding. *Frontiers in Plant Science*. 8: 1490. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01490>
- Galíndez-Chicaíza, E., Lagos-Mora, L. E., Castillo-Belalcázar, G., Salazar-González, C. y Betancourth-García, C. (2020). Hongos detectados en la entomofauna asociada a *Espeletia pycnophylla*. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*. 23 (2): 1497. <http://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1497>
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 3a Ed. Corregida y aumentada. UNAM. México, DF. 146 p.
- García-Aguirre, G. y 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: 15-20. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v81n1/v81n1a3.pdf>

- Gherbawy, Y., Hussein, M. A., Runge, F. and Spring, O. (2018). Molecular characterization of *Alternaria alternata* population isolated from Upper Egyptian tomato fruits. *Journal of Phytopathology*. 166(10): 1-13. <https://doi.org/10.1111/jph.12752>
- Ghissi, V. C., Reis, E. M. and Deuner, C. C. (2014). Etiology of *Phomopsis* root rot in soybean. *Summa Phytopathologica*. 40(3): 270-272. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/1966>
- Gonçalves, R.M., Figueiredo, J.E.F., Pedro, E.S., Meirelles, W.F., Leite Junior, R.P., Sauer, A.V. and Paccola-Meirelles L.D. (2013). Etiology of *Phaeosphaeria* leaf spot disease of maize. *Journal of Plant Pathology*. 95(3): 559-569. <http://www.jstor.org/stable/23721577>
- Guillén-Pérez, L. A., Sánchez-Quintanar C., Mercado-Domenech S. y Navarro-Garza H. (2002). Análisis de atribución causal en el uso de semilla criolla y semilla mejorada de maíz. *Agrociencia*. 36(3): 377-387. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236311>
- Halo, B. A., Al-Yahyai, R. A., Maharachchikumbura, S. S. N. and Al-Sadi, A. M. (2019). *Talaromyces variabilis* interferes with *Pythium aphanidermatum* growth and suppresses *Pythium*-induced damping-off of cucumbers and tomatoes. *Scientific Reports*. 9(1): 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47736-x>
- Hernández, A. A. D., Pineda L. A. J. y Noriega-Córdova, H. W. (2019). Aislamiento e identificación de *Fusarium oxysporum* obtenidos de zonas productoras de "ají paprika" *Capsicum annumm* L. (Solanaceae) en el distrito de Barranca, Perú. *Arnaldoa*. 26(2): 689-698. <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26211>
- Hernández, F. E., Pioli, R. N., Peruzzo, A. M., Formento, Á. N. y Pratta, G. R. (2015). Caracterización morfológica y molecular de una colección de aislamientos de *Phomopsis longicolla* (teleomorfo desconocido: Diaporthales) de la región templada y subtropical de Argentina. *Revista de Biología Tropical*. 63(3): 871-884. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442015000300871&script=sci_arttext

- Hernández-Delgado, S., Reyes-López, M. Á., García-Olivares, J. G., Mayek-Pérez, N. y 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. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v25n2/v25n2a6.pdf>
- Jian Piletti G., Trezzi Casa R., Bampi D., Da Silva Piletti L. M. M., Stoltz J. C., Sangoi L. and Michelutti D. (2014). Reação de híbridos de milho à mancha-de-macrospora. *Summa Phytopathologica*. 40(1): 24-28. <https://doi.org/10.1590/S0100-54052014000100003>
- Kator, L., Ogo-Oluwa, A. T. and Kemi, A. B. (2016). Isolation and Identification of Seed Borne Fungi of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) from Selected Markets in Makurdi. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*. 2(5): 75-78. doi: 10.11648/j.ijaas.20160205.11
- Kaur N., Sehgal S.K., Glover K.D., Byamukama E., Ali S. (2020) Impact of *Fusarium graminearum* on seed germination and seedling blight in hard red spring wheat in South Dakota. *Journal of Plant Pathology and Microbiology*. 11(5): 495. doi: 10.35248/2157-7471.20.11.495
- Leonard, K. J., and Suggs, E. G. (1974). *Setosphaeria prolata*, the ascigerous state of *Exserohilum prolatum*. *Micología*. 66(2): 281-297. <https://doi.org/10.1080/00275514.1974.12019603>
- Leslie, J. F. and Summerell, B. A. (2006). The *Fusarium* laboratory manual. Iowa, U.S.A. Blackwell Publishing. 388 p.
- Li, S., Bradley, C. A., Hartman, G. L. and Pedersen, W. L. (2007). First report of *Phomopsis longicolla* from velvetleaf causing stem lesions on inoculated soybean and velvetleaf plants. *Plant Disease*. 85(9): 1031-1031. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2001.85.9.1031A>

- Lofgren L. A., LeBlanc N. R., Certano A. K., Nachtigall J., LaBine K. M., Riddle J. and Kistler H. C. (2018). *Fusarium graminearum*: pathogen or endophyte of North American grasses? *New Phytologist*. 217: 1203-1212. doi: 10.1111/nph.14894
- López-Torres, B. J., Rendón-Medel, R. y Camacho Villa, T. C. (2016). La comercialización de los maíces de especialidad en México: condiciones actuales y perspectivas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 7(15): 3075-3088. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342016001103075&script=sci_arttext
- Luongo, L., Belisario, A., Riccioni, L. and Santori, A. (2011). *Phomopsis* sp. associated with post-harvest fruit rot of kiwifruit in Italy. *Journal of Plant Pathology*. 93(1): 205-209. <http://www.jstor.org/stable/41998957>
- Magdaleno-Hernández, E., Mejía-Contreras, A., Martínez-Saldaña, T., Jiménez-Velazquez, M. A., Sanchez-Escudero, J. y García-Cué, J. L. (2016). Selección tradicional de semilla de maíz criollo. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 13(3): 437-447. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722016000300437
- Mannaa, M. & Kim, K. D. (2017). Influence of temperature and water activity on deleterious fungi and mycotoxin production during grain storage. *Mycobiology*. 45(4): 240-254. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2017.45.4.240>
- Marín, P., Moretti, A., Ritieni, A., Jurado, M., Vázquez, C. and González-Jaén, M. T. (2012). Phylogenetic analyses and toxigenic profiles of *Fusarium equiseti* and *Fusarium acuminatum* isolated from cereals from Southern Europe. *Food Microbiology*. 31: 229-237. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.03.014>
- Mário, J. L., Gozuen, C. F. and Juliatti, F. C. (2017). *Stenocarpella macrospora* and *Stenocarpella maydis* in the cerrado and southern Brazil regions. *Bioscience Journal*. 33(1): 76-87. <https://doi.org/10.14393/BJ-v33n1a2017-36068>

- Martin, T., Biruma, M., Fridborg, I., Okori, P. and Dixelius, C. (2011). A highly conserved NB-LRR encoding gene cluster effective against *Setosphaeria turcica* in sorghum. BMC Plant Biology. 11: 1-11. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-11-151>
- Martínez Padrón, H. Y., Hernández Delgado, S., Reyes Méndez, C. A. y Vázquez Carrillo, G. (2013). El género *Aspergillus* y sus micotoxinas en maíz en México: problemática y perspectivas. Revista Mexicana de Fitopatología. 31(2): 126-146. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61231509005>
- Montero-Tavera, V., Guerrero-Aguilar, B. Z., Anaya-López, J. L., Martínez-Martínez, T. O., Guevara-Olvera, L. y González-Chavira, M. M. (2013). Diversidad genética de aislados de *Rhizoctonia solani* (Kuhn) de Chile en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 4(7): 1043-1054. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000700006
- Montes, G. N., Reyes, M. C. A., Montes, R. N. and Cantu, A. M. A. (2009). Incidence of potentially toxigenic fungi in maize (*Zea mays* L.) grain used as food and animal feed. CyTA—Journal of Food. 7(2): 119-125. <https://doi.org/10.1080/19476330902940432>
- Morales-Rodríguez, I., Yañez-Morales, M. de J., Silva-Rojas, H. V., García-de-los-Santos, G., and Guzman-de-Pena, D. A. (2007). Biodiversity of *Fusarium* species in Mexico associated with ear rot in maize, and their identification using a phylogenetic approach. Mycopathologia. 163: 31-39. DOI 10.1007/s11046-006-0082-1
- Moreno, C. M. D. C., Martínez Y. A. J. y Raybaudi M. R. (2000). Determinación de deoxinivalenol (DON) en trigo, cebada y maíz y su relación con los niveles de mohos totales, *Fusarium* spp., porcentaje de colonización y actividad de agua. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 50(2): 183-186. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0004-06222000000200012&script=sci_arttext

- Muis, A. and Quimio, A. J. (2006). Biological control of banded leaf and sheath blight disease (*Rhizoctonia solani* Kuhn) in corn with formulated *Bacillus subtilis* BR23. Indonesian Journal of Agricultural Science. 7(1): 1-7. <http://dx.doi.org/10.21082/ijas.v7n1.2006.p1-7>
- Navarro-Garza, H., Hernández-Flores, M., Castillo-González, F. y Pérez-Olvera, M. A. (2012). Diversidad y caracterización de maíces criollos. Estudio de caso en sistemas de cultivo en la Costa Chica de Guerrero, México. Agricultura, sociedad y desarrollo. 9(2): 149-165. <http://www.scielo.org.mx/pdf/asd/v9n2/v9n2a4.pdf>
- Okello, P. N., Petrović, K., Kontz, B. and Mathew, F. M. (2019). Eight species of *Fusarium* cause root rot of corn (*Zea mays*) in South Dakota. Plant Health Progress. 20(1): 38-43. <https://doi.org/10.1094/PHP-11-18-0075-RS>
- Ortiz-Bustos, C. M., García-Carneros, A. B. y Molinero-Ruiz, L. (2015). La marchitez tardía del maíz (*Zea mays* L.) causada por *Cephalosporium maydis* en la Península Ibérica, y otros hongos asociados. Summa Phytopathologica. 41(2): 107-114. 10.1590/0100-5405/1998. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-5405/1998>
- Paliwual, R. L., Granados G., Lafitte, H. R., Violic, A. D. y Marathée J. P. (2001). El Maíz en los Trópicos: Mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/3/x7650s/x7650s00.htm>
- Parikh, L., Kodati, S., Eskelson, M. J. and Adesemoye, A. O. (2018). Identification and pathogenicity of *Fusarium* spp. in row crops in Nebraska. Crop Protection. 108: 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.02.019>
- Petatán-Sagahón, I., Anducho-Reyes, M. A., Silva-Rojas, H. V., Arana-Cuenca, A., Tellez-Jurado, A., Cárdenas-Álvarez, I. O. and Mercado-Flores, Y. (2011). Isolation of bacteria with antifungal activity against the phytopathogenic Fungi *Stenocarpella maydis* and

Stenocarpella macrospora. International Journal of Molecular Sciences. 12: 5522-5537.

<https://doi.org/10.3390/ijms12095522>

Peterson, S. W. and Jurjević, Ž. (2017). New species of *Talaromyces* isolated from maize, indoor air and other substrates. Mycologia. 109(4): 537-556.

<https://doi.org/10.1080/00275514.2017.1369339>

Racedo, J., Salazar, S. M., Castagnaro, A. P. and Díaz Ricci, J. D. (2013). A strawberry disease caused by *Acremonium strictum*. European Journal of Plant pathology. 137(4): 649-654.

<https://doi.org/10.1007/s10658-013-0279-3>

Rahjoo, V., Zad, J., Javan-Nikkhah, M., Gohari, A. M., Okhovvat, S. M., Bihamta, M. R., Razzaghian J. and Klemsdal, S. S. (2008). Morphological and molecular identification of *Fusarium* isolated from maize ears in Iran. Journal of Plant Pathology. 90(3): 463-468.

<http://www.jstor.org/stable/41998539>

Ramathani, I., Biruma, M., Martin, T., Dixelius, C. and Okori, P. (2011). Disease severity, incidence and races of *Setosphaeria turcica* on sorghum in Uganda. European Journal of Plant Pathology. 131: 383-392. <https://doi.org/10.1007/s10658-011-9815-1>

Ranum, P., Peña-Rosas, J. P. and Garcia-Casal, M. N. (2014). Global maize production, utilization and consumption. Annals of the New York Academy of Sciences. 1312(1): 105-112. doi: 10.1111/nyas.12396

Reyes-Méndez, C. A., Cantú-Almaguer, M. A., Gill-Langarica, H. R., García-Olivares, J. G., y Mayek Pérez, N. (2017). Interacción genotipo ambiente en maíz cultivado en Tamaulipas, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 8(3): 571-582.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v8i3.32>

- Romero Luna, M. P., Bradley, C. A., Kelly, H. M. and Wise, K. A. (2016). Occurrence of *Stenocarpella macrospora* causing ear rot in corn in the United States. Plant Health Progress. 17(2): 152-154. <https://doi.org/10.1094/PHP-RS-16-0023>
- Romero, M. P. and Wise, K. A. (2015). Development of molecular assays for detection of *Stenocarpella maydis* and *Stenocarpella macrospora* in corn. Plant Disease. 99(6): 761-769. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-14-0917-RE>
- Sahagún C. L., Barrera G. E., Márquez S. F., Gómez M. N., Trujillo C. A., Castro G. H., Coutiño E. B., Carrera V. J. A., Castellanos S. A. y Luévano V. J. M. (2008). Evaluación de variedades de maíz del CENREMMAC mejoradas por retrocruza limitada para resistencia a sequía. Revista de Geografía Agrícola. (40): 91-100. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75711534008>
- Sainz M. J., Aguin O., Bande M. J., Pintos C. y Mansilla J. P. (2012). Biodiversidad de especies de *Fusarium* en tallos de maíz forrajero en Galicia. Pastos. 42(1): 51-66. <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/2034>
- Sánchez G., J. J., Goodman, M. M. and Stuber, C. W. (2000). Isozymatic and Morphological Diversity in the Races of Maize of Mexico. Economic Botany. 54(1): 43-59. DOI:10.1007/BF02866599
- Silva, J. J., Viaro, H. P., Ferranti, L. S., Oliveira, A. L. M., Ferreira, J. M., Ruas, C. F., Ono E. Y. S. and Fungaro, M. H. P. (2017). Genetic structure of *Fusarium verticillioides* populations and occurrence of fumonisins in maize grown in Southern Brazil. Crop Protection. 99: 160-167. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2017.05.020>
- Sittisart, P., Yossan, S. and Prasertsan, P. (2017). Antifungal property of chili, shallot and garlic extracts against pathogenic fungi, *Phomopsis* spp., isolated from infected leaves of para

- rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). *Agriculture and Natural Resources*. 51(6): 485-491. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.03.005>
- Sowley, E. N. K., Kankam, F. and Tawiah, E. (2018). Comparative study on the incidence of *Aspergillus flavus* in Farmer's field and stored maize (*Zea mays* L.) seed in Northern Region of Ghana. *Asian Plant Research Journal*. 1(2): 1-7. Doi: 10.9734/APRJ/2018/v1i226269
- Spedaletti, Y., Aparicio, M., Mercado Cárdenas, G., Rodriguero, M., Taboada, G., Aban, C., Sühring, S., Vizgarra, O. and Galván, M. (2016). Genetic characterization and pathogenicity of *Rhizoctonia solani* associated with common bean web blight in the main bean growing area of Argentina. *Journal of Phytopathology*. 164: 1054-1063. <https://doi.org/10.1111/jph.12526>
- Summerbell, R. C., Gueidan, C., Schroers, H. J., De Hoog, G. S., Starink, M., Rosete, Y. A., GuarrO, J. and Scott, J. A. (2011). *Acremonium* phylogenetic overview and revision of *Gliomastix*, *Sarocladium*, and *Trichothecium*. *Studies in Mycology*. 68:139-162. doi:10.3114/sim.2011.68.06
- Susca, A., Villani, A., Moretti, A., Stea, G. and Logrieco, A. (2020). Identification of toxigenic fungal species associated with maize ear rot: Calmodulin as single informative gene. *International Journal of Food Microbiology*. 319: 108491. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108491>
- Sutton, B.C. and Waterston, J. M. (1966) *Diplodia macrospora*. CMI Descriptions of Pathogenic Fungi and Bacteria No. 83. CAB International, Wallingford, UK.
- Tsedaley, B., and Adugna, G. (2016). Detection of fungi infecting maize (*Zea mays* L.) seeds in different storages around Jimma, Southwestern Ethiopia. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*. 7(3): 1000338. DOI: 10.4172/2157-7471.1000338

- Velarde Félix, S., Valdez Rubio, N., Zamora Galván, F., López Molina, R., Melgoza Villagómez, C. M. y Garzón Tiznado, J. A. (2018). Identificación molecular de *Fusarium* spp. aislados de maíz en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9(8): 1675-1689. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.756>
- Voorhees, R. K. (1935). Histological studies of a seedling disease of corn caused by *Gibberella moniliformis*. *Journal of Agricultural Research*. 49(11): 1009-1015. <https://naldc.nal.usda.gov/download/IND43968423/PDF>
- Yan, H. H., Zhang, R. Q., Du, H. F., Chi, Y. C. and Xia, S. C. (2013). *Rhizoctonia solani* Identified as the Disease Causing Agent of Peanut Leaf Rot in China. *Plant Disease*. 97(1): 140-140. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PDIS-05-12-0510-PDN>
<https://doi.org/10.1094/PDIS-05-12-0510-PDN>
- Yassin, M. A., El-Samawaty, A. R. M. A., Moslem, M., Bahkali, A. and Abd-Elsalam, K. (2011). Fungal biota and occurrence of aflatoxigenic *Aspergillus* in postharvest corn grains. *Fresenius Environmental Bulletin*. 20(4): 903-909. <https://www.researchgate.net/publication/259827957>
- Yilmaz, N., Visagie, C. M., Houbraeken, J., Frisvad, J. C. and Samson, R. A. (2014). Polyphasic taxonomy of the genus *Talaromyces*. *Studies in Mycology*. 78: 175-341. <http://dx.doi.org/10.1016/j.simyco.2014.08.001>
- Zainudin, N. A. I. M., Hamzah, F. A., Kusai, N. A., Zambri, N. S., and 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. doi:10.3906/biy-1606-25
- Zhang, G., Wang, F., Qin, J., Wang, D., Zhang, J., Zhang, Y., Zhang S. and Pan, H. (2013). Efficacy assessment of antifungal metabolites from *Chaetomium globosum* No. 05, a new

biocontrol agent, against *Setosphaeria turcica*. *Biological Control*. 64: 90-98.

<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.10.005>

CAPITULO II

FRECUENCIA DE PATÓGENOS EN SEMILLAS DE MAÍCES CRIOLLOS

RESUMEN

Los maíces criollos presentan problemas fitosanitarios como la pudrición de mazorcas en campo y en almacenamiento. Por lo que en el presente trabajo de investigación el objetivo fue determinar la frecuencia de los hongos patógenos presentes en semillas de maíces criollos. Durante enero y febrero de 2019, se colectaron 13 muestras de maíces criollos de cinco localidades en Guerrero. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio y se estimó en porcentaje la frecuencia de cada hongo con base a las características culturales y claves taxonómicas. En las muestras de semillas de maíz sintomáticas *Fusarium oxysporum* se registró en ocho muestras con el valor más alto en frecuencia que fue 97.2 % en semillas de maíz de color blanco de la raza no identificada y con la menor frecuencia fue para la raza de maíz “Pepitilla” con el 2.8 %, seguido de *F. graminearum* registrado en dos muestras en la raza de maíz “Olotillo 1” con 94.4 % y en la raza “Cónico pepitilla” 58.3 %. *Phomopsis* sp., en seis muestras con el valor más alto fue en la raza “Olotillo 2” de 100 % y el más bajo (16.7 %) en “Cónico pepitilla”. Para *Gibberella moniliformis* se observó en cuatro muestras en “Elotes Occidentales 1” con un 83.3 % y el menos frecuente (19.4 %) en “Pepitilla” fue *Sarocladium strictum* registrado en tres muestras con valores bajos de 11.1 % y 2.8 % en la raza de maíz “Arrocillo 2” y “Pepitilla”, *Talaromyces variabilis* en dos muestras con 11.1 % y 2.8 % en “Arrocillo 2” y “Cónico pepitilla”. El hongo *Stenocarpella macrospora* fue aislado en 72.2 % en una muestra de la raza de maíz “Pepitilla”. *Aspergillus flavus* en “Cónico Pepitilla” con 16.7 %, *Setosphaeria turcica* y *Emericella* sp., registrados en la raza de maíz “Arrocillo delgado” con frecuencia estimada de 16.7, 2.8 %. En semillas asintomáticas se registró en tres muestras, en el control negativo de la raza “Cónico pepitilla” se detectó a *F. oxysporum* con un 8.3 %, *Fusarium acuminatum* 8.3 %,

Gibberella moniliformis en 41.7 %, en el control negativo de “Olotillo 1” y “Olotillo 2” *Phomopsis* sp., fue de 50 % y *Rhizoctonia solani* con el 50 %. Se aislaron un complejo de hongos asociados a las semillas de maíces criollos, por lo que se concluye que la especie de *F. oxysporum* fue el organismo más frecuente seguido de *Phomopsis* sp., *G. moniliformis* y *F. graminearum*, los cuales se consideran los más frecuentes en las semillas de maíces criollos estudiados en este trabajo de investigación.

INTRODUCCIÓN

En México, los maíces nativos son utilizados principalmente para autoconsumo y ocupan alrededor del 70 a 80 % de la superficie cultivada (Franco-Martínez *et al.*, 2015). El maíz nativo a pesar de ser un material genético regional, presenta diversas problemáticas que disminuyen la productividad del cultivo, uno de ellos se asocia con la pudrición de las mazorcas inducida por hongos fitopatógenos de diversos géneros (Martínez-Núñez *et al.*, 2019).

Entre los hongos más frecuentes y que causa pérdidas económicas en todo el mundo es el género *Fusarium* spp., que presenta diversas especies, las principales que se encuentran en los granos y tallo de maíz son: *Fusarium verticillioides*, *F. oxysporum*, *F. graminearum*, *F. equiseti*, *F. proliferatum* y *F. subglutinans* (Li *et al.*, 2019; Atanasova-Penichon *et al.*, 2016), en los granos de maíz para consumo y granos de maíz para palomita identificaron las especies de *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *A. calvatus*, *Rhizopus stolonifer* y *Fusarium proliferatum* (Yasin *et al.*, 2011). Por otra parte, Ghiasian *et al.* (2004), señalan que las especies de *Fusarium acuminatum*, *F. equiseti*, *F. semitectum*, *F. scirpi*, *F. culmorum* y *F. nygamai* son frecuentes y se encuentran presentes en semillas de maíz mismas que deterioran y causan la pudrición de las semillas. El género *Fusarium* comúnmente infecta semillas de maíz y consecuentemente, reduce la capacidad de germinación, en otros casos el hongo permanece por varios periodos colonizando en desechos vegetales esperando plántula, raíz y tallo (Uribe-Cortés *et al.*, 2020).

OBJETIVO E HIPÓTESIS

Objetivo

Determinar la frecuencia de los hongos patógenos presentes en semillas de maíces criollos.

Hipótesis

La frecuencia de los hongos patogénicos permitirá al agricultor la no selección de mazorcas con síntomas de enfermedad presente en maíces criollos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo de mazorcas de maíz criollo

Las muestras de mazorcas se colectaron durante los meses de enero - febrero de 2019. El muestreo consistió en colectar directamente de las trojes de los agricultores, cinco mazorcas sintomáticas y tres mazorcas asintomáticas de la misma raza de maíz criollo. Las muestras se colocaron en bolsas de plástico transparente, se etiquetaron y se trasladaron al laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero. Las mazorcas sintomáticas y asintomáticas fueron desgranadas, y posteriormente las semillas se almacenaron en bolsas de papel estraza (Cuadro 1).

Cuadro 4. Genotipos de maíz criollo (*Zea mays* L.) colectados en cinco localidades del Estado de Guerrero, periodo enero - febrero 2019.

Maíz						
Región	Municipio	Localidad	Coordenadas	Humedad relativa (%)	Altitud (msnm)	Razas
Norte	Cocula	Tlanipatlán	18° 9' 34.05" N 99° 44' 52.51" W	58.80	1,067	Elotes Occidentales (morado 1), No identificado (blanco), Elotes Occidentales (morado 2) y Elotes Occidentales (rosado 3)
		Apetlanca	18° 12' 27.9" N 99° 47' 21.29" W	58.80	1,718	Pepitilla (blanco)
	Cuetzala del Progreso	San Francisco Lagunita	18° 10' 34.28" N 99° 46' 3.75" W	58.80	1,679	Cónico Pepitilla (blanco), Arrocillo delgado (blanco-crema), Arrocillo (blanco 1) y Arrocillo (blanco 2)
Centro	Chilapa de Álvarez	Cuamañotepec	17° 33' 0.07" N 99° 3' 9.68" W	62.69	2,096	Olotillo (blanco 1),
Costa Chica	San Luis Acatlán	Pascala del Oro	17° 3' 17.49" N 98° 48' 35.09" W	67.28	1,085	Olotillo (morado 2), Maíz Costeño (blanco 1 y blanco 2)

Procesamiento de muestras

El experimento se llevó a cabo en el laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero, ubicada en Iguala de la Independencia, Guerrero, entre las coordenadas 18° 20' 34.01" LN 99° 30' 50" LO, altitud de 766 msnm (García, 2004).

Preparación y desinfestación de fragmentos de maíz

Se preparó el medio de cultivo PDA (Bioxon[®]), según las indicaciones del fabricante. Para cada colecta de maíz criollo, se seleccionaron 25 semillas sintomáticas de tipo plano medio para el aislamiento de posibles hongos y 10 semillas asintomáticas que fueron utilizados como control negativo. De cada semilla se obtuvieron seis fragmentos de medidas inferiores a 0.5 cm aproximadamente, y se desinfestaron con NaClO al 1.5 % durante dos minutos, posteriormente se enjuagaron con dos cambios de agua esterilizada durante dos minutos (Kator *et al.*, 2016).

Preparación de cajas Petri y siembra de fragmentos de maíz

Los fragmentos se colocaron en papel absorbente previamente esterilizado durante 20 minutos para eliminar el exceso de agua, transcurrido los 20 min se procedió a la siembra de fragmentos de semillas de maíz sintomáticas y asintomáticas, con una aguja de disección se depositaron seis fragmentos/caja Petri (cajas de 90 x 15 mm de diámetro) con PDA, se repitió el mismo procedimiento con el resto de los fragmentos para cada raza de maíz. Las cajas Petri se sellaron con plástico adhesivo y se incubaron a 26 °C durante siete días bajo luz blanca en ciclos alternos de 12 h de luz / oscuridad.

Crecimiento y estimación de hongos en cada caja Petri

Después de ocho a diez días de incubación, se observó de manera visual la presencia y crecimiento de hongos en cada una de las cajas Petri con contenido de PDA, con seis fragmentos de semillas de maíz sintomáticas y asintomáticas que fueron previamente sembradas en medios de cultivo PDA (Cuadro 2), después de 11 días se procedió a la cuantificación el cual se realizó durante cuatro a cinco días, y consistió en contabilizar todas las colonias de los organismos fúngicos desarrollados que fueron registrados con base a sus características culturales y

morfológicas. La frecuencia de los hongos se calculó siguiendo la metodología propuesta por Kator *et al.* (2016) y Tsedaley y Adugna (2016).

De acuerdo a las claves taxonómicas propuestas por Barnett y Hunter (1998), Leslie y Summerell (2006) y Crous *et al.* (2009), se identificaron morfológicamente los hongos presentes en semillas de maíces criollos.

Cuadro 5. Fragmentos de semillas de maíces criollos (*Zea mays* L.) depositadas por caja Petri.

Localidad	Raza	Fenotipo	Número de cajas Petri/muestra		Fragmentos/caja Petri
			Sintomática	Asintomática	
Apetlanca	Pepitilla	Blanco	6	2	6
Cuamañotepec	Olotillo 1	Blanco	6	2	6
	Cónico Pepitilla	Blanco	6	2	6
San Francisco Lagunita	Arrocillo delgado	Blanco-crema	6	2	6
	Arrocillo 1	Blanco	6	2	6
	Arrocillo 2	Blanco	6	2	6
Tlanipatlán	Elotes occidentales 1	Morado	6	2	6
	No identificado	Blanco	6	2	6
	Elotes occidentales 2	Morado	6	2	6
	Elotes occidentales 3	Rosado	6	2	6
Pascala del Oro	Olotillo 2	Morado	6	2	6
	Maíz costeño 1	Blanco	6	2	6
	Maíz costeño 2	Blanco	6	2	6

La frecuencia de hongos observados se calculó en porcentaje por cada caja Petri mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Frecuencia \%} = \frac{\text{Número de fragmentos por género o especie de hongo}}{\text{Total de fragmentos por caja petri}} \times 100$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la presente investigación se aislaron un total de 10 especies de hongos que pertenecen a 8 géneros, del total de especies identificadas, seis se aislaron únicamente en muestras sintomáticas, dos especies fueron registradas solamente en muestras asintomáticas, dos especies y un género en ambas muestras.

A partir de semillas sintomáticas, se aislaron los hongos: *Fusarium oxysporum*, *F. graminearum*, *Gibberella moniliformis*, *Sarocladium strictum*, *Talaromyces variabilis*, *Stenocarpella macrospora*, *Aspergillus flavus*, *Setosphaeria turcica* así también se reportaron dos géneros que no fue posible su identificación a nivel de especie, *Phomopsis* sp. y *Emericella* sp.

Por otro lado, en las semillas asintomáticas se aisló a *Rhizoctonia solani*, *Fusarium acuminatum*, *F. oxysporum*, *Gibberella moniliformis* y *Phomopsis* sp. (Cuadro 3).

Cuadro 6. Frecuencia de hongos presentes en semillas sintomáticas y asintomáticas de maíces criollos procedentes de cinco localidades del Estado de Guerrero; expresada en porcentaje.

Raza de maíz	Fgra	Foxy	Facu	Sstr	Gmon	Smac	Phom	Tvar	Afla	Rsol	Stur	Emer	Sh
^a Pepitilla	0 ^f	2.8 ^f	0 ^f	2.8 ^f	19.4 ^f	72.2 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	2.8 ^f
^b Olotillo 1	94.4 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	5.6 ^f
^b Olotillo 1	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	50 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	50 ^g
^c Cónico pepitilla	58.3 ^f	5.6 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	16.7 ^f	2.8 ^f	16.7 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f
^c Cónico pepitilla	0 ^g	8.3 ^g	8.3 ^g	0 ^g	41.7 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	41.7 ^g
^c Arrocillo delgado	0 ^f	8.3 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	75 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	16.7 ^f	2.8 ^f	0 ^f
^c Arrocillo 1	0 ^f	13.9 ^f	0 ^f	8.3 ^f	66.7 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	11.1 ^f
^c Arrocillo 2	0 ^f	38.9 ^f	0 ^f	11.1 ^f	0.0 ^f	0 ^f	0 ^f	11.1 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	38.9 ^f
^d Elotes occidentales1	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	83.3 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	16.7 ^f
^d Blanco no identificado	0 ^f	97.2 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	2.8 ^f
^d Elotes occidentales2	0 ^f	77.8 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	22.2 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f
^d Elotes occidentales3	0 ^f	52.8 ^f	0 ^f	0 ^f	44.4 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	2.8 ^f

Continuidad del cuadro 6

°Olotillo 2	0 ^f	100 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f						
°Olotillo	0 ^g	0 ^g	0 ^g	0 ^g	50 ^g	0 ^g	0 ^g	50 ^g						
°Maíz costeño 1	0 ^f	97.2 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	2.8 ^f						
°Maíz costeño 2	0 ^f	50 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	0 ^f	50 ^f						

a= Apetlanca, Mpio. de Cuetzala del Progreso; b= Cuamañotepec, Mpio. de Chilapa de Álvarez c=San Francisco Lagunita, Mpio. de Cuetzala del Progreso; d= Tlanipatlan, Mpio. de Cocula; e= Pascala del Oro, Mpio. de San Luis Acatlan. Fgra= *Fusarium graminearum*, Foxy= *Fusarium oxysporum*, Facu= *Fusarium acuminatum*, Sstr= *Sarocladium strictum*, Gmon= *Gibberella moniliformis*, Smac= *Stenocarpella macrospora*, Phom= *Phomopsis* sp., Tvar= *Talaromyces variabilis*, Afla= *Aspergillus flavus*, Rsol= *Rizoctonia solani*, Stur= *Setosphaeria turcica*, Emer= *Emericella* sp., Sh= Sin hongo. f= aislamiento del hongo en semillas sintomáticas; g= aislamiento del hongo en semillas asintomáticas.

Los organismos con mayor frecuencia en semillas sintomáticas fueron las especies del género *Fusarium*; *F. oxysporum* se aisló en ocho muestras que corresponden a seis razas de maíz criollo con una incidencia del 97.2 % en las semillas de color blanco de la raza no identificada, *F. oxysporum*, es considerado como el principal causante de la disminución en la producción de maíz a nivel mundial, por ejemplo, en España, Brasil, México, entre otros países (Rivas-Valencia *et al.*, 2011; Aguín *et al.*, 2014; Farr y Rossman, 2021). De acuerdo con García-Aguirre y Martínez-Flores, (2010) reportaron la presencia de *F. oxysporum* aislado en dos muestras de semillas de maíz blanco nacional y semillas de maíz criollo de color blanco el cual presentó la frecuencia del 100 %. Zhou *et al.* (2018) en un trabajo de investigación aislaron distintas especies de *Fusarium* spp., a partir de mazorcas y granos de maíz, en el que detectaron a *F. verticillioides*, *F. proliferatum*, *F. meridionale* y *F. oxysporum* como los predominantes, este último con una frecuencia de 12.1 %, mismas especies fueron consideradas como patógenos que causan pudrición a las mazorcas y granos de maíz en China. Respecto a la raza “Pepitilla” se aisló con menor frecuencia a *F. oxysporum*, al registrar valores de 2.8 % de aislamiento. En cuanto a fragmentos asintomáticos en una raza de maíz “Cónico pepitilla” se detectó con 8.3 %.

El hongo *F. graminearum*, fue registrado de dos muestras de la raza “Olotillo 1” con el 94.4 % de incidencia, en México este hongo fue reportado como el causante de pudriciones de mazorcas, tallo y tizón de plántulas de maíz García-Aguirre y Martínez-Flores (2010), en Argentina también es conocido como el causante de la pudrición de mazorcas de maíz y destacada por su constante presencia en los granos de maíz (Casteñares *et al.* 2019). Acorde con, Niaz y Dawar (2009), informaron de la presencia de *F. graminearum* en la microbiota aislada de las semillas de los cultivos de maíz, en Pakistán. Por su parte, Broders *et al.* (2007), señala que, en Estados Unidos, *F. graminearum* es considerado un patógeno de importancia económica, que causa la enfermedad denominada “tizón de la cabeza” en el trigo y que además es responsable de la pudrición del tallo y las mazorcas de maíz. Por otra parte, en el presente estudio también se reporta su presencia en las semillas de la raza de maíz “Cónico Pepitilla” con una incidencia de 58.3 %. En México, la especie *F. graminearum* es reportado también en semillas de trigo de temporal, aunque con una baja prevalencia de acuerdo al estudio realizado, indicaron un 4 % de aislamiento (Sandoval-Martínez *et al.* 2012). Por otro lado, Ekwomadu *et al.* (2018), mencionan el género *Fusarium* es el principal causante en la contaminación de semilla de maíz comercial en Sudáfrica.

Por su parte, *Phomopsis* sp., fue aislado en seis muestras de las razas de maíz sintomáticas “Cónico pepitilla”, “Arrocillo delgado”, “Elotes occidentales 2”, “Olotillo 2”, “Maíz costeño 1”, “Maíz costeño 2” y registrada también en una muestra asintomática de la raza de maíz “Olotillo 1”, los que manifestaron los valores más altos fueron: “Olotillo 2” y “Maíz Costeño 1”, ambas muestras fueron sintomáticas, con valores que oscilaron en 100 % y 97.2 % de incidencia, respectivamente. Además, *Phomopsis* sp., en muestras asintomáticas se aisló de la raza de maíz “Olotillo 1” con una frecuencia de 50 %. Por otra parte, Tsantrizos, (1995), indicó que *Phomopsis* es considerado patógeno que frecuentemente se encuentran en plantas y estos son asociados a las diversas enfermedades de los cuales llegan a causar daño en frutos, tallos y semillas de diversos

cultivos. Lamprecht *et al.* (2011), reportaron la presencia de *Phomopsis viticola*, *P. asparagi*, *P. vaccinii* y *P. sclerotioides*, como parte del complejo de hongos que afectan significativamente la supervivencia de las plántulas de maíz y, además, son causantes de la pudrición de mazorcas en este cultivo, en Sudáfrica.

Asimismo, *Gibberella moniliformis* se aisló en cuatro muestras de semillas sintomáticas, en este sentido el fenotipo “Elotes Occidentales 1” y “Arrocillo 1”, presentaron valores de 83.3 % y 66.7 % de incidencia, respectivamente, esta especie lo han reportado en México como un patógeno de gran importancia que afecta a diferentes partes del maíz: mazorca, granos, raíz y tallo De la Torre-Hernández (2014), por otra parte este hongo ha sido reportado como asociado a la “pudrición tardía del maíz” en países europeos, específicamente en localidades de Portugal y España, donde se reportó su presencia en seis de 19 muestras procesadas de tallos sintomáticos de plantas de maíz (Ortiz-Bustos *et al.*, 2015). En Estados Unidos e Italia, Jurgenson *et al.*, (2002) y Covarelli *et al.* (2012), han reportado a *G. moniliformis* como un patógeno frecuente y principalmente en cultivos de maíz, pero además causante de enfermedades en cultivos de otras especies, por ejemplo, en sorgo, por lo que es de importancia económica. Proctor *et al.* (2003) informaron que *G. moniliformis* produce micotoxinas y es un patógeno del maíz en Estados Unidos. Por otro lado, el fenotipo “Pepitilla” también mostró susceptibilidad ante el patógeno, sin embargo, los valores fueron bajos de al menos 19.4 % de incidencia en semillas sintomáticas. Por lo tanto, *G. moniliformis* también se detectó en una muestra en fragmentos de semillas asintomáticas de la raza “Cónico Pepitilla” con valores de 41.7 % de incidencia.

También se aisló a *Sarocladium strictum* el cual exhibió valores de incidencia del 11 % en semillas sintomáticas del genotipo “Arrocillo 2”, 8.3 % en “Arrocillo 1” y 2.8 en “Pepitilla”, la misma especie se registró en Sudáfrica con una incidencia mayor a lo reportado en el presente estudio, su frecuencia fue de un 18.4 % de aislamiento en granos de maíz e identificada como un

patógeno asociado a la pudrición de mazorcas de maíz Aveling *et al.* (2020), a diferencia con lo obtenido por Gonçalves *et al.* (2013), detectaron a *S. strictum* en hojas de maíz, en este caso documentaron baja incidencia del 1.56 %, además reportaron otras especies por mencionar algunas *Cochliobolus heterostrophus*, *Gibberella fujikuroi* y *Glomerella graminicola*, como causantes de la mancha foliar del maíz en Brasil. Por otra parte, en Polonia en un conteo de incidencia, *S. strictum* fue reportado con al menos tres aislamientos, dos especies más de *S. zea* con 17 y *Lecanicillium lecanii* con cinco aislamientos extraídos de semillas de maíz, además los autores realizaron otros estudios a las mismas especies para determinar el contenido de sustancias bioactivas de dichos hongos (Błaszczuk *et al.*, 2021). Sin embargo, de acuerdo a la literatura es poca la información de *S. strictum* reportada en granos de maíz, esta especie es considerada cosmopolita y causante de la mancha foliar y marchitez de cultivos en el que se ha reportado como en maíz y uva (*Vitis vinifera*) (Farr y rosman, 2021).

El hongo *Talaromyces variabilis* en el presente estudio fue aislado en dos muestras de los cuales presentaron menor frecuencia de 11.1 % en la raza de maíz “Arrocillo 2” y 2.8 % en la raza “Cónico pepitilla”, para esta especie en cuanto a aislamientos en semillas de maíz es poca la información encontrada, sin embargo lo que se ha reportado sobre *T. variabilis* mencionan que se ha registrado en muestras de suelo de los campos de Corea del Sur en el cual han descubierto otras dos especies *T. purpurogenus* y *T. trachyspermus* (Adhikari *et al.*, 2015; Adhikari *et al.*, 2021), en otros casos *T. variabilis* es documentado como agente de biocontrol que contribuye a la inhibición de la enfermedad de *Pythium aphanidermatum* presente en cultivos de tomate y pepino (Halo *et al.*, 2019). Peterson y Jurjević (2017) indicaron no precisamente a *T. variabilis* sino a otras especies que corresponden al género de *Talaromyces* como: *Talaromyces herodensis*, *T. kilbournensis*, *T. delawarensis*, *T. juglandicola*, *T. siglerae*, *T. novojersensis*, *T. rogersiae*, *T.*

subtropicales, *T. ricevillensis*, *T. tiftonensis* y *T. tzapotlensis* que fueron aislados de semillas de maíz en Estados Unidos.

Por otra parte, *Stenocarpella macrospora* se detectó en una sola muestra de semillas sintomáticas, la frecuencia fue de 72.2 % en la raza de maíz “Pepitilla”, esta especie es considerada de gran importancia por ser destructiva en tallos y granos de maíz además en conjunto con otros factores como daño mecánico, insectos, material genético, desequilibrio en la fertilización, temporadas lluviosas, entre otras son los que facilitan la infección por *S. macrospora* (Mario *et al.*, 2017). En Brasil, también se ha considerado a esta especie como el causante de la pudrición de tallo, mazorcas y mancha foliar del maíz (Siqueira *et al.*, 2014; Barrocas *et al.*, 2012; Casa *et al.*, 2006). En Estados Unidos realizaron aislamientos de dicha especie *S. macrospora* en el cual documentaron también a *S. maydis* mismas que causan pudrición en las mazorcas de maíz (Romero *et al.*, 2015), *S. macrospora* como ya lo han reportado es un hongo que se ha observado frecuentemente en cultivos de maíz a nivel mundial por mencionar algunos: Brasil, Estados Unidos, Panamá, Nepal, Sudáfrica, India, Malasia, entre otros (Farr and Rossman, 2021; Mario *et al.*, 2017).

En cuanto al hongo *Aspergillus flavus* se detectó únicamente en la raza de maíz “Cónico Pepitilla” con una baja frecuencia que comprendió de un 16.7 %, sin embargo, en Sonora, México realizaron una investigación en varias zonas agroecológicas de suelos de cultivos de maíz en el que exhibieron valores superiores al 45 % de *A. flavus* en el cual consideraron a la especie como un contaminante en cultivos de maíz, además analizaron el contenido de aflatoxinas de dicha especie (Ortega-Beltran *et al.* 2015; Ortega-Beltran y Cotty 2018). Por otra parte, en Kenia, fue reportado como una de las principales enfermedades presentes en maíz en el cual mediante un estudio indicaron la afectación de *A. flavus* en granos de maíz mismo que obtuvieron aislamientos que alcanzaron el 63 % de incidencia así también mencionaron que dicha especie produce

considerable porcentaje de aflatoxinas (Thathana *et al.*, 2017), en Irán, Houshyar-Fard *et al.* (2014) también reportó que *A. flavus* se encuentra en semillas de maíz y es toxicogénico por las aflatoxinas que se han encontrado en dicha especie, en otro estudio aislaron a esta especie con frecuencia de 82.3 % y 17.7 % en muestras de granos de maíz y suelo (Odhiambo *et al.*, 2013).

Por su parte, *Setosphaeria turcica* exhibió desarrollo colonial en semillas sintomáticas del fenotipo “Arrocillo Delgado” de la localidad de San Francisco Lagunita, Gro. Este hongo es considerado cosmopolita y de gran importancia económica para distintos cultivos a nivel mundial, en África Oriental y China, se ha reportado como una enfermedad severa, causante del “tizón foliar” que afecta a distintas razas de sorgo (*Sorghum bicolor* L.), (Ramathani *et al.*, 2011 y Tong *et al.*, 2017). En este sentido, Ma *et al.* (2021), reportaron a esta patógeno como una enfermedad foliar importante para el maíz, con valores de incidencia que oscilaron entre los 11 a 40 %, exhibidos en distintas razas fisiológicas de maíz evaluadas, en China; estos resultados son similares a los obtenidos en el presente estudio, donde se manifestó una incidencia del 16.7 %, en promedio. Asimismo, Félix-Gastélum *et al.* (2018) confirmaron la presencia de *Exserohilum turcicum*, indicado como fase anamórfica de *S. turcica*; como el principal causante del tizón foliar en la producción de maíces híbridos del Estado de Sinaloa, México.

Por otro lado, *Emericella* sp., se aisló de muestras del fenotipo “Arrocillo Delgado”. A nivel mundial, *Emericella* sp., es considerado un hongo con presencia en los alimentos, tanto en su fase teleomórfica, como la anamórfica que es *Aspergillus* sp. (Akhtar *et al.*, 2007), además ambos géneros son considerados potenciales productores de aflatoxinas tipo B, una micotoxina cancerígena y de peligro para la salud humana (Frisvad *et al.*, 2005). En este sentido, se ha reportado como uno de los principales géneros presentes en la microbiota de las semillas de cacahuate durante su almacenamiento y causante de la disminución en la calidad de estas semillas, en distintas regiones de China (Ding *et al.*, 2015). También se ha reportado su presencia

en cultivos forrajeros, como “fenogreco” (*Trigonella foenum-graecum* L.), en Sudán, con una incidencia que osciló entre el 0 al 14.75 %, de cinco especies distintas pertenecientes a este género (El-Nagerabi, 2002), manifestando datos superiores a los reportados en la presente investigación, en el cual el 2.8 % de incidencia, lo que pudiera sugerir menor susceptibilidad del maíz ante este género fúngico. Hasta el momento, en referencia a esta investigación, no se ha reportado la presencia de *Emericella* sp. en semillas de maíz, en México.

En muestras de fragmentos de semillas asintomática del fenotipo “Cónico pepitilla” exhibió desarrollo micelial que correspondió a *Fusarium acuminatum*, se aisló en una sola muestra en 8.3 % de incidencia, no obstante, Okello *et al.* (2019), reportaron valores superiores de incidencia del 13.6 % de *F. acuminatum*, además de otras especies como *F. oxysporum*, *F. graminearum*, *F. boothii*, *F. proliferatum*, *F. equiseti-incarnatum* complex, *F. subglutinans* y *F. solani* el cual fueron considerados como patógenos agresivos que causan pudrición en las raíces de plántulas de maíz en Estados Unidos. En otro estudio llevado a cabo en Italia, identificaron a 15 especies del género *Fusarium* entre ellos a *F. acuminatum* colocado en el séptimo número de incidencia, dichas especies fueron aislados en tallo y mazorcas de maíz con daños de pudrición (Bottalico *et al.*, 1989). Por otro lado, Parikh *et al.* (2018) reportaron 11 especies de *Fusarium* aislados en semillas de maíz, trigo y soya, en el cual tres especies más frecuentes fueron: *F. oxysporum*, *F. graminearum* y *F. acuminatum* que correspondieron el 26.3, 24.8 y 19 %, mencionaron a estas especies como los posibles causales en la pudrición de estos tres cultivos en Nebraska, Estados Unidos. Dicho lo anterior los valores de incidencia reportados por los demás autores superan a lo que se reportó en el presente estudio.

Por su parte, *Rhizoctonia solani* exhibió un desarrollo consistente en semillas asintomáticas, de igual manera por única ocasión se detectó en el fenotipo “Olotillo 2” que registró el 50 %. A nivel mundial, *R. solani* es considerado un hongo de amplio rango de hospedantes, tiene la

capacidad de causar el marchitamiento de las plantas y pudrición de los frutos tanto en campo y en invernadero, por lo que genera pérdidas económicas (Marzouk *et al.*, 2021). En este sentido, Zhang *et al.* (2016) reportaron la presencia de este hongo en avena, con un porcentaje de incidencia mayor a 19 %, en China. De acuerdo a la búsqueda literaria los reportes de *R. solani* aislados en semillas de maíz es escaso o nulo, por lo que no se obtuvo información al respecto. Por otra parte, los resultados de presente estudio, aportan información referente a la frecuencia de cada uno de los agentes fúngicos asociados a las semillas de maíces criollos de cinco localidades en el que fueron colectados, en el Estado de Guerrero, México.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados indicaron la presencia de un complejo de hongos asociados a las semillas de maíces criollos evaluados en el presente estudio, por lo que se concluye que la especie *F. oxysporum* fue el organismo más frecuente aislado en seis razas de maíz criollo, seguido de *Phomopsis* sp., *G. moniliformis* y *F. graminearum*. Estos hongos se consideran los más frecuentes en las semillas de maíces criollos estudiados en este trabajo de investigación.

LITERATURA CITADA

- Adhikari, M., Yadav, D. R., Kim, S., Um, Y. H., Kim, H. S., Lee, H. B. & Lee, Y. S. (2015). Discovery of two new *Talaromyces* species from crop field soil in Korea. *Mycobiolog.* 43(4): 402-407. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2015.43.4.402>
- Adhikari, M., Kim, S. W., Lee, H. B. and Lee, Y. S. (2021). Morphological and Multigene Sequence Characteristics of *Talaromyces variabilis* Isolated from Soil in Korea. *The Korean Journal of Mycology.* 49(1): 11-19. <https://doi.org/10.4489/KJM.20210002>
- Aguín, O., Cao, A., Pintos, C., Santiago, R., Mansilla, P. and Butrón, A. (2014). Occurrence of *Fusarium* species in maize kernels grown in northwestern Spain. *Plant pathology.* 63: 946-951. Doi: 10.1111/ppa.12151
- Akhtar, N. M. J. H., Bajwa R. & Javaid A. (2007). Fungi associated with Seeds of some economically important plants. *Mycopath.* 5(1): 35-40. <http://111.68.103.26/journals/index.php/mycopath/article/viewFile/197/102>
- Atanasova-Penichon V., Barreau C. and Richard-Forget F. (2016) Antioxidant Secondary Metabolites in Cereals: Potential Involvement in Resistance to *Fusarium* and Mycotoxin Accumulation. *Frontiers in Microbiology.* 7:566. doi: 10.3389/fmicb.2016.00566
- Aveling, T. A. S., De Ridder, K., Olivier, N. A. and Berger, D. K. (2020). Seasonal variation in mycoflora associated with asymptomatic maize grain from small-holder farms in two provinces of South Africa. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics.* 121(2): 265-275. <https://doi.org/10.17170/kobra-202011262275>
- Barnett, H. L. and Hunter, B. B. (1998). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi.* Ed. 4. Saint Paul, U.S.A. American Phytopathological Society. 218 p. https://www.academia.edu/35499449/illustrated_genera_of_imperfect_fungi_fourth_edition_Barnett_y_Hunter_pdf_pdf

- Barrocas, E. N., Machado, J. D. C., Almeida, M. F. D., Botelho, L. S. and Pinho, É. V. D. R. V. (2012). Sensibility of the PCR technique in the detection of *Stenocarpella* sp. associated with maize seeds. *Revista Brasileira de Sementes*. 34(2): 218-224. DOI: 10.1590/S0101-31222012000200005
- Błaszczuk, L., Waśkiewicz, A., Gromadzka, K., Mikołajczak, K. and Chełkowski, J. (2021). *Sarocladium* and *Lecanicillium* Associated with Maize Seeds and Their Potential to Form Selected Secondary Metabolites. *Biomolecules*. 11: 98. doi: 10.3390/biom11010098.
- Bottalico, A., Logrieco, A. & Visconti, A. (1989). *Fusarium* species and their mycotoxins in infected corn in Italy. *Mycopathologia*. 107: 85-92. <https://doi.org/10.1007/BF00707543>
- Broders, K. D., Lipps, P. E., Paul, P. A. and Dorrance, A. E. (2007). Evaluation of *Fusarium graminearum* associated with corn and soybean seed and seedling disease in Ohio. *Plant Disease*. 91(9): 1155-1160. Doi:10.1094/ PDIS-91-9-1155
- Casa, R. T., Reis, E. M. & Zambolim, L. (2006). Doenças do milho causadas por fungos do gênero *Stenocarpella*. *Fitopatologia Brasileira*. 31(5): 427-439. DOI: 10.1590/S0100-41582006000500001
- Castañares, E., Martínez, M., Cristos, D., Rojas, D., Lara, B., Stenglein, S. and Dinolfo, M. I. (2019). *Fusarium* species and mycotoxin contamination in maize in Buenos Aires province, Argentina. *European Journal of Plant Pathology*. 155: 1265-1275. <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01853-5>
- Covarelli, L., Stifano, S., Beccari, G., Raggi, L., Lattanzio, V. M. T. and Albertini, E. (2012). Characterization of *Fusarium verticillioides* strains isolated from maize in Italy: Fumonisin production, pathogenicity and genetic variability. *Food Microbiology*. 31: 17–24. doi:10.1016/j.fm.2012.02.002

- Crous, P. W., Verkley, G. J. M., Groenewald, J. Z. and Samson, R. A. (2009). Fungal biodiversity. CBS Laboratory Manual Series. Utrecht, Netherlands. pp. 1-269.
- De la Torre-Hernández, M. E., Sánchez-Rangel, D., Galeana-Sánchez, E. and Plasencia-de la Parra, J. (2014). Fumonisin–Síntesis y función en la interacción *Fusarium verticillioides*-maíz. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas. 17(1): 77-91. doi:10.1016/s1405-888x(14)70321-3
- Ding, N., Xing, F., Liu, X., Selvaraj, J. N., Wang, L., Zhao, Y., Wang, Y., Guo, W., Dai, X. and Liu, Y. (2015). Variation in fungal microbiome (mycobiome) and aflatoxin in stored in-shell peanuts at four different areas of China. Frontiers in microbiology. 6: 1055. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01055>
- Ekwomadu, T. I., Gopane, R. E. and Mwanza, M. (2018). Occurrence of filamentous fungi in maize destined for human consumption in South Africa. Food Science & Nutrition, 6: 884–890. <https://doi.org/10.1002/fsn3.561>
- El-Nagerabi, S. A. F. (2002). Determination of seedborne fungi and detection of aflatoxins in Sudanese fenugreek seeds. Phytoparasitica. 30(1): 61-66. <https://doi.org/10.1007/BF02983971>
- Farr, D.F. and Rossman, A.Y. (2021) Fungal Databases, U.S. National Fungus Collections, ARS, USDA. Consultado 12 de agosto 2021.
- Félix-Gastélum, R., Lizárraga-Sánchez, G. J., Maldonado-Mendoza, I. E., Leyva-Madrigal, K. Y., Herrera-Rodríguez, G. y Espinoza-Matías, S. (2018). Confirmación de la identidad de *Exserohilum turcicum*, agente causal del tizón foliar del maíz en Sinaloa. Revista mexicana de fitopatología. 36(3): 468-478. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1803-1>
- Franco-Martínez, J. R. P., González-Huerta, A., Pérez-López, D. J. y González-Ronquillo, M. (2015). Caracterización fenotípica de híbridos y variedades de maíz forrajero en Valles

- Altos del Estado de México, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 6(8): 1915-1927. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263142750018>
- Frisvad, J. C., Skouboe, P. and Samson, R. A. (2005). Taxonomic comparison of three different groups of aflatoxin producers and a new efficient producer of aflatoxin B1, sterigmatocystin and 3-O-methylsterigmatocystin, *Aspergillus rambellii* sp. nov. Systematic and applied microbiology. 28: 442-453. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2005.02.012>
- García-Aguirre, G. y 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: 15-20. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-34532010000100003&script=sci_arttext
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 3a Ed. Corregida y aumentada. UNAM. México, DF. 146 p.
- Ghiasian, S. A., Kord-Bacheh, P., Rezayat, S. M., Maghsood, A. H. and Taherkhani, H. (2004). Mycoflora of Iranian maize harvested in the main production areas in 2000. Mycopathologia. 158: 113-121. <https://doi.org/10.1023/B:MYCO.0000038425.95049.03>
- Gonçalves, R. M., Figueiredo, J. E. F., Pedro, E. S., Meirelles, W. F., Leite, J. R. P., Sauer, A. V. and Paccola-Meirelles. L. D. (2013). Etiology of *Phaeosphaeria* leaf spot disease of maize. Journal of Plant Pathology. 559-569. <http://www.jstor.org/stable/23721577>
- Halo, B. A., Al-Yahyai, R. A., Maharachchikumbura, S. S. N. & Al-Sadi, A. M. (2019). *Talaromyces variabilis* interferes with *Pythium aphanidermatum* growth and suppresses *Pythium*-induced damping-off of cucumbers and tomatoes. Scientific Reports. 9: 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47736-x>

- Houshyar-Fard, M., Rouhani, H., Falahati-Rastegar, M., Mahdikhani-Moghaddam, E., Malekzadeh-Shafaroudi, S. and Probst, C. (2014). Studies on *Aspergillus flavus* Link. isolated from maize in Iran. *Journal of Plant Protection Research*. 54(3): 219-224. DOI: 10.2478/jppr-2014-0033
- Jurgenson, J. E., Zeller, K. A. and Leslie, J. F. (2002). Expanded genetic map of *Gibberella moniliformis* (*Fusarium verticillioides*). *Applied and Environmental Microbiology*. 68(4): 1972-1979. DOI: 10.1128/AEM.68.4.1972-1979.2002
- Kator, L., Ogo-Oluwa, A. T. and Kemi, A. B. (2016). Isolation and Identification of Seed Borne Fungi of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) from Selected Markets in Makurdi. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*. 2(5): 75-78. doi: 10.11648/j.ijaas.20160205.11
- Leslie, J. F. and Summerell, B. A. (2006). The *Fusarium* laboratory manual. Iowa, U.S.A. Blackwell Publishing. 388 p.
- Lamprecht, S. C., Crous, P. W., Groenewald, J. Z., Tewoldemedhin, Y. T. and Marasas, W. F. O. (2011). *Diaporthaceae* associated with root and crown rot of maize. *IMA Fungus*. 2(1): 13-24. doi:10.5598/imafungus.2011.02.01.03
- Li, L., Qu, Q., Cao, Z., Guo, Z., Jia, H., Liu, N., Wang, Y. and Dong, J. (2019). The relationship analysis on corn stalk rot and ear rot according to *Fusarium* species and fumonisin contamination in kernels. *Toxins*. 11: 320. doi:10.3390/toxins11060320
- Ma, Z., He, S., Liu, B., Wang, S., Huang, Y., Yao, Y., Sun, Y. and Gao, Z. (2021). Physiological races and virulence dynamics of *Setosphaeria turcica* in Northeast China. *Plant Disease*. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-20-2486-RE>

- Mario, J. L., Gozuen, C. F. and Juliatti, F. C. (2017). *Stenocarpella macrospora* and *Stenocarpella maydis* in the cerrado and southern Brazil regions. *Bioscience Journal*. 33(1): 76-87. <https://doi.org/10.14393/BJ-v33n1a2017-36068>
- Martínez-Nuñez, B., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., García-Zavala, J. J., Silva-Rojas, H. V., Aguilar-Rincón, V. H. y Miranda-Colín, S. (2019). Rendimiento de grano y resistencia a tizón foliar ("*Exserohilum turcicum*") de híbridos fértiles y androestériles de maíz. *Agrociencia*. 53(1): 73-88. <https://www.agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1752>
- Marzouk, T., Chouachi, M., Sharma, A., Jallouli, S., Mhamdi, R., Kaushik, N. and Djébali, N. (2021). Biocontrol of *Rhizoctonia solani* using volatile organic compounds of solanaceae seed-borne endophytic bacteria. *Postharvest Biology and Technology*. 181: 111655. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111655>
- Niaz, I. and Dawar, S. (2009). Detection of seed borne mycoflora in maize (*Zea mays* L.). *Pak. J. Bot.* 41(1): 443-451. [http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/41\(1\)/PJB41\(1\)443.pdf](http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/41(1)/PJB41(1)443.pdf)
- Odhambo, B. O., Murage, H. and Wagara, I. N. (2013). Isolation and characterisation of aflatoxigenic *Aspergillus* species from maize and soil samples from selected counties of Kenya. *African Journal of Microbiology Research*. 7(34): 4379-4388. DOI: 10.5897/AJMR2013.5846
- Okello, P. N., Petrović, K., Kontz, B. and Mathew, F. M. (2019). Eight species of *Fusarium* cause root rot of corn (*Zea mays*) in South Dakota. *Plant Health Progress*. 20(1): 38-43. <https://doi.org/10.1094/PHP-11-18-0075-RS>
- Ortega-Beltran, A. and Cotty, P. J. (2018). Frequent shifts in *Aspergillus flavus* populations associated with maize production in Sonora, Mexico. *Phytopathology*. 108(3): 412-420. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-17-0281-R>

- Ortega-Beltran, A., Jaime, R. and Cotty, P. J. (2015). Aflatoxin-producing fungi in maize field soils from sea level to over 2000 masl: A three year study in Sonora, Mexico. *Fungal Biology*. 119: 191-200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.funbio.2014.12.006>
- Ortiz-Bustos, C. M., García-Carneros, A. B. y Molinero-Ruiz, L. (2015). La marchitez tardía del maíz (*Zea mays* L.) causada por *Cephalosporium maydis* en la Península Ibérica, y otros hongos asociados. *Summa Phytopathologica*. 41(2): 107-114. 10.1590/0100-5405/1998. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-5405/1998>
- Parikh, L., Kodati, S., Eskelson, M. J. and Adesemoye, A. O. (2018). Identification and pathogenicity of *Fusarium* spp. in row crops in Nebraska. *Crop Protection*. 108: 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.02.019>
- Peterson, S. W. and Jurjević, Ž. (2017). New species of *Talaromyces* isolated from maize, indoor air, and other substrates. *Mycologia*. 109: 537-556. <https://doi.org/10.1080/00275514.2017.1369339>
- Proctor, R. H., Brown, D. W., Plattner, R. D. and Desjardins, A. E. (2003). Co-expression of 15 contiguous genes delineates a fumonisin biosynthetic gene cluster in *Gibberella moniliformis*. *Fungal Genetics and Biology*. 38: 237-249. doi:10.1016/S1087-1845(02)00525-X
- Ramathani, I., Biruma, M., Martin, T., Dixelius, C. and Okori, P. (2011). Disease severity, incidence and races of *Setosphaeria turcica* on sorghum in Uganda. *European Journal of Plant Pathology*. 131: 383-392. DOI 10.1007/s10658-011-9815-1
- Rivas-Valencia, P., Virgen-Vargas, J., Rojas Martínez, I., Cano Salgado, A., y Ayala Escobar, V. (2011). Evaluación de pudrición de mazorca de híbridos de maíz en Valles Altos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2(6): 845-854. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000600004

- Romero, M. P. and Wise, K. A. (2015). Development of molecular assays for detection of *Stenocarpella maydis* and *Stenocarpella macrospora* in corn. *Plant Disease*. 99(6): 761-769. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-14-0917-RE>
- Sandoval Martínez, E., Leyva Mir, S. G., Villaseñor Mir, H. E., Rodríguez García, M. F. y Mariscal Amaro, L. A. (2012). Diversidad de Hongos en Semilla de Trigo de Temporal. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 30(2): 145-149. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092012000200005
- Siqueira, C. D. S., Machado, J. D. C., Barrocas, E. N. and De Almeida, M. F. (2014). Potential for transmission of *Stenocarpella macrospora* from inoculated seeds to maize plants grown under controlled conditions. *Journal of Seed Science*. 36(2): 154-161. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v32n2904>
- Thathana, M. G., Murage, H., Abia, A. L. K. and Pillay, M. (2017). Morphological characterization and determination of aflatoxin-production potentials of *Aspergillus flavus* isolated from maize and soil in Kenya. *Agriculture*. 7: 2-14. doi:10.3390/agriculture7100080
- Tong, L., Liu, Z., Cui, J., Hu, J. and Zhang, R. Y. (2017). First report of leaf blight caused by *Setosphaeria turcica* on sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) in China. *Plant Disease*. 101(11): 1952-1952. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-17-0412-PDN>
- Tsantrizos, Y. S. (1995). Bioactive metabolites of the genus *Phomopsis*. In *Studies in Natural Products Chemistry*. Elsevier. Vol. 15, pp. 341-359. [https://doi.org/10.1016/S1572-5995\(06\)80136-5](https://doi.org/10.1016/S1572-5995(06)80136-5)
- Tsedaley, B. and Adugna, G. (2016). Detection of fungi infecting maize (*Zea mays* L.) seeds in different storages around Jimma, Southwestern Ethiopia. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*. 7(3): 1000338. DOI: 10.4172/2157-7471.1000338

- Uribe-Cortés, T. B., Silva-Rojas, H. V., Mendoza-Onofre, L. E., Velázquez-Cruz, C. y Rebollar-Alviter, Á. (2020). Identificación de especies de *Fusarium* aisladas de semillas sintomáticas y asintomáticas de maíz con base en el gen TEF-1 α . *Revista Fitotecnia Mexicana*. 43(1): 79-88. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.79>
- Yassin, M. A., El-Samawaty, A. R. M. A., Moslem, M., Bahkali, A. and Abd-Elsalam, K. (2011). Fungal biota and occurrence of aflatoxigenic *Aspergillus* in postharvest corn grains. *Fresenius Environmental Bulletin*. 20(4): 903-909. <https://www.researchgate.net/publication/259827957>
- Zhang, X. Y., Huo, H. L., Wang, W., Zhou, H. Y., Dong, B. Z. and Zhao, G. Q. (2016). First report of damping-off and seedling blight on oat caused by *Rhizoctonia solani* AG 2-1 in China. *Plant Disease*. 100(3): 653. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-15-0968-PDN>
- Zhou, D., Wang, X., Chen, G., Sun, S., Yang, Y., Zhu, Z. and Duan, C. (2018). The major *Fusarium* species causing maize ear and kernel rot and their toxigenicity in Chongqing, China. *Toxins*. 10: 1-14. [https://doi.org/10.1016/S1572-5995\(06\)80136-5](https://doi.org/10.1016/S1572-5995(06)80136-5)

CAPITULO III

PRUEBAS DE PATOGENICIDAD EN SEMILLAS DE MAÍCES CRIOLLOS

RESUMEN

Los maíces criollos se encuentran en distintas partes del territorio mexicano por lo que se han adaptado a diferentes condiciones climáticas de las regiones donde se cultiva. Uno de los problemas fitosanitarios que afectan a las semillas de maíz son los hongos. Por lo que en el presente estudio se realizaron pruebas de patogenicidad en cinco fenotipos que fueron amarillo, blanco, morado, rojo intenso y rosado de maíces criollos asintomáticos, inoculados con 21 aislamientos de hongos provenientes de semillas de maíces criollos sintomáticos, se evaluó la severidad de semillas de maíz (sdm), germinación (ger), severidad de radícula (sdr) y severidad de hoja (sdh). Los resultados indicaron que todos los hongos causaron distintos grados de severidad en las semillas inoculadas, respecto al control que exhibió valores inferiores, por lo tanto, los fenotipos amarillo y rosado en la variable sdm, exhibieron mayor susceptibilidad ante *F. graminearum* y *S. macrospora*, para la variable ger, en el fenotipo amarillo inoculados con *S. macrospora* y *R. solani* disminuyeron la germinación total, en sdr y sdh, *S. macrospora* indujo mayor severidad en dicho fenotipo. Para el fenotipo blanco y morado en sdm, fue susceptible a *F. oxysporum* y *S. macrospora*, en ger, *F. oxysporum*, *F. graminearum* y *S. macrospora* agilizaron la germinación total de las semillas, en sdr y sdh *S. macrospora* y *R. solani* exhibieron mayor severidad en el fenotipo blanco. Para el fenotipo morado en ger, *A. flavus*, *A. niger*, *F. graminearum* y *F. oxysporum* aceleraron la germinación de las semillas respecto al control, en sdr, sdh, *F. graminearum* y *S. macrospora* indujeron mayor severidad. En el fenotipo rojo intenso fue susceptible ante *R. solani*, *Phomopsis* sp. y *S. macrospora* en las variables sdm y sdr, en cuanto a ger, *F. oxysporum* agilizó la germinación total de las semillas. El fenotipo amarillo exhibió resistencia según las variables, sdm, sdr y sdh, para los fenotipos blanco y rojo intenso

solo en la variable sdm, estos ante *Sarocladium strictum*. Por otra parte, el análisis de secuenciación mediante las regiones ITS1, ITS2 y ITS4 permitieron identificar 11 especies de hongos que fueron utilizados en el ensayo de patogenicidad. Se concluye que las semillas de maíz criollo al ser inoculados con los hongos estos fueron patogénicos en los maíces criollos además agilizaron la germinación, sin embargo, de acuerdo a las variables atacaron a diferentes etapas del maíz.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el tercer cereal más importante en el mundo, después del arroz y el trigo (Aldrich *et al.*, 1975). Los maíces criollos representan el 80 % de la superficie sembrada de este cereal en México, se encuentran distribuidos en gran parte del territorio mexicano y han logrado adaptarse a las condiciones climatológicas y edáficas específicas de las regiones del país; sin embargo, su información agronómica es escasa (Franco-Martínez *et al.*, 2015). En fechas recientes, el rendimiento del maíz se ha visto disminuido debido a plagas y enfermedades, estas últimas en gran número causada por hongos que se desarrollan durante el almacenamiento del grano; diversas especies de hongos han sido reportadas en el cultivo de maíz (Tsedaley y Adugna, 2016). La presencia de hongos en los granos de maíz afecta directamente su calidad; además de convertirse en medios de dispersión eficientes (Ahmad *et al.*, 2016).

Por otra parte, el establecimiento de pruebas de patogenicidad es importante para poder determinar si los hongos asociados a las semillas son patogénicos, además de determinar el grado de severidad (Oliveira *et al.*, 2018).

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo

Evaluar la patogenicidad de los hongos aislados en maíz criollo y estimar la severidad.

Conocer la identidad de los hongos patógenos en semillas de maíces criollos a nivel molecular.

Hipótesis

La prueba de patogenicidad exhibirá la capacidad de daño que causan los hongos en las semillas de maíces criollos.

El análisis molecular confirmará el género y la especie de los hongos aislados en semillas de maíces criollos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

Se llevó a cabo en el laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero, ubicada en Iguala de la Independencia, Guerrero, entre las coordenadas 18° 20' 34.01" latitud norte 99° 30' 50" longitud oeste, con una altitud promedio de 766 msnm (García, 2004).

Prueba de patogenicidad

En la evaluación de la patogenicidad se utilizaron cinco fenotipos de maíces criollos con muestras de semillas sanas (asintomáticas) de color amarillo, blanco, morado, rojo y rosado. La inoculación se realizó de manera artificial con 21 aislamientos fúngicos extraídos de semillas de maíces criollos en un estudio previo (Cuadro 1). El ensayo se dividió en dos etapas, la primera se estableció en el mes de noviembre de 2019, la segunda etapa fue en el mes de febrero de 2020.

Cuadro 7. Material genético y hongos utilizados como tratamiento en el ensayo de pruebas de patogenicidad en los meses de noviembre de 2019 y febrero de 2020.

Etapa 1						
Tratamiento	Fuente de inóculo	Maíz				
		Amarillo	Blanco	Morado	Rojo intenso	Rosado
<i>Aspergillus flavus</i> -SFL	Conidios	25	25	25	25	25
<i>Aspergillus niger</i> -Tux.	Conidios	25	25	25	25	25
<i>Fusarium acuminatum</i> -SFL	Conidios	25	25	25	25	25
<i>Fusarium oxysporum</i> -SFL	Conidios	25	25	25	25	25
<i>Fusarium graminearum</i> -Cuam.	Conidios	25	25	25	25	25
<i>Talaromyces variabilis</i> -SFL.	Conidios	25	25	25	25	25
<i>Stenocarpella macrospora</i> -Ape.	Micelio	25	25	25	25	25
<i>Rhizoctonia solani</i> -Pasc.	Micelio	25	25	25	25	25
Control	Agua esterilizada	25	25	25	25	25
Etapa 2						
<i>Talaromyces variabilis</i> - SFL	Conidios	25	25	25	25	25
<i>Gibberella moniliformis</i> - Tlani.	Micelio	25	25	25	25	25
<i>Sarocladium strictum</i> - Ape.	Conidios	25	25	25	25	25
<i>Sarocladium strictum</i> - SFL	Conidios	25	25	25	25	25
<i>Fusarium oxysporum</i> - SFL	Conidios	25	25	25	25	25
<i>Fusarium oxysporum</i> - Tlani.	Conidios	25	25	25	25	25
<i>Gibberella moniliformis</i> - SFL	Micelio	25	25	25	25	25
<i>Fusarium oxysporum</i> - Ape.	Conidios	25	25	25	25	25
<i>Fusarium graminearum</i> - SFL	Conidios	25	25	25	25	25
<i>Phomopsis</i> sp. 1 - Pasc.	Micelio	25	25	25	25	25
<i>Phomopsis</i> sp. 2 - Pasc.	Micelio	25	25	25	25	25
<i>Phomopsis</i> sp. 3 - SFL	Micelio	25	25	25	25	25
<i>Didymella</i> sp - SFL	Micelio	25	25	25	25	25
Control	Agua esterilizada	25	25	25	25	25

SFL: San Francisco Lagunita, **Tlani:** Tlanipatlan, **Ape:** Apetlanca, **Pasc:** Pascala del Oro, **Tux:** Tuxpan.

Para ambas etapas se seleccionaron tres cepas por cada material de inóculo previamente aislados de semillas de maíces criollos de los cuales fueron reactivados en medio de cultivo PDA, durante siete días para obtener colonias jóvenes (Cuadro 1). Acorde con la metodología de Pastor-Corrales y Abawi (1987) citado por Figueroa-Rivera *et al.* (2010), posterior a siete días con la ayuda de una cámara de Neubauer y un microscopio compuesto se procedió a la cuantificación de conidios de acuerdo a dicha estimación se preparó la suspensión conidial a una concentración de 1×10^6 propágulos del hongo/mL en agua destilada para cada género de hongo, mismas que fueron utilizadas para la inoculación de 25 semillas de maíz criollo por cada fenotipo, cada uno con su respectivo control. Las semillas de maíz amarillo, blanco, morado, rojo intenso y rosado fueron desinfestadas superficialmente con hipoclorito de sodio al 1 % durante un minuto, posteriormente se hicieron tres enjuagues con agua esterilizada, en seguida se dejó reposar durante cinco minutos en agua esterilizada, posterior a los cinco minutos se sumergieron las 25 semillas de cada fenotipo de maíz en la suspensión de propágulos de cada hongo correspondiente durante cinco minutos a excepción del tratamiento control que se inoculo con agua estéril, al término de los cinco minutos las semillas de cada fenotipo inoculado fueron colocadas y dispersadas en contenedores de plástico transparente con capacidad de 20 x 15 cm. conteniendo papel filtro previamente esterilizado para la retención de humedad. Por cada material genético inoculado con distintos hongos se estableció un testigo sin la suspensión conidial.

Variables respuesta

Las variables registradas fueron, severidad de semillas de maíz (sdm), germinación (ger), severidad de radícula (sdr) y severidad de hoja (sdh). Para las cuatro variables se evaluaron de manera visual, para el caso de la variable severidad se estimó con base a la escala descrita por Horsfall-Barratt (1945), citado por Bock *et al.* (2009) (Cuadro 2). Esta escala fue utilizada por su

amplia utilidad en la medición de severidad ya que no se ha encontrado registro de una escala que proporcione una categoría específica en cuanto a la severidad inducida por hongos en semillas de maíz.

Severidad de semillas de maíz

En severidad de semillas de maíz (sdm), transcurrido las 72 horas posterior a la inoculación, se evaluaron las semillas inoculadas. Se estimó el porcentaje de severidad inducida de cada hongo inoculado en los cinco fenotipos de semillas de maíces criollos de color amarillo, blanco, morado, rojo intenso y de color rosado, dicha variable se midió durante 14 días (D) consecutivos.

Germinación

La variable germinación de semillas de maíz (ger) se observó y registró en una base de datos del programa Excel[®] el inicio y el total de germinación de cada semilla inoculada con los aislamientos de hongos, esto para los cinco fenotipos de maíces criollos.

Severidad de radícula

En un periodo contemplado de 14 días consecutivos, de manera visual se estimó la severidad de radícula (sdr) de las semillas inoculadas con los hongos fitopatógenos, los datos se registraron en una base de datos del programa Excel[®] en cuanto las semillas de los cinco fenotipos iniciaron a presentar mayor y menor severidad de la radícula.

Severidad de hoja

La severidad de hoja se estimó en la hoja principal del maíz, se observaron y registraron en una base de datos del programa Excel[®] los hongos que causaron mayor y menor niveles de severidad en las hojas de cada uno de los cinco fenotipos de maíces criollos.

Cuadro 8. Escala de Horsfall-Barratt (1945) para estimar la severidad inducida por hongos inoculados en semillas de maíces criollos asintomáticas.

Categoría	% de severidad en semillas
0	Sin síntoma
1	1 % a 3 % de severidad
2	4 % a 6 % de severidad
3	7 % a 12 % de severidad
4	13 % a 25 % de severidad
5	26 % a 50 % de severidad
6	51 % a 75 % de severidad
7	76 % a 87 % de severidad
8	88 % a 94 % de severidad
9	94 % a 97 % de severidad
10	97 % a 100 % de severidad
11	100 % de severidad

Escala de severidad Horsfall y Barratt (1945), citado por Bock *et al.* (2009).

Análisis estadístico de datos

Los datos obtenidos mediante la prueba de patogenicidad se capturaron en el programa Excel® para su verificación, codificación y análisis con el apoyo de dicho programa estadístico, se graficaron los promedios de los datos de cada variable tomada en el presente estudio de prueba de patogenicidad.

Análisis molecular de hongos

Para corroborar la identificación de las especies de hongos, previamente identificados y no identificados morfológicamente mediante claves taxonómicas, que además resultaron patogénicos ante el previo ensayo de patogenicidad.

Para ello se procedió a la reactivación de las colonias fungosas en medio de cultivo PDA comercial a cada una de las cepas de hongos a secuenciar, para que las colonias desarrollaran suficiente micelio, se incubaron durante siete días bajo una campana de flujo laminar a 26 °C bajo luz blanca en ciclos alternos de 12 h de luz/oscuridad.

En este sentido, para los aislamientos M13A1, M1451, MRASN, M16C1, M1152 y M12515 se utilizó el primers ITS2 (GCTGCGTTCTTCATCGATGC) para su secuenciación en el laboratorio del IBT de la UNAM. Para los aislamientos FNJAT, FPURS, PENICS, RHIZP, DESCSC, FBCOA y FBNPS (enviados a Macrogen) se amplificaron las regiones ITS1 (TCCGTAGGTGAACCTGCGG) e ITS4 (TCCTCCGCTTATTGATATGC) White *et al.* (1990).

La extracción del ADN, PCR y secuenciación se realizó en la empresa Macrogen en Corea del Sur (<https://dna.macrogen.com/#>).

Para la alineación de los pares de bases (pb) y disminuir errores de la cadena de secuenciación, se utilizó el programa MEGA (Molecular Evolutionary Genetics Analysis) en el cual se analizaron las secuencias, una vez alineadas las secuencias se compararon con la base de datos en BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) para cotejar su identidad de cada hongo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Prueba de patogenicidad

Los hongos mostraron su efecto en la severidad ocasionada en cada uno de los hospedantes de acuerdo a las cuatro variables severidad de semillas de maíz (sdm), germinación de semillas de maíz (ger), severidad de radícula (sdr) y severidad de hoja (sdh). El ensayo de patogenicidad indicó que todos los hongos que fueron inoculados artificialmente en semillas de maíz asintomáticas fueron patogénicos, el cual causaron infección en los cinco fenotipos de semillas de maíz de color amarillo, blanco, morado, rojo intenso y rosado. Las semillas inoculadas únicamente con agua estéril mostraron alguna infección de posibles hongos del ambiente el cual se mantuvieron con promedios por debajo de los que fueron inoculados con aislamientos de hongos. De acuerdo a las variables registradas en el presente estudio, los resultados indicaron que algunos patógenos pueden causar deterioro principalmente en las semillas de ese modo evitan la germinación o en caso contrario emergen las plántulas e inicia el daño en las raíces y hojas de maíz.

Experimento 1

Maíz amarillo

En el primer experimento para la variable severidad de semillas de maíz (sdm) se observó a *Fusarium graminearum* – Cuam, que fue el patógeno más agresivo en semillas de maíz criollo de color amarillo el cual presentó el 10.48 % de severidad seguido de *Stenocarpella macrospora* – Ape, con el 9.76 % de severidad en las semillas de maíz, respectivamente, obteniendo además en estos resultados a *Talaromyces variabilis* -SFL, con el valor más bajo de 7.32 % en severidad (Figura 13).

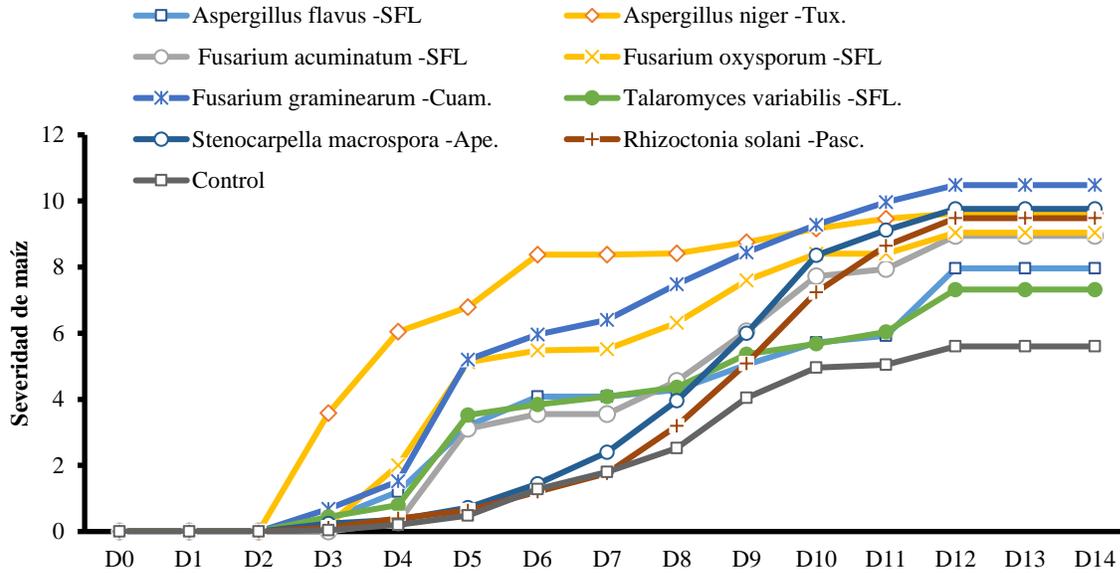


Figura 13. Severidad de maíz, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo amarillo. Periodo noviembre 2019.

Para la variable germinación (ger) muestran que las semillas inoculadas con *Aspergillus flavus* -SFL, *A. niger* -Tux, *F. acuminatum* -SFL, *F. oxysporum* -SFL, *F. graminearum* -Cuam, *T. variabilis* -SFL, obtuvieron el 100 % en germinación y los más bajos fueron para las semillas inoculadas con *S. macrospora* -Ape y *Rhizoctonia solani* -Pasc, que obtuvieron un 96 % de germinación (Figura 14).

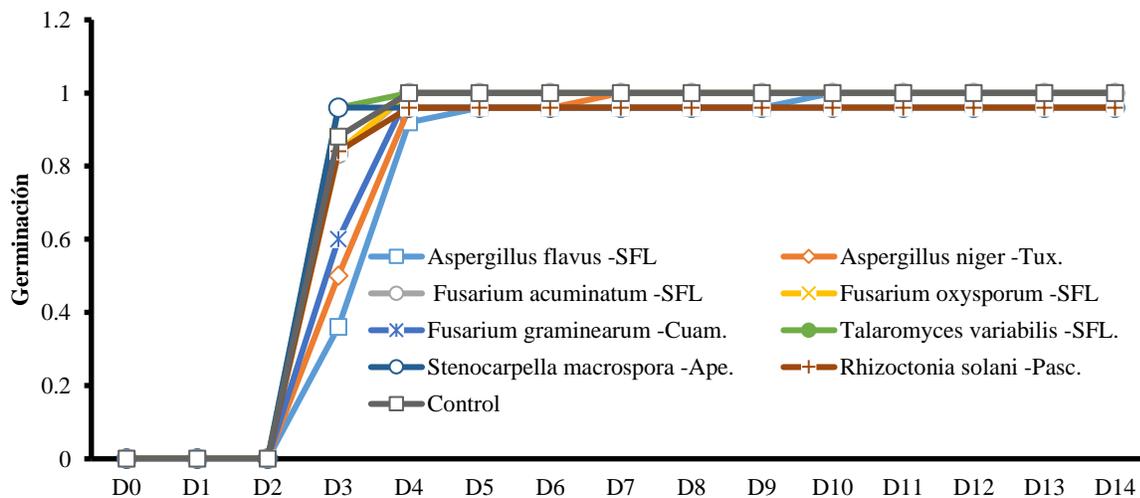


Figura 14. Germinación de semillas de maíz criollo amarillo, inoculados con ocho hongos. Periodo noviembre 2019.

Para el caso de la severidad de radícula (sdr), el hongo más patógeno fue *S. macrospora* -Ape, el cual alcanzó el 11 % de en la raíz de plántulas del fenotipo de maíz amarillo, en cuanto a los valores inferiores fue *T. variabilis* - SFL, con el 1.96 % de severidad (Figura 15).

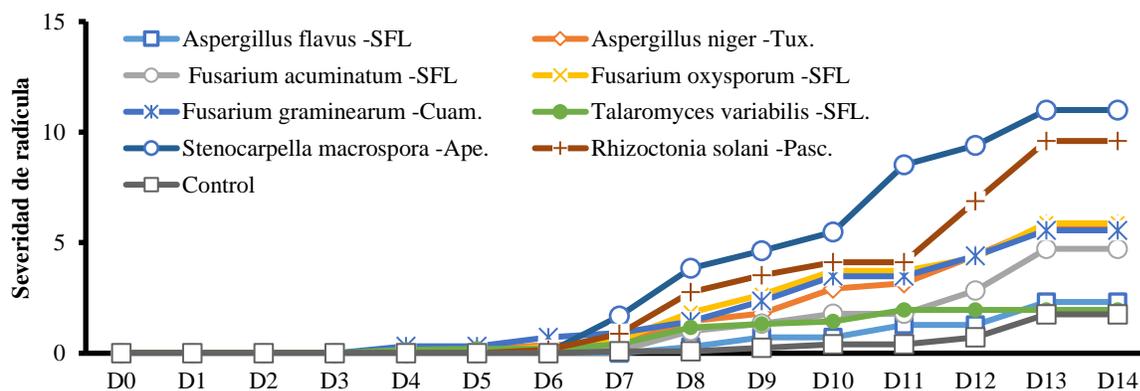


Figura 15. Severidad de radícula, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo amarillo. Periodo noviembre 2019.

En la severidad de hoja (sdh) se observó que *S. macrospora* – Ape, también fue prevalente en esta variable mismo que presentó valores del 10.28 %, para los valores bajos se registró en *F. graminearum* – Cuam, con el 0.68 % de severidad (Figura 16).

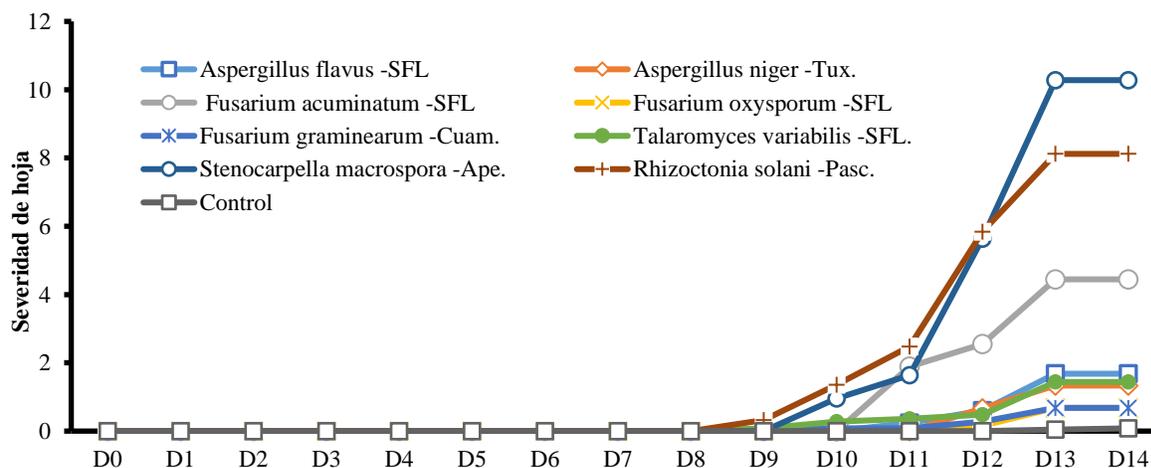


Figura 16. Severidad de hoja, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo amarillo. Periodo noviembre 2019.

Maíz Blanco

De acuerdo a las cuatro variables del maíz blanco, fueron susceptibles a los hongos inoculados artificialmente en el que demostraron capacidad de invadir en alguna parte del maíz causando la pudrición de las mismas, además de que el hongo *S. macrospora* – Ape, fue el más patogénico manteniendo valores superiores al 10 % en este fenotipo de maíz blanco.

En la variable severidad de semillas de maíz (sdm) para el día tres se visualizó el crecimiento de micelio de los ocho hongos sobre las semillas inoculadas, aunque para el día tres *Aspergillus niger* – Tux, ya presentaba un 2.64 % de severidad, sin embargo, al finalizar los 14 días el hongo que causó mayor severidad fue *Stenocarpella macrospora* -Ape. el cual alcanzó el 10.8 %, seguido de *F. graminearum* – Cuam, con el 10.6 %, los valores inferiores a 8 % se registraron cuando se inoculó con *R. solani* – Pasc. (Figura 17).

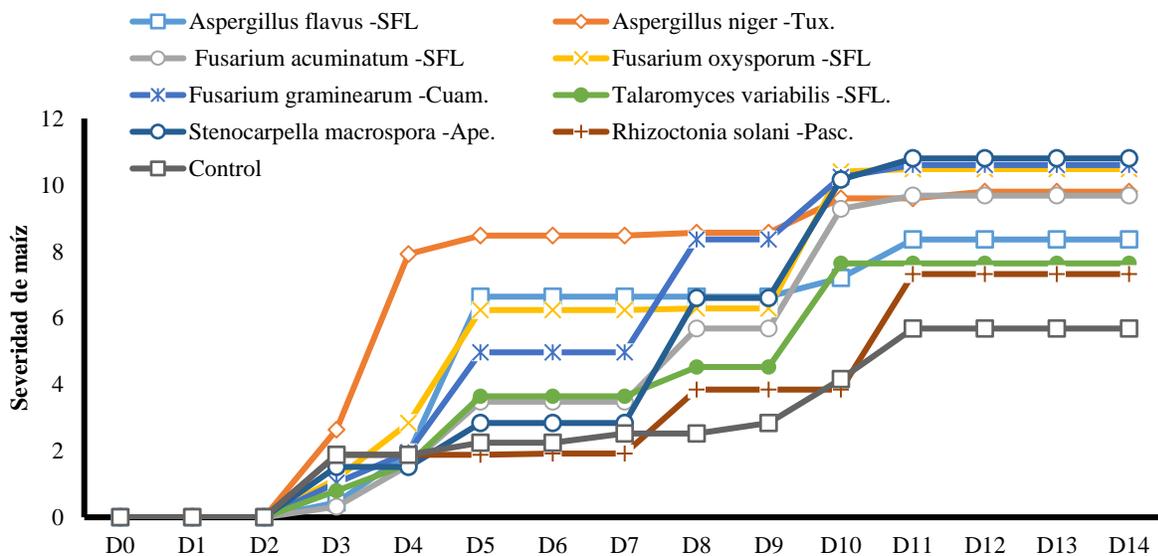


Figura 17. Severidad de maíz, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo blanco. Periodo noviembre 2019.

Para la germinación (ger) hubo diferencias, según los hongos inoculados *A. Flavus* -SFL, *F. oxysporum* -SFL, *F. graminearum* -Cuam., *T. variabilis* -SFL., *S. macrospora* -Ape., resultaron

con el 1 % indicador de que todas las semillas germinaron, en cuanto a *A. Niger* -Tux., *F. acuminatum* -SFL, *R. solani* -Pasc. obtuvieron valores de 0.96 % y en el control negativo la germinación fue del 0.92 % (Figura 18).

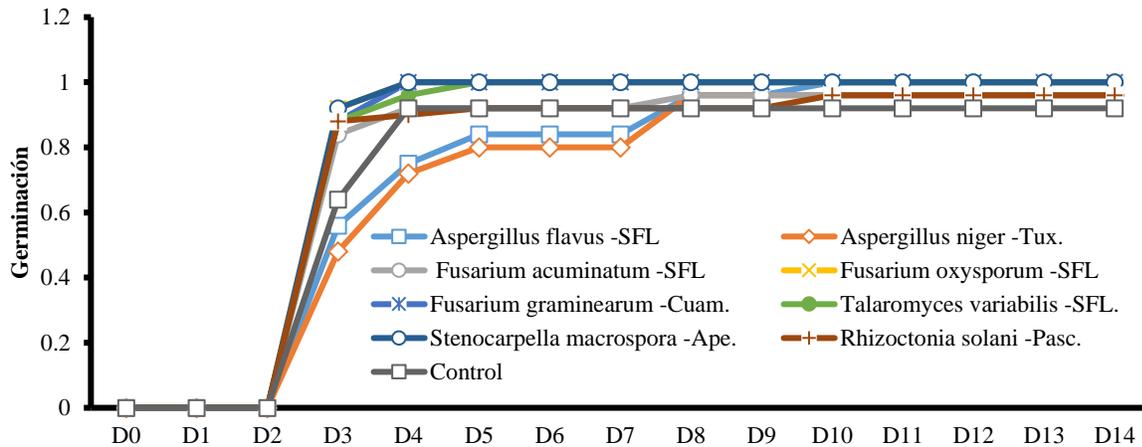


Figura 18. Germinación de semillas de maíz criollo blanco, inoculados con ocho hongos. Periodo noviembre 2019.

En este sentido la severidad de radícula (sdr) de los ocho hongos, se observó que el hongo *S. macrospora* - Ape y *R. solani* - Pasc, fueron los más patogénicos con el 11 % de severidad mismas que causaron la pudrición de las raíces, además se registró el hongo *A. flavus* - SFL, que causó menor severidad con valores del 2.76 % (Figura 19).

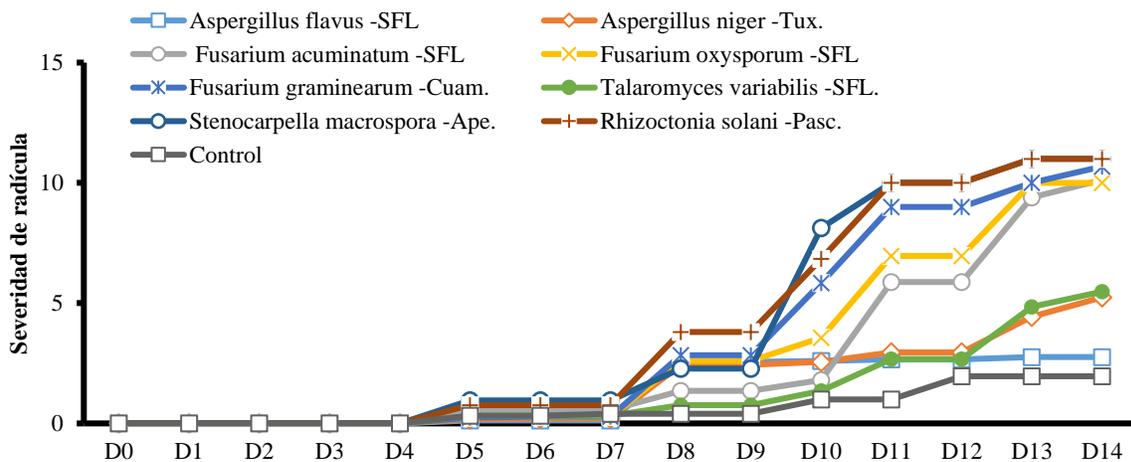


Figura 19. Severidad de radícula, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo blanco. Periodo noviembre 2019.

En cuanto a la severidad de hoja (sdh) *S. macrospora* – Ape, indujo 11 % de severidad seguido de *R. solani* – Pasc, con el 10.44 %, por otra parte, el valor más bajo fue registrado cuando se inoculó *A. flavus* – SFL, con el 2.96 % (Figura 20).

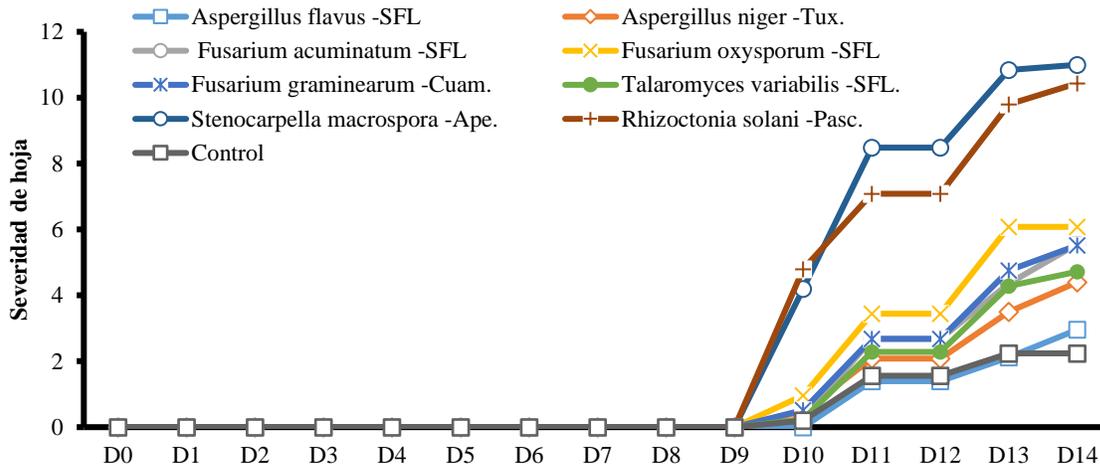


Figura 20. Severidad de hoja, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo blanco. Periodo noviembre 2019.

Maíz Morado

Las semillas criollas del fenotipo morado, en severidad de semillas de maíz (sdm), presentaron desarrollo micelial una vez transcurridas 72 horas en todas las semillas inoculadas con los ocho hongos; transcurridos 14 días (D) de la inoculación, se observaron valores que oscilaron entre 9.2 % a 10.4 % de severidad, respecto al control; los hongos que indujeron mayor severidad fueron, *F. oxysporum* - SFL, seguido por *A. niger* – Tux y *S. macrospora* – Ape., con valores de 10.4, 10.2 y 10.12 % de severidad en las semillas de este fenotipo. Por su parte, los valores inferiores de severidad en semillas de maíz, fueron inducidos cuando se inoculó *A. flavus* - SFL (Figura 21).

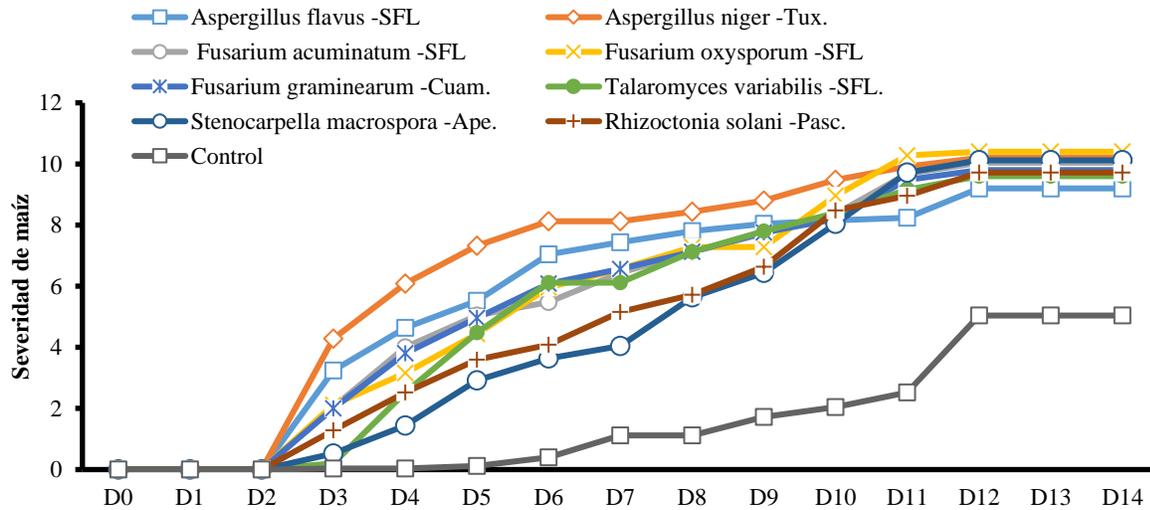


Figura 21. Severidad de maíz, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo morado. Periodo noviembre 2019.

Respecto germinación (ger), todas las semillas inoculadas lograron la germinación completa, a excepción de las semillas inoculadas con *S. macrospora* - Ape, el cual inhibió la germinación en un 25 % aproximadamente; asimismo, los hongos *T. variabilis* - SFL y *R. solani* - Pasc, retrasaron la germinación total hasta alcanzar los diez días después de la inoculación (Figura 22).

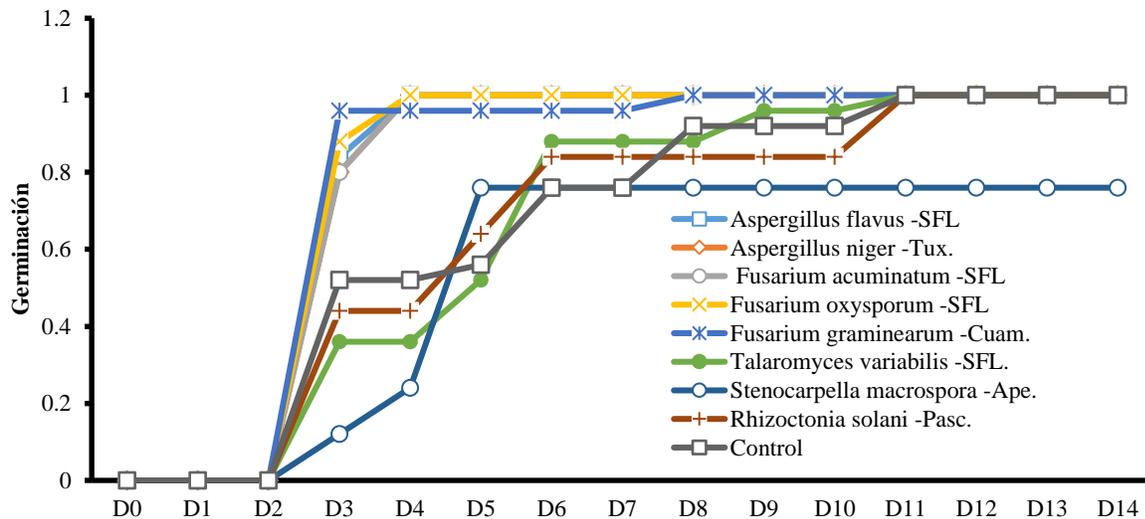


Figura 22. Germinación de semillas de maíz criollo morado, inoculados con ocho hongos. Periodo noviembre 2019.

Para la variable severidad de radícula (sdr), los ocho aislamientos inoculados ocasionaron severidad a la raíz de las plántulas. *F. graminearum* - Cuam, exhibió mayor severidad en raíces de los maíces criollos en un 9.96 %, seguido por *S. macrospora* – Ape, y *R. solani* – Pasc con el 9.52 y 9.24 %; por el contrario, *A. flavus* - SFL, indujo severidad del 4.96 % en raíces de los maíces criollos del fenotipo morado (Figura 23).

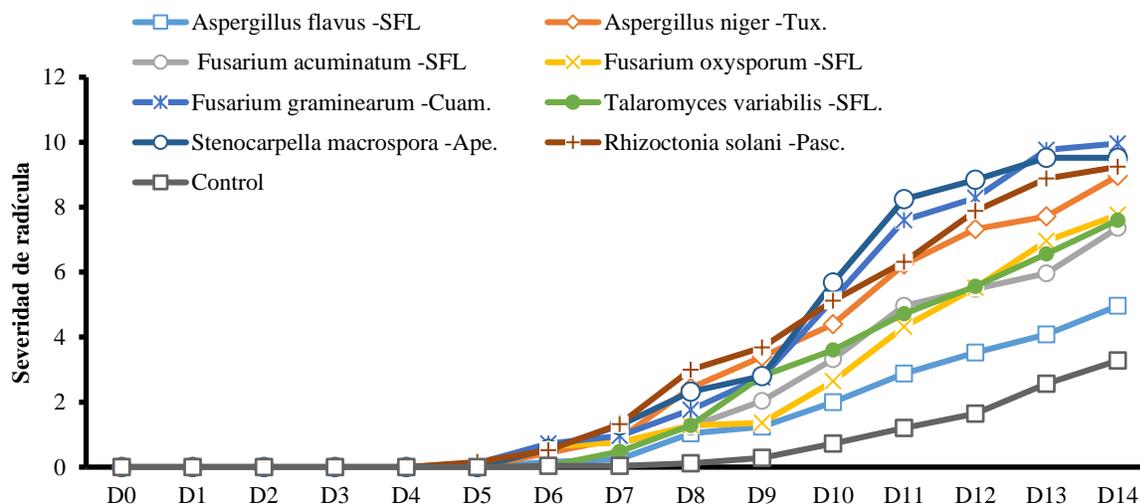


Figura 23. Severidad de radícula, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo morado. Periodo noviembre 2019.

En este sentido, en lo correspondiente a la variable severidad de hoja (sdh), *S. macrospora* – Ape con un porcentaje de 6.68 %, se mostró con la capacidad de afectar severamente la hoja de las plántulas de maíz criollo al germinar, al destacar con valores superiores a los mostrados por los otros hongos inoculados, en esta variable; seguido por *F. acuminatum* – SFL y *F. graminearum* – Cuam. Contrario a lo inducido por *A. flavus* - SFL, que ocasionó el menor grado de severidad (3.28 %) (Figura 24).

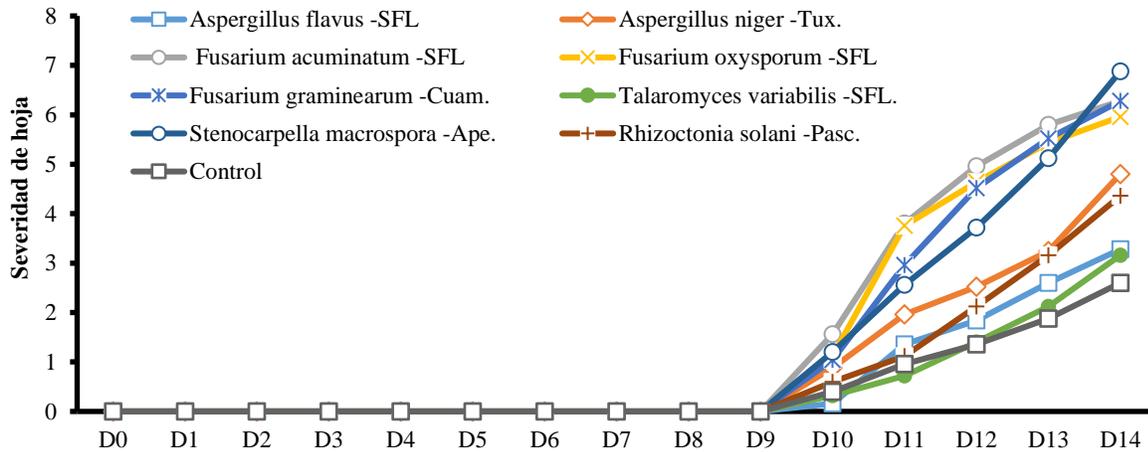


Figura 24. Severidad de hoja, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo blanco. Periodo noviembre 2019.

Maíz Rojo Intenso

En lo que respecta al fenotipo de maíz rojo intenso, la variable severidad de semillas de maíz (sdm) reflejó diversos porcentajes según los aislamientos de hongos inoculados en las semillas, en este caso *R. solani* - Pasc y *S. macrospora* -Ape, fueron los hongos que indujeron la mayor severidad con 10.61 y 10.48 %. Mientras que la severidad más baja fue en el tratamiento en el que se inoculó *A. flavus* - SFL con 9 % (Figura 25).

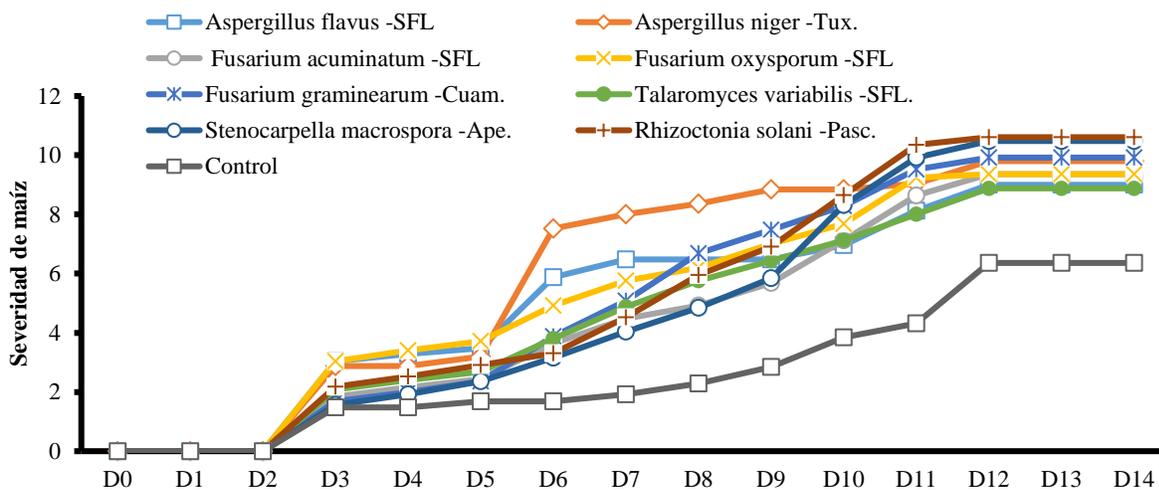


Figura 25. Severidad de maíz, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo rojo intenso. Periodo noviembre 2019.

En la germinación (ger) los resultados de patogenicidad demostraron que los hongos pueden llegar a causar infecciones en diferentes partes del maíz, por lo que en el fenotipo de maíz rojo intenso se observó que todos los hongos no afectaron a la germinación por lo que todos alcanzaron el 100 %, aunque *T. variabilis* - SFL, fue la excepción al causar la germinación tardía mostrando su totalidad de 100 % hasta el día siete (Figura 26).

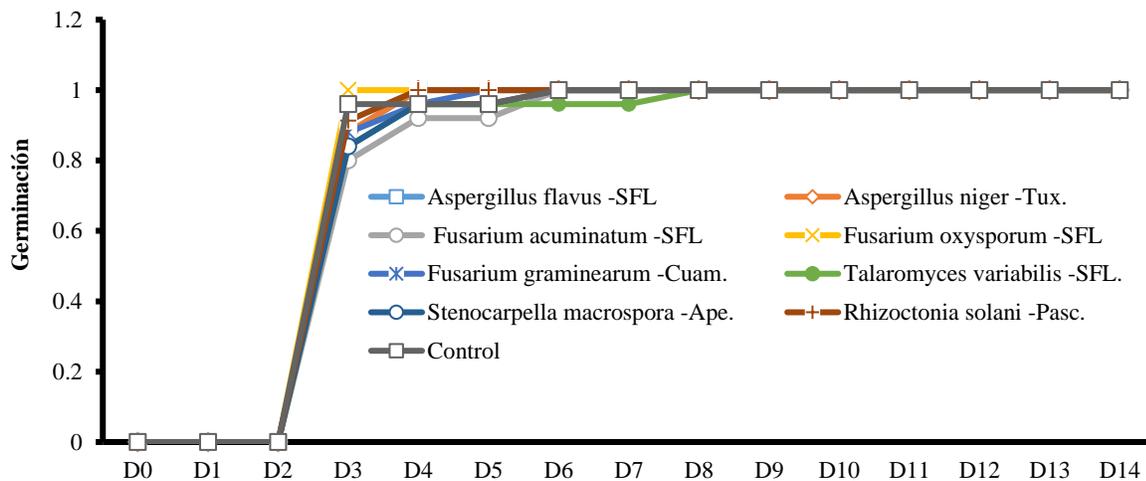


Figura 26. Germinación de semillas de maíz criollo rojo intenso, inoculados con ocho hongos. Periodo noviembre 2019.

Por otra parte, la severidad de radícula (sdr) de acuerdo a los promedios indicaron que todos los hongos causaron severidad en la radícula del fenotipo de maíz rojo intenso, sin embargo, el hongo que indujo mayor severidad fue *R. solani* – Pasc. y *S. macrospora* -Ape, con valores de 10.91 y 10.64 %, respectivamente, la menor severidad se detectó en *A. flavus* – SFL con 3.08 % (Figura 27).

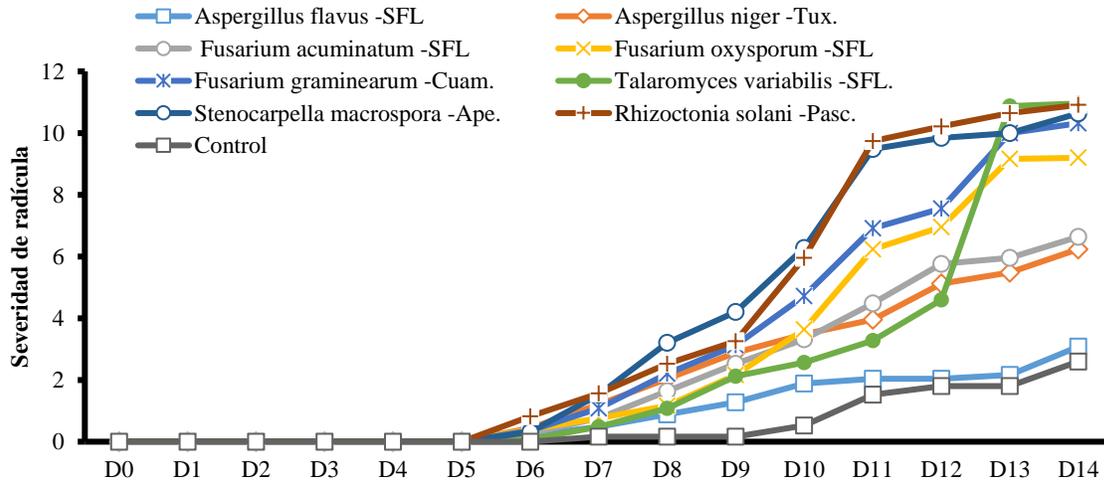


Figura 27. Severidad de radícula, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo rojo intenso. Periodo noviembre 2019.

En la severidad de hoja (sdh) de los ocho hongos inoculados en semillas de maíz, el que causó mayor severidad fue *S. macrospora* seguido por *R. solani* - Pasc, asimismo *T. variabilis* - SFL indujeron 10.92, 10.70 y 9.68 % de severidad, respectivamente. *A. flavus* - SFL indujo 5 % de severidad (Figura 28).

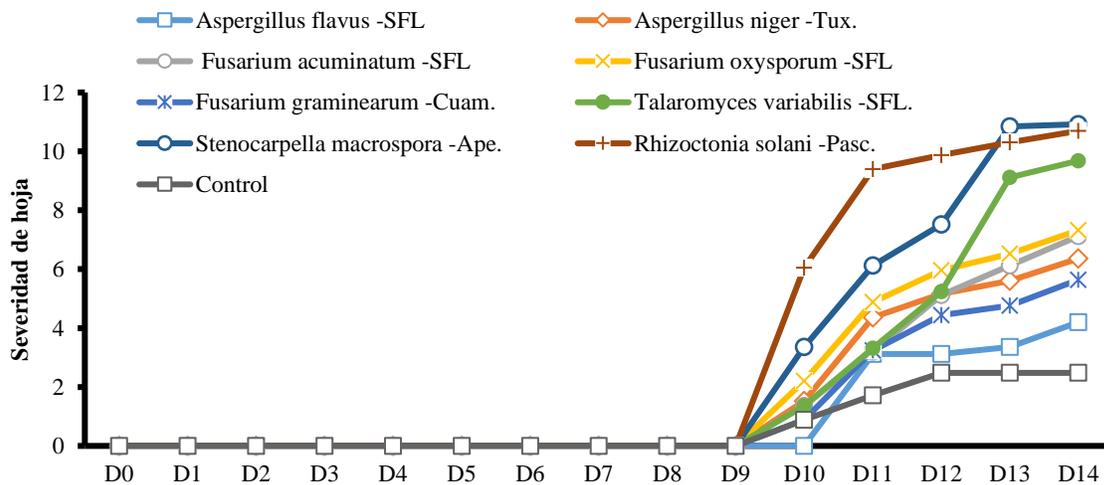


Figura 28. Severidad de hoja, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo rojo intenso. Periodo noviembre 2019.

Maíz Rosado

El maíz criollo de fenotipo rosado, se detectaron ocho hongos patogénicos, para la severidad de semillas de maíz (sdm), *F. oxysporum* - SFL indujo 10.64 % de severidad, respecto a los otros siete hongos, seguido por *F. acuminatum* - SFL y *F. graminearum* - Cuam con el 10.52 y 10.42 %. El hongo que causó menor severidad fue *T. variabilis* - SFL con 8.71 % (Figura 29).

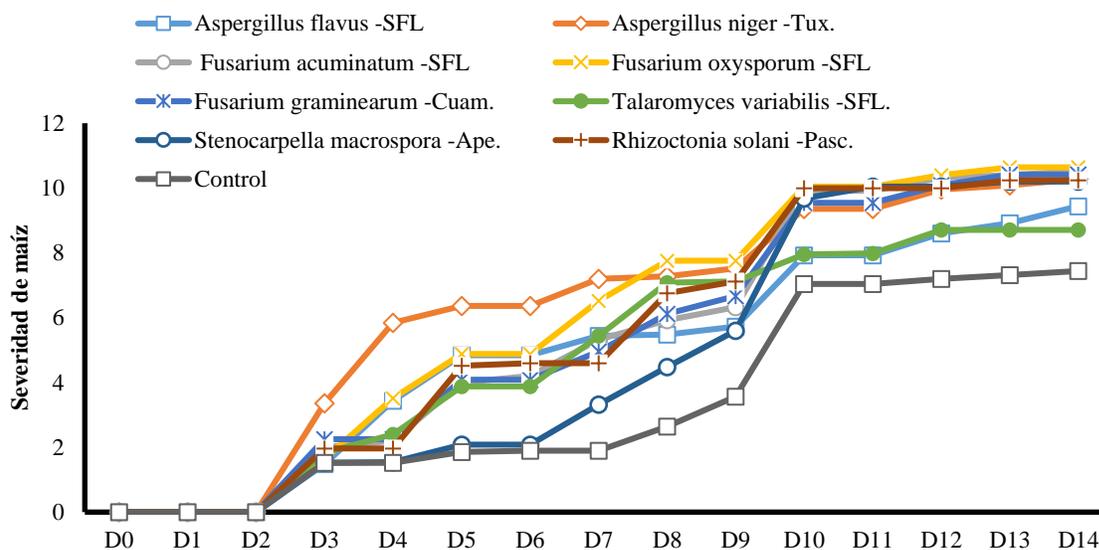


Figura 29. Severidad de maíz, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo rosado. Periodo noviembre 2019.

Para la germinación (ger) de semillas, siete de los hongos permitieron la germinación de los fenotipos de maíz en un 100 %. Sin embargo, *T. variabilis* - SFL, permitió la germinación en un 96 %. *S. macrospora* - Ape retrasó de la germinación total, al menos hasta el día 12; así mismo, *R. solani* - Pasc, *F. graminearum* - Cuam. y *F. acuminatum* - SFL retrasaron la germinación total de las semillas, hasta el noveno día, después de la inoculación (Figura 30).

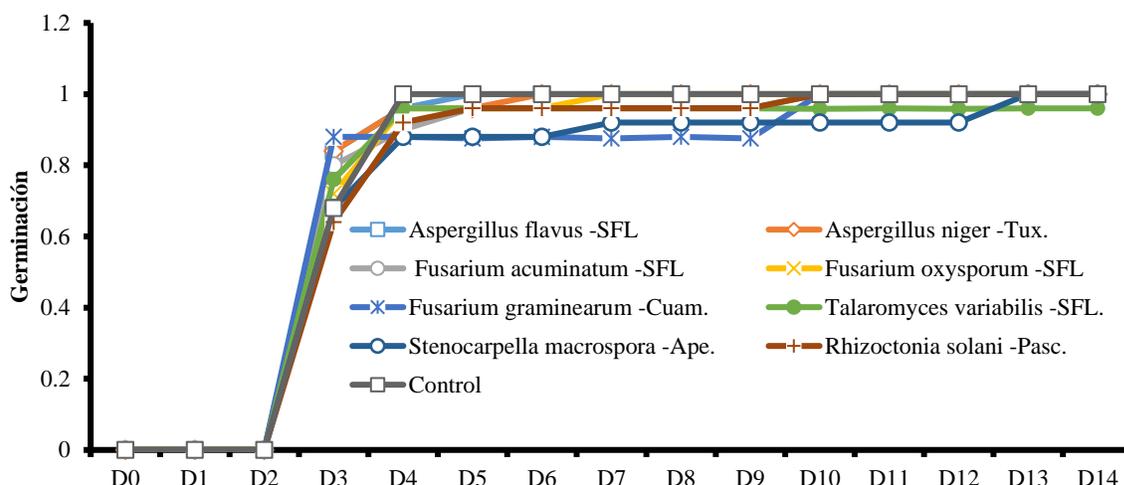


Figura 30. Germinación de semillas de maíz criollo rojo intenso, inoculados con ocho hongos. Periodo noviembre 2019.

Para la severidad de raíz (sdr), se encontró *S. macrospora* – Ape y *R. solani* – Pasc, exhibieron mayor severidad en las raíces con 11 y 10.56 %, respectivamente, seguido por *F. graminearum* - Cuam 9.88 %. Por otra parte, las raíces de las semillas del fenotipo de maíz rosado exhibieron una menor susceptibilidad ante la presencia de *T. variabilis* - SFL con el 2.92 % (Figura 31).

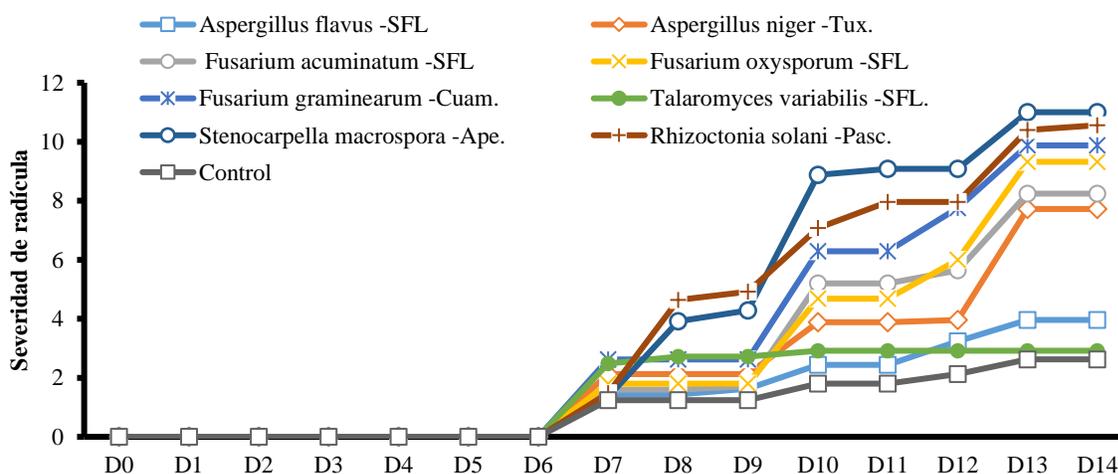


Figura 31. Severidad de radícula, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo rosado. Periodo noviembre 2019.

Para la severidad de hoja (sdh), los materiales fúngicos *S. macrospora* - Ape, seguido por *R. solani* - Pasc, exhibieron una mayor preferencia en este fenotipo rosado de maíz criollo, de

acuerdo a la variable severidad de hoja al registrar 10.62 % y 10.08 % de severidad, respectivamente. Por su parte, *A. niger* – Tux, y *F. graminearum* -Cuam. exhibieron valores inferiores con el 0.32 y 1.33 %, respecto a los otros seis hongos, indicativo de su poca afinidad a las hojas (Figura 32).

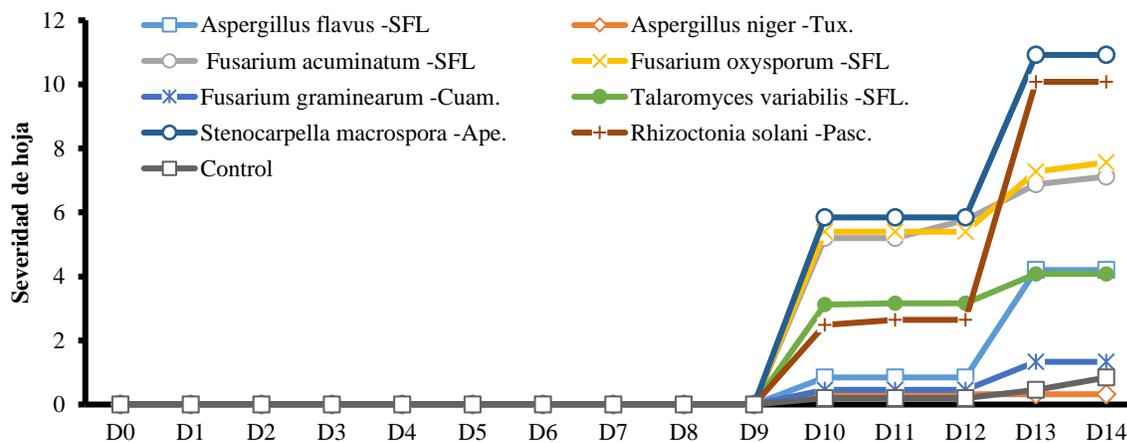


Figura 32. Severidad de hoja, inducida por ocho hongos inoculados en semillas de maíz criollo rosado. Periodo noviembre 2019.

Experimento 2

Los resultados del segundo experimento demostraron que todos los hongos fueron patogénicos al ser inoculados en las semillas de maíces criollos asintomáticos, en un periodo de 14 días (D) de acuerdo a las variables severidad de semillas de maíz (sdm), germinación (ger), severidad de radícula (sdr) y severidad de hoja (sdh), exhibieron la patogenicidad de cada hongo en los cinco fenotipos de maíz amarillo, blanco, morado, rojo intenso y rosado.

Maíz amarillo

En la severidad de semillas de maíz (sdm) en semillas de maíces criollos de color amarillo el hongo más patogénico fue *F. oxysporum* - Ape. y *Phomopsis* sp. Pasc., al registrar promedios de 9.92 y 9.64 %, mientras que *S. strictum* – SFL fue menos patogénico con valores de 6.44 % de severidad (Figura 33).

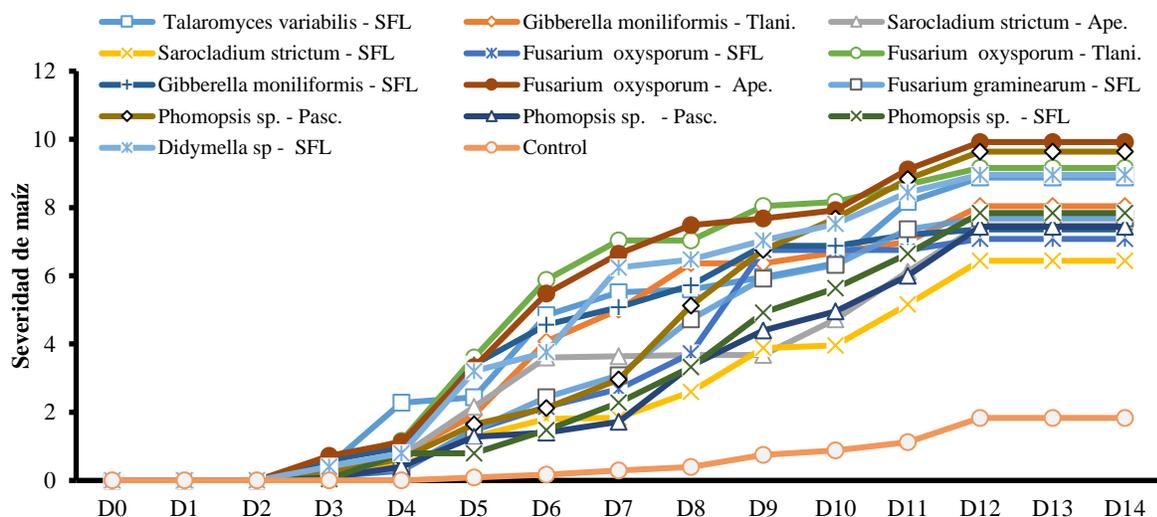


Figura 33. Severidad de maíz, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo amarillo. Periodo febrero 2020.

La germinación (ger) de semillas del fenotipo de maíz de color amarillo muestra que todas las semillas inoculadas presentaron el 100 % de germinaron, en este sentido se observó a las semillas inoculadas con *T. variabilis* – SFL, *F. oxysporum* – SFL, *F. oxysporum* - Ape. y *Phomopsis* sp. - Pasc. que infirieron en la germinación tardía, el cual lograron la germinación total hasta el día 11 (Figura 34).

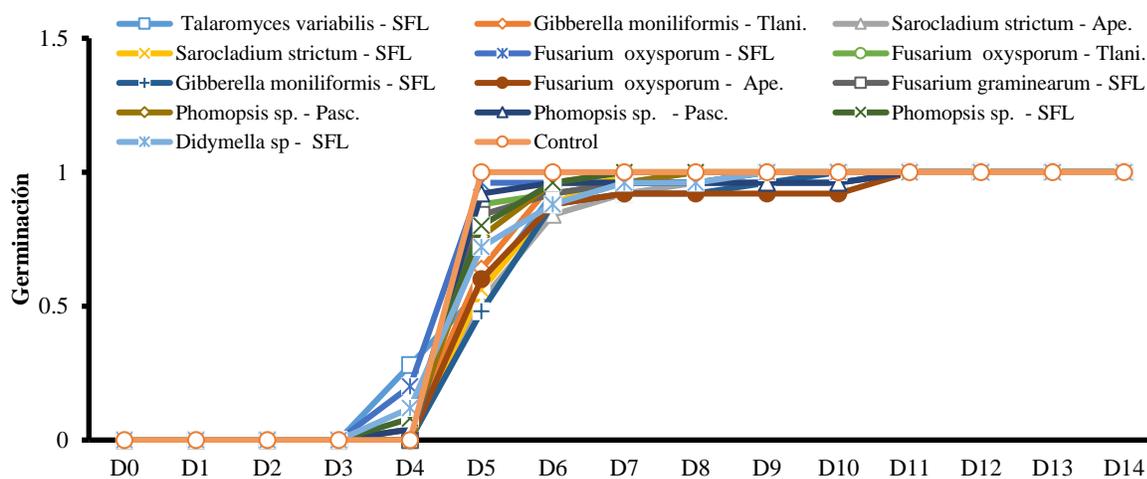


Figura 34. Germinación de semillas de maíz criollo amarillo, inoculados con trece hongos. Periodo febrero 2020.

Por otra parte, en severidad de radícula (sdr) todos los hongos fueron patógenos, cuando se inoculó *Phomopsis* sp. – Pasc. indujo el 5.52 % de severidad en raíz seguido de *Didymella* sp. –

SFL con un 3.04 %. En cambio, *S. strictum* Ape. registró el valor más bajo con 0.72 % (Figura 35).

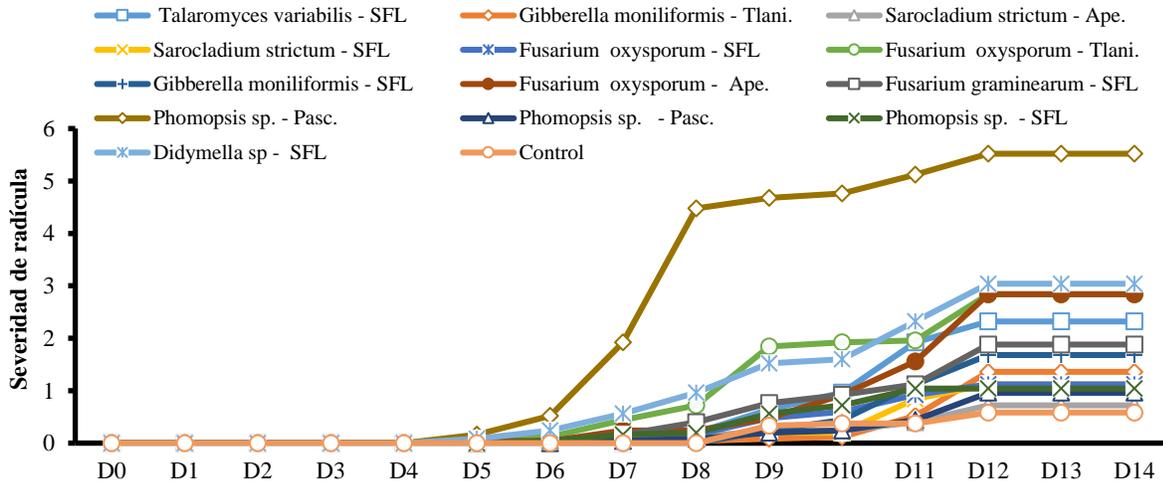


Figura 35. Severidad de radícula, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo amarillo. Periodo febrero 2020.

En la severidad de hoja (sdh) *Phomopsis* sp. – SFL y *Phomopsis* sp. – Pasc., exhibieron valores de 3.88 % y 3.68 % de afectación a diferencia de *S. strictum* Ape. y *G. moniliformis* - SFL en ambos patógenos se registró el 1.36 % (Figura 36)

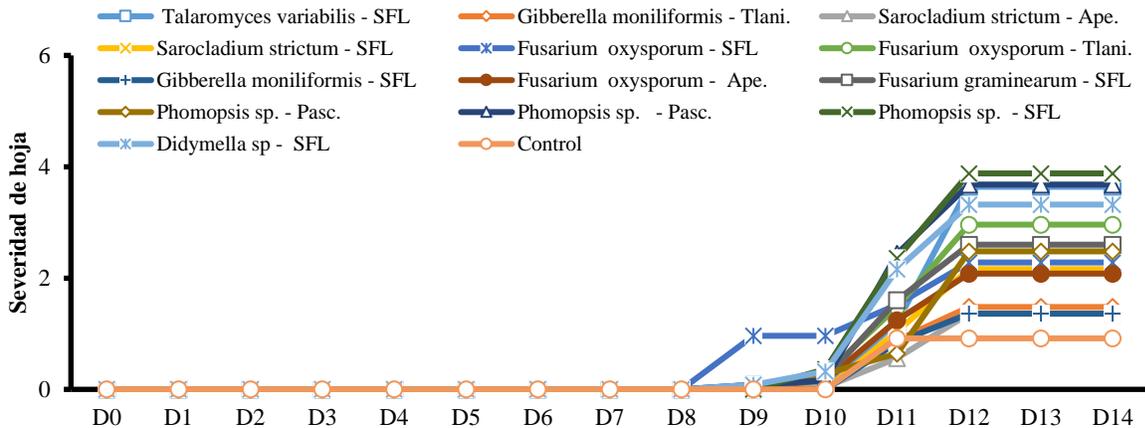


Figura 36. Severidad de hoja, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo amarillo. Periodo febrero 2020.

Maíz Blanco

El maíz criollo con fenotipo de semillas de color blanco se observó que todos los hongos fueron patogénicos, sin embargo, la mayor severidad de semillas de maíz (sdm) fue causado por *F. oxysporum* – Tlani. y *G. moniliformis* - Tlani. con el 9.68 y 9.16 %, respectivamente, mientras el menos patogénico fue *S. strictum* - Ape. con un porcentaje promedio de 5.32 % (Figura 37).

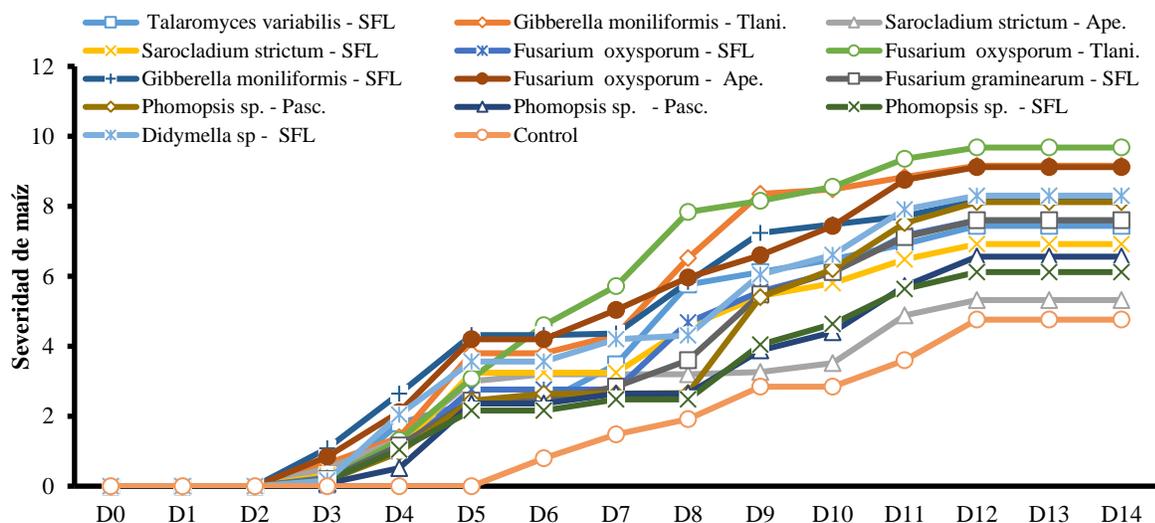


Figura 37. Severidad de maíz, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo blanco. Periodo febrero 2020.

En germinación (ger) demostró que en todas las semillas inoculadas tuvieron la capacidad de germinar, sin embargo, las semillas inoculadas con *Sarocladium strictum* – SFL y *Phomopsis* sp. – SFL exhibieron un retraso de un día más para lograr la germinación total, con respecto a los resultados registrados por el tratamiento control, por lo que hasta el día 11 se observó el 100 % de germinación en todas las semillas inoculadas del fenotipo de color blanco, lo que podría ser un indicativo que los hongos retardaron la germinación (Figura 38).

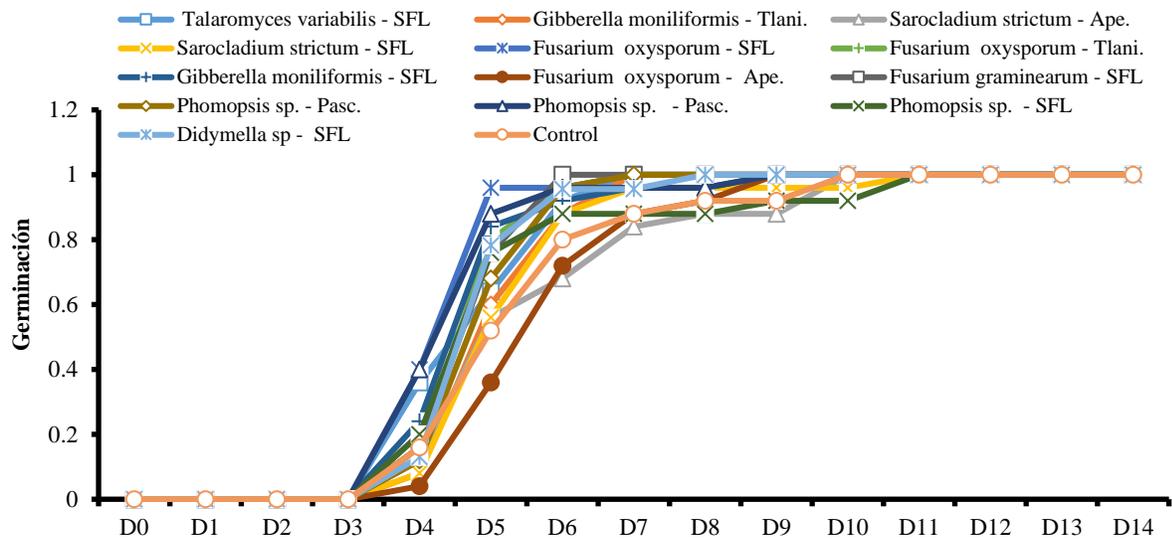


Figura 38. Germinación de semillas de maíz criollo blanco, inoculados con trece hongos. Periodo febrero 2020.

En la severidad de radícula (sdr) todos los hongos causaron severidad, los hongos que tuvieron mayor porcentaje fueron *Phomopsis sp. - Pasc.* con el 4.28 % además *F. oxysporum – Tlani* también registró un 4.8 %, al contario con *G. moniliformis - Tlani* fue el que indujo la menor severidad con 1.52 % (Figura 39).

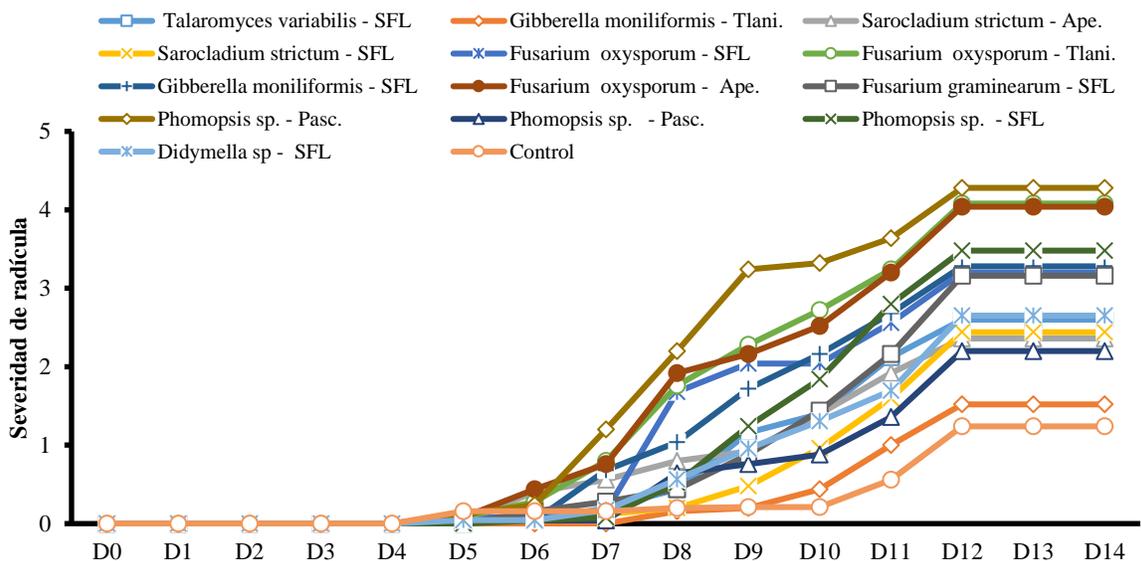


Figura 39. Severidad de radícula, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo blanco. Periodo febrero 2020.

En cuanto a la severidad en la hoja (sdh) se observó a *G. moniliformis* – SFL con el 3.08 % seguido de *Didymella* sp. - SFL en un 2.65 % de daño, por el contrario *F. oxysporum* - Ape. indujo 0.76 % de severidad (Figura 40).

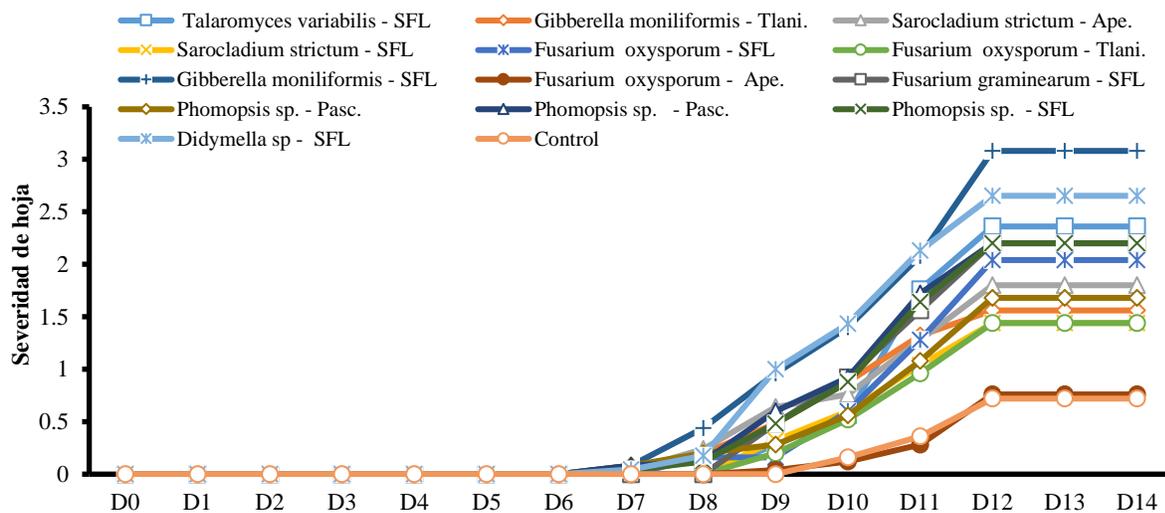


Figura 40. Severidad de hoja, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo blanco. Periodo febrero 2020.

Maíz Morado

Referente al fenotipo de semillas de maíz criollo de color morado, la variable severidad de semillas de maíz (sdm) los resultados exhibieron que todos los hongos inoculados tuvieron desarrollo de micelio en los hospedantes, el cual mostraron valores considerables, además de que todos fueron patogénicos, *F. oxysporum* - Tlani. fue el que causó mayor severidad con 10.16 % seguido de *G. moniliformis* – SFL con el 9.92 %, no obstante, el menor valor fue de 7.48 % registrado en *F. oxysporum* – SFL (Figura 41).

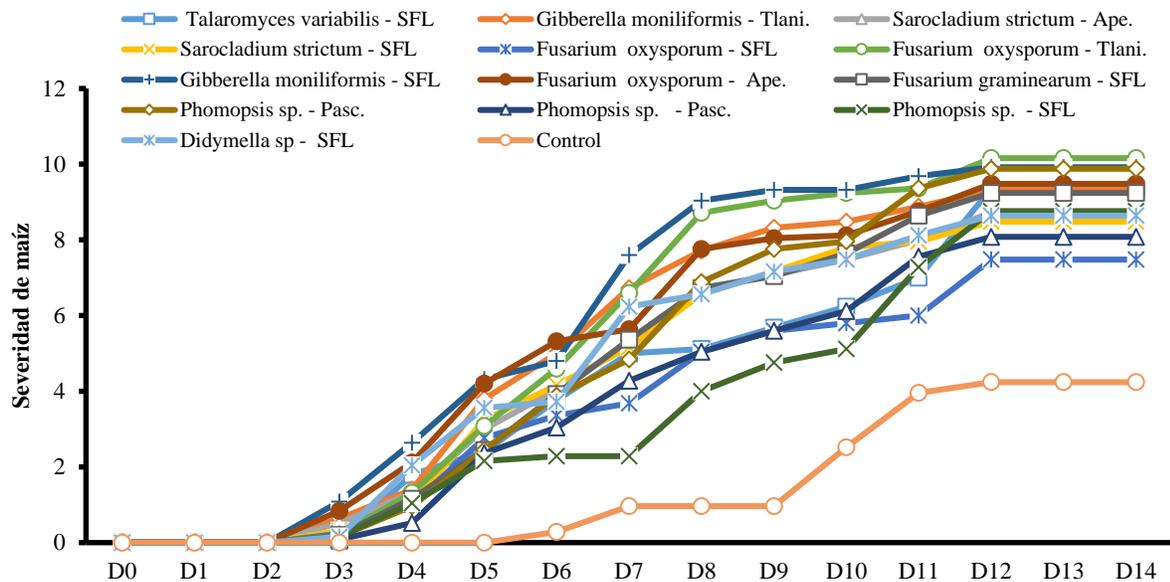


Figura 41. Severidad de maíz, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo morado. Periodo febrero 2020.

En cuanto a la germinación (ger) para el fenotipo morado, las semillas inoculadas con *F. oxysporum* – Ape, y *Phomopsis* sp. – Pasc. retardaron la germinación hasta el décimo día con un 96 %, respecto al control; sin embargo, para el día 14 se observaron en todas las semillas con el 100 % de germinación (Figura 42).

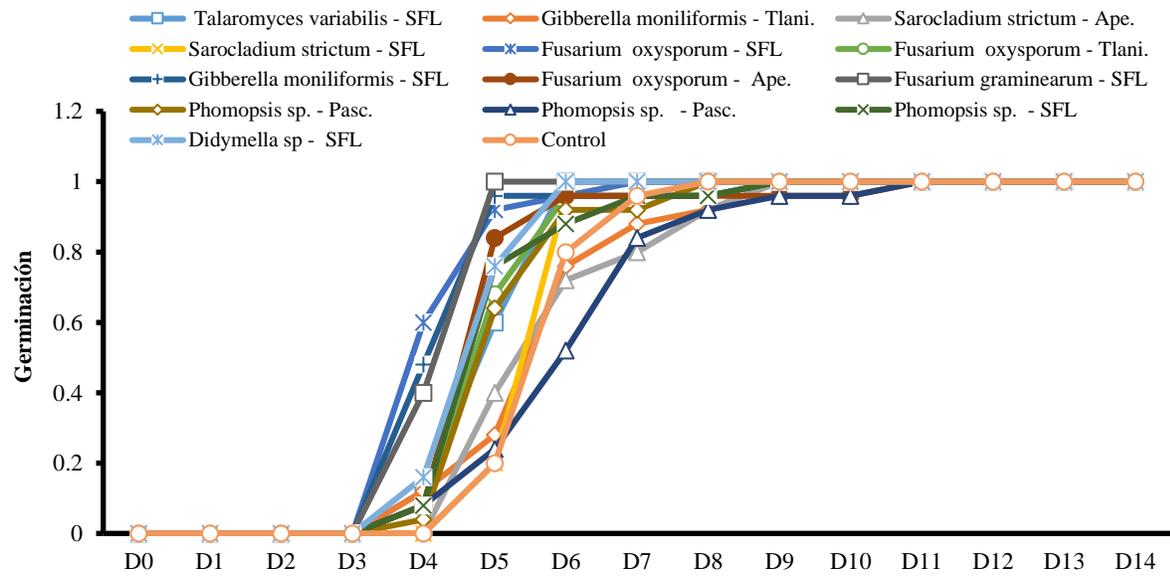


Figura 42. Germinación de semillas de maíz criollo morado, inoculados con trece hongos. Periodo febrero 2020.

Por lo tanto, en severidad de radícula (sdr) se observó que todos los hongos fueron patogénicos *Phomopsis* sp. - Pasc. y *Phomopsis* sp. – SFL provocaron la mayor severidad de raíz con 7.44 % y 5.64, en cambio *S. strictum* – SFL en este fenotipo fue el menos patogénico con valores de 1.36 % (Figura 43).

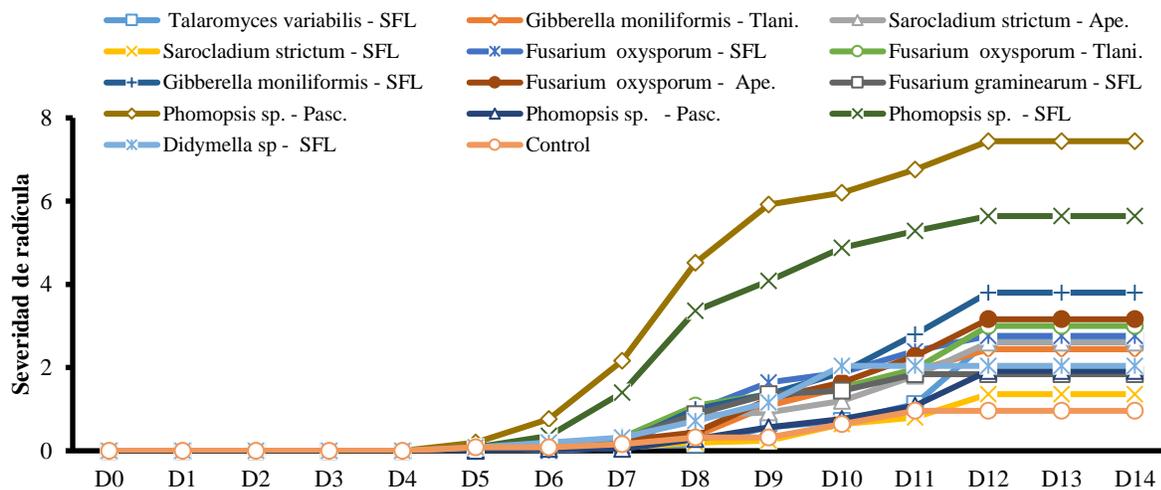


Figura 43. Severidad de radícula, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo morado. Periodo febrero 2020.

En severidad de hoja (sdh) se observó que los hongos fueron patogénicos sin embargo el valor más alto fue de 4.32 % correspondiente a *Phomopsis* sp. – SFL seguido de *G. moniliformis* - Tlani. con el 2.04 %, el hongo que mostró el valor más bajo fue *Phomopsis* sp. - Pasc. con un 0.68 % (Figura 44).

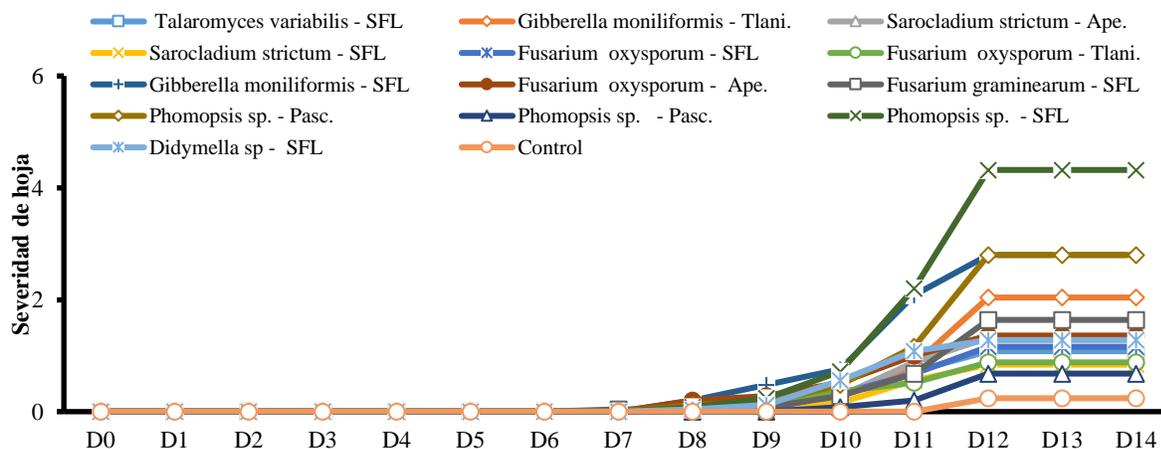


Figura 44. Severidad de hoja, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo morado. Periodo febrero 2020.

Maíz Rojo Intenso

En las semillas del fenotipo rojo intenso en la variable severidad en semillas de maíz (sdm) los resultados mostraron que los 13 hongos fueron patogénicos, en este sentido los hongos que causaron mayor severidad en las semillas de maíz presentaron valores de 10.48, 9 y 8.48 % correspondientes a *Phomopsis* sp. - Pasc. *F. oxysporum* - Tlani. y *F. oxysporum* - Ape. a diferencia de *S. strictum* – SFL el cual indujo menor severidad con 6.56 % (Figura 45).

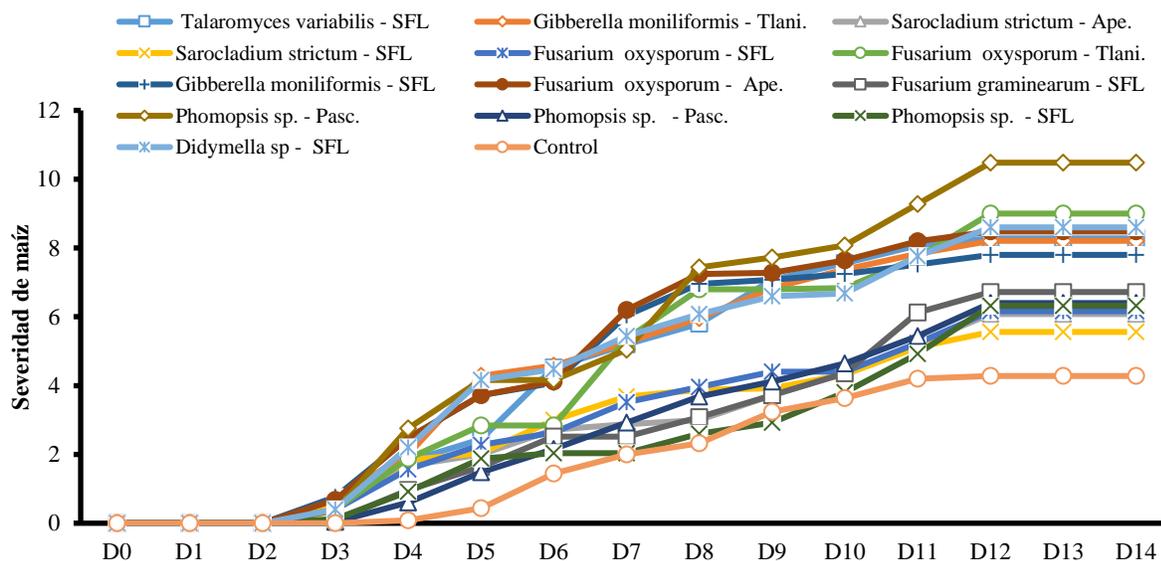


Figura 45. Severidad de maíz, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo rojo intenso. Periodo febrero 2020.

Para germinación (ger) del fenotipo de maíz rojo intenso los resultados indicaron que todas las semillas inoculadas tuvieron la capacidad de germinar en un 100 %, aunque para las semillas inoculadas con *G. moniliformis* - Tlani. fue más lento el cual hasta el noveno día se observó una germinación completa (Figura 46).

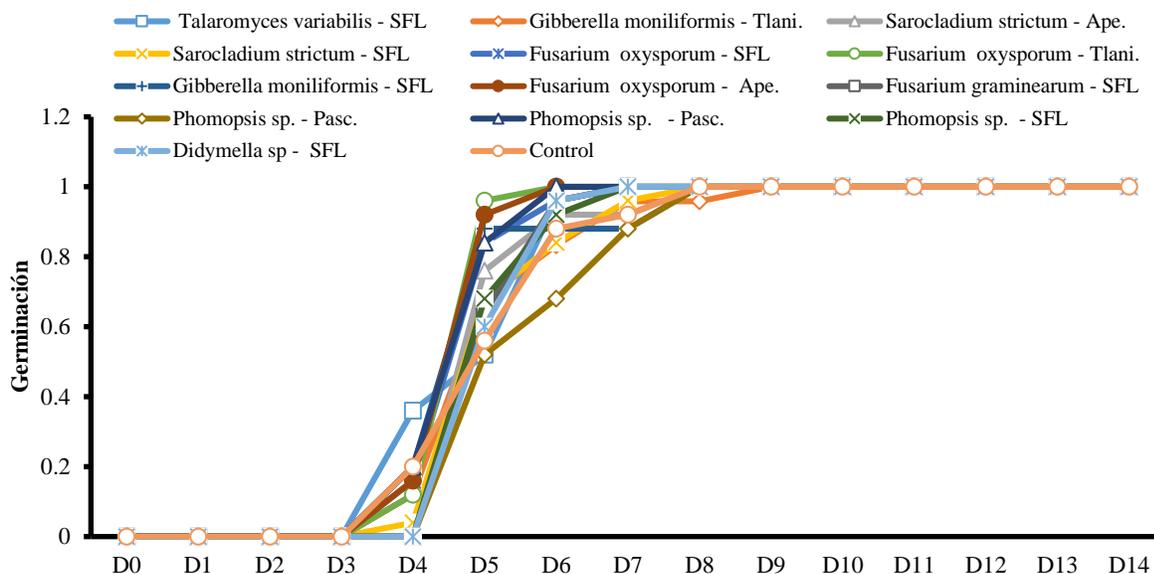


Figura 46. Germinación de semillas de maíz criollo rojo intenso, inoculados con trece hongos. Periodo febrero 2020.

Respecto a la severidad de radícula (sdr) del fenotipo de maíz rojo intenso, los hongos sobresalientes fueron *Phomopsis* sp. - Pasc. con 9.4 % seguido de *Phomopsis* sp. – SFL y *G. moniliformis* – SFL mismas que exhibieron valores de 5.36 y 4.6 % de severidad, mientras que el hongo *Didymella* sp. - SFL se registró con el menor valor de 1.16 % (Figura 47).

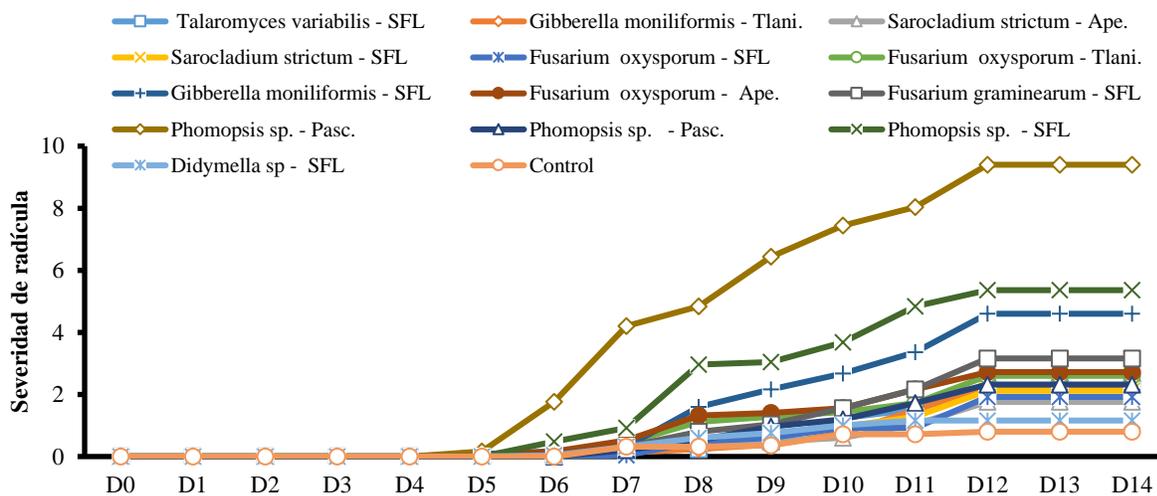


Figura 47. Severidad de radícula, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo rojo intenso. Periodo febrero 2020.

Para el fenotipo de maíz rojo intenso en la variable severidad de hoja (sdh) los valores fueron inferiores al 3 %, en este caso la severidad de hoja se vio afectada por *T. variabilis* – SFL que exhibió el 2.24 % seguido de *Phomopsis* sp. - Pasc. con el 2.2 %. Para *F. graminearum* – SFL fue el menos patógeno con 0.2 % de severidad (Figura 48).

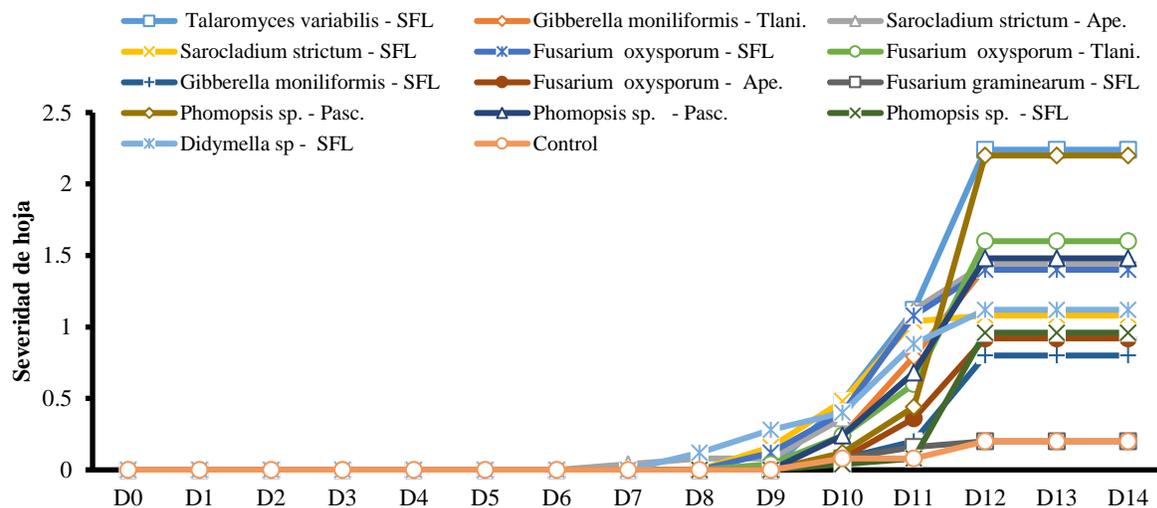


Figura 48. Severidad de hoja, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo rojo intenso. Periodo febrero 2020.

Maíz Rosado

Para el fenotipo de maíz rosado, referente a la variable severidad de semillas de maíz (sdm) se detectó que los 13 hongos exhibieron diversos porcentajes en dicha variable, asimismo los que destacaron mayor severidad fue *Didymella* sp. - SFL 10.68 % seguido de *F. oxysporum* - Ape. 10.08 %, para *F. oxysporum* - Tlani. y *G. moniliformis* – SFL ambos resultaron con el 9.64 %. En cuanto a resultados bajos se detectaron valores de 8 % en *F. graminearum* – SFL (Figura 49).

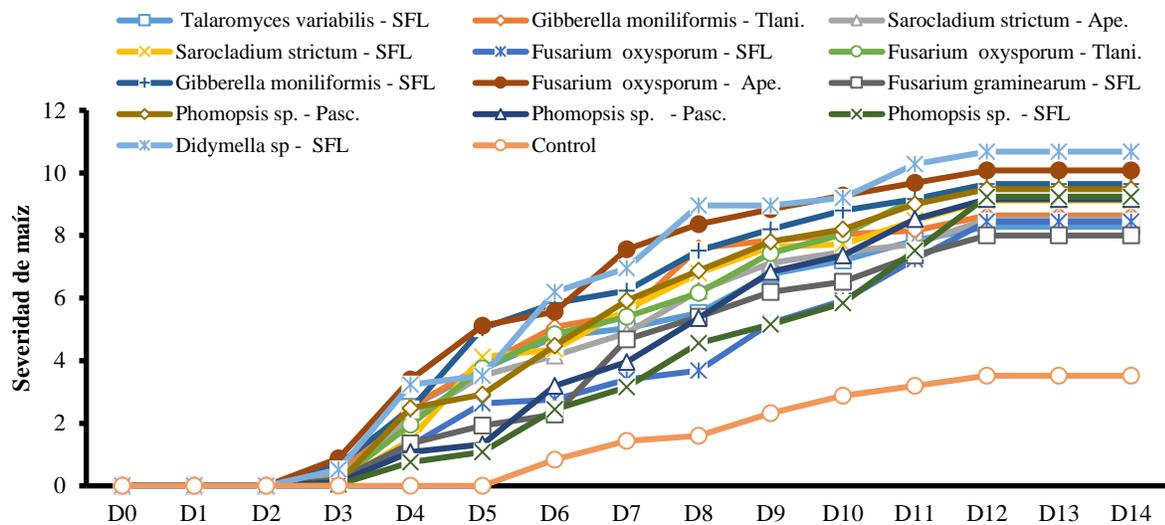


Figura 49. Severidad de maíz, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo rosado. Periodo febrero 2020.

La germinación (ger) del fenotipo rosado a partir del día seis al ocho aceleraron la germinación al 100 % por lo que se refiere a las semillas inoculadas con *T. variabilis* – SFL, *G. moniliformis* – Tlani, *G. moniliformis* – SFL, *F. graminearum* - SFL y *Phomopsis* sp. - Pasc., respecto al control, el resto de las semillas inoculadas fue más lento, el cual lograron la germinación total hasta el día nueve, lo que indica que algunos hongos pueden acelerar o retardar la germinación de las semillas (Figura 50).

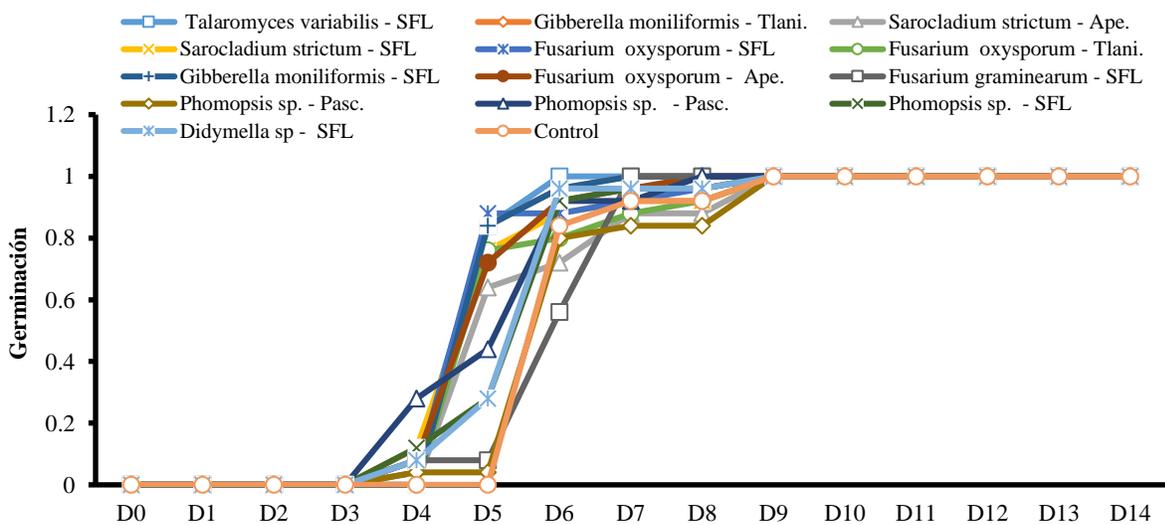


Figura 50. Germinación de semillas de maíz criollo rosado, inoculados con trece hongos. Periodo febrero 2020.

En la severidad de radícula (sdr) todos los hongos fueron patogénicos en los que resaltan como los más patogénicos a *Phomopsis* sp. - Pasc. seguidos por *Didymella* sp. - SFL y *Phomopsis* sp. – SFL con los valores correspondientes a 9.32, 6.4 y 5.7 %, respectivamente. Por el contrario, el hongo que provocó la menor severidad fue *T. variabilis* – SFL con 1.52 % (Figura 51).

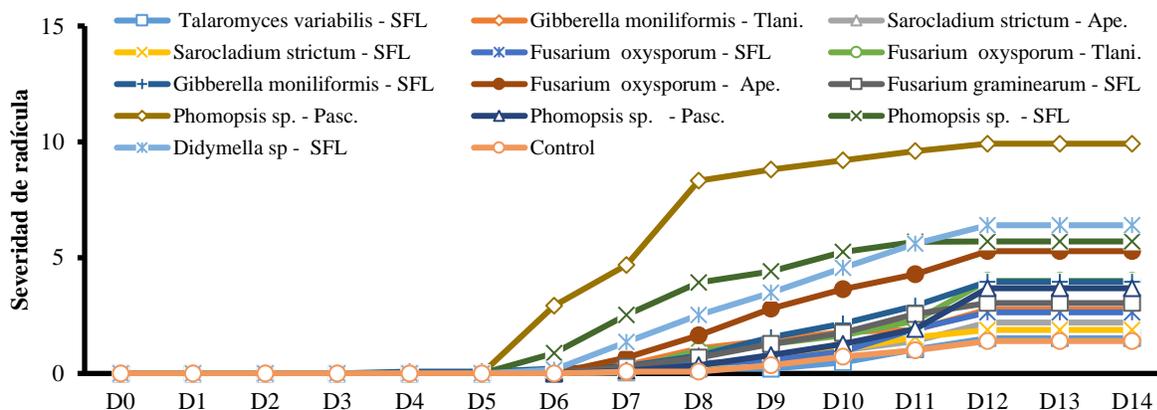


Figura 51. Severidad de radícula, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo rosado. Periodo febrero 2020.

Para severidad de hoja (sdh) en el fenotipo de color rosado de maíz criollo, de los 13 hongos 12 causaron severidad en las hojas, además los valores para esta variable oscilaron entre el 2.08 a 0 %, por lo tanto, destacaron *Phomopsis* sp. - Pasc, *T. variabilis* – SFL y *Phomopsis* sp. – SFL. En cuanto a *F. graminearum* – SFL, no indujo severidad en las hojas de maíz del fenotipo de maíz rosado (Figura 52).

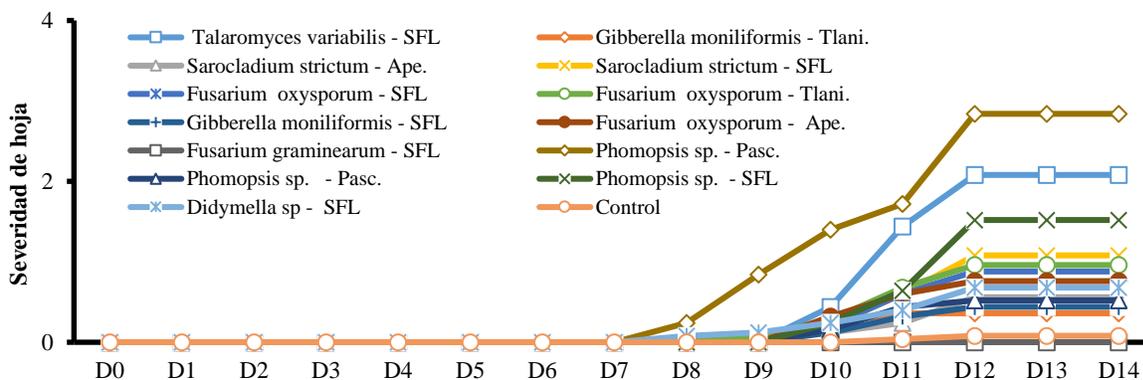


Figura 52. Severidad de hoja, inducida por trece hongos inoculados en semillas de maíz criollo rosado. Periodo febrero 2020.

Análisis molecular

Cuadro 9. Secuencias analizadas con iniciadores ITS1, ITS2, ITS4, comparadas con la base de datos de BLAST.

Clave	Procedencia	Hongo identificado morfológicamente	Hongo Identificación por secuenciación de espaciador interno transcrito (ITS)	pb	Identidad en GenBank (%)
M13A1	Apetlanca	No identificado	<i>Stenocarpella macrospora</i>	231	100
M14S1	San Fco. Lagunita	<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Aspergillus flavus</i>	244	100
MRASN	Tuxpan	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus niger</i>	237	100
M16C1	Cuamañotepec	<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Fusarium graminearum</i>	234	100
M11S2	San Fco. Lagunita	<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Fusarium graminearum</i>	232	100
M12S1S	San Fco. Lagunita	<i>Fusarium acuminatum</i>	<i>Fusarium acuminatum</i>	224	100
FNJAT	Tlanipatlan	No identificado	<i>Gibberella moniliformis</i>	651	100
FPURS	San Fco. Lagunita	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	558	99.44
PENICS	San Fco. Lagunita	<i>Talaromyces variabilis</i>	<i>Talaromyces variabilis</i>	458	99.56
RHIZP	Pascala del Oro	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>	684	98.58
DESCS	San Fco. Lagunita	No identificado	<i>Didymella</i> sp.	1499	91.66
FBCOA	Apetlanca	<i>Sarocladium strictum</i>	<i>Sarocladium strictum</i>	1317	99.63
FBNPS	San Fco. Lagunita	<i>Sarocladium strictum</i>	<i>Sarocladium strictum</i>	1625	99.25

Mediante el análisis de secuenciación ITS se identificaron 11 especies que fueron comparadas con las disponibles en la base de datos del NCBI; BLAST mismas que oscilaron en 91.66 y 100 % de similitud (Cuadro 9).

DISCUSIÓN

En el análisis de las pruebas de patogenicidad, todos los hongos indujeron síntomas en las semillas de los maíces criollos, es decir los hongos inoculados fueron patogénicos; las semillas utilizadas para el tratamiento control exhibieron valores inferiores por posibles contaminante del ambiente, en comparación con los inoculados artificialmente con hongos. En grado de patogenicidad, los aislamientos utilizados difirieron significativamente para las variables, severidad de semillas de maíz (sdm), germinación (ger), severidad de radícula (sdr) y severidad de hoja (sdh).

Al respecto, el fenotipo de semillas criollas amarillo y rosado, fueron más susceptibles a *Fusarium graminearum* y *Stenocarpella macrospora*. El fenotipo amarillo fue más afectado por *S. macrospora* y *R. solani* en la germinación de semillas. El hongo *S. macrospora*, afectó severamente la raíz y la hoja de las plántulas. En Brasil, Casa *et al.* (2006) y Mario *et al.* (2017) reportaron a *S. macrospora* como el principal causante de la pudrición del grano de maíz, tizón en las plántulas y pudrición de los tallos, además de causar manchas foliares, resultados similares fueron observados en el presente estudio. Asran y Buchenauer (2003) reportaron a *F. graminearum* como un patógeno importante y causante de la pudrición de las semillas de maíz; además, en Estados Unidos, este hongo es considerado altamente patogénico porque infecta semillas y plántulas de maíz y es capaz de sobrevivir en suelos donde se cultivó maíz (Broders *et al.*, 2007).

El fenotipo de semillas de color blanco fue más susceptible ante la presencia de *F. oxysporum* y *S. macrospora*. Los hongos *F. oxysporum*, *F. graminearum* y *S. macrospora* inhibieron la germinación total de las semillas inoculadas artificialmente con los hongos anteriormente mencionados. Los hongos *S. macrospora* y *R. solani*, afectaron la raíz y hojas de las plántulas de maíz del fenotipo de color blanco. En Sudáfrica y Estados Unidos, Lamprecht *et al.* (2011a) y

Okello *et al.* (2019) reportaron la presencia de *F. graminearum* y *F. oxysporum* como los principales causantes de la pudrición de raíz y muerte de plántulas de maíz, los autores indicaron que hubo mermas en el rendimiento de maíz. En Reino Unido, McCormack *et al.* (2013) reportaron la presencia de *R. solani*, como patógeno causante de la pudrición de raíces y tallos del cultivo de maíz.

Por otra parte, el fenotipo de semillas de color morado de la raza de maíz Elotes occidentales, fueron afectados durante la germinación de las semillas y crecimiento de plántulas por los hongos *A. flavus*, *A. niger*, *F. graminearum* y *F. oxysporum* debido a la degradación de la testa de la semilla por acción de los patógenos ya mencionados. El hongo *F. graminearum*, afectó severamente las raíces de las plántulas. El hongo *S. macrospora*, causó daño específicamente en las hojas de las plántulas. En Irán y Brasil, Houshyar-Fard *et al.* (2014) y Vieira *et al.* (2019) reportaron la presencia de los géneros *Aspergillus* sp. y *Fusarium* sp., asociados a las semillas de maíz morado. En tanto que, *F. graminearum*, es el principal agente causal de la pudrición de la raíz de las plántulas y es capaz de dispersarse por semilla (Gai *et al.*, 2017).

Respecto al fenotipo rojo intenso de la raza de maíz Elotes Occidentales, las semillas fueron susceptibles ante la presencia de *R. solani*, *Phomopsis* sp. y *S. macrospora*, estos patógenos afectaron a la radícula de las semillas de maíz. El hongo *F. oxysporum*, aceleró la germinación total de este fenotipo, Da Silva *et al.* (2017) reportaron la presencia de *R. solani*, en suelos agrícolas e indicaron que ataca a las raíces de la planta de maíz. Por su parte, Lamprecht *et al.* (2011b) reportaron que *Phomopsis* sp. y *F. graminearum*, como los principales agentes causales de la pudrición de semillas de maíz.

El fenotipo de semillas amarillas que pertenece a la raza de Elotes Occidentales, en cierto grado toleró la presencia de *Sarocladium strictum* y fue reportado en Sudáfrica, Aveling *et al.* (2020) en semillas de maíz.

Por otra parte, mediante la secuenciación de las regiones ITS se corroboraron ocho especies de hongos previamente identificados morfológicamente, además las secuencias permitieron la identificación de tres especies que no fue posible observar su morfología a nivel de microscopio. En este sentido los hongos son de importancia agrícola debido a que merman la calidad de las semillas de maíz para autoconsumo y su comercialización, por lo que su identificación a nivel molecular es importante para generar evidencias de que están presentes en semillas de maíces nativos del estado de Guerrero.

CONCLUSIONES

Las semillas de los cinco fenotipos de maíces criollos fueron susceptibles a los hongos inoculados. Los hongos, exhibieron distintas velocidades de infección, algunos infectaron transcurridas 48 horas, después de la inoculación de las semillas. También, pudo detectarse que los hongos evaluados fueron no específicos y afectaron a todos los fenotipos de maíz evaluados en distintos grados de severidad. Los hongos que exhibieron mayor severidad fueron *S. macrospora*, *R. solani*, *F. graminearum*, *F. oxysporum* y *Phomopsis* sp. en los cinco fenotipos evaluados. Por su parte, *S. strictum* exhibió menor agresividad, para la variable sdm, en los maíces amarillo (6.44%), blanco (5.32%) y rojo intenso (6.56%) comparado con los valores exhibidos por los hongos antes mencionados. Asimismo, *A. flavus* exhibió poca afinidad para atacar a la raíz y hoja, específicamente en el maíz blanco, con valores de 2.76% y 2.96% de severidad, respectivamente; comparado con los valores obtenidos en la variable sdr (4.96%), en el maíz morado y la variable sdh (5.0%) en el maíz rojo intenso. En este sentido, *T. variabilis* exhibió menor agresividad en el maíz amarillo y rosado, para la variable sdr, con valores de 1.96% y 2.96%, respectivamente; comparado con lo exhibido por este mismo hongo en el maíz morado, donde obtuvo valores de 9.36% y en el maíz rojo intenso obtuvo valores de 10.88%, para la misma variable.

El análisis molecular vía secuenciación confirmó la identidad de las especies de *Stenocarpella macrospora*, *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *Fusarium graminearum*, *F. acuminatum*, *Gibberella moniliformis*, *F. oxysporum*, *Talaromyces variabilis*, *Rhizoctonia solani*, *Didymella* sp. y *Sarocladium strictum*.

LITERATURA CITADA

- Ahmad, L., Pathak, N. and Zaidi, R. K. (2016). Antifungal potential of plant extracts against seed-borne fungi isolated from barley seeds (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Pathology Microbiol.* 7 (5): 350. doi:10.4172/2157-7471.1000350
- Aldrich, S. R., Scott, W. O. and Leng, E. R. (1975). *Modern Corn Production*. (2. ed.). pp.338.
- Asran, M. R. and Buchenauer, H. (2003). Pathogenicity of *Fusarium graminearum* isolates on maize (*Zea mays* L.) cultivars and relation with deoxynivalenol and ergosterol contents. *Journal of Plant Diseases and Protection.* 110(3): 209-219. <https://www.jstor.org/stable/43215506>
- Aveling, T. A. S., De Ridder, K., Olivier, N. A. and Berger, D. K. (2020). Seasonal variation in mycoflora associated with asymptomatic maize grain from small-holder farms in two provinces of South Africa. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics.* 121(2): 265-275. <https://doi.org/10.17170/kobra-202011262275>
- Bock, C. H., Gottwald, T. R., Parker, P. E., Cook, A. Z., Ferrandino, F., Parnell, S. and Van den Bosch, F. (2009). The Horsfall-Barratt scale and severity estimates of citrus canker. *European Journal of Plant Pathology.* 125: 23-38. DOI 10.1007/s10658-009-9455-x
- Broders, K. D., Lipps, P. E., Paul, P. A. and Dorrance, A. E. (2007). Evaluation of *Fusarium graminearum* associated with corn and soybean seed and seedling disease in Ohio. *Plant disease.* 91(9): 1155-1160. <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-9-1155>
- Casa, R. T., Reis, E. M. & Zambolim, L. (2006). Doenças do milho causadas por fungos do gênero *Stenocarpella*. *Fitopatologia Brasileira.* 31(5): 427-439. DOI: 10.1590/S0100-41582006000500001

- Da Silva, M. P., Tylka, G. L. and Munkvold, G. P. (2017). Seed treatment effects on maize seedlings coinfecting with *Rhizoctonia solani* and *Pratylenchus penetrans*. Plant disease. 101(6): 957-963. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-16-1417-RE>
- Farr, D.F. and Rossman, A.Y. (2021) Fungal Databases, U.S. National Fungus Collections, ARS, USDA. Consultado 12 de agosto 2021.
- Figueroa-Rivera, M.G., Rodríguez-Guerra, R., Guerrero-Aguilar, B.Z., González-Chavira, M.M., Pons-Hernández, J. L., Jiménez-Bremont, J.F., Ramírez-Pimentel, J.G., Andrio-Enríquez, E. and Mendoza-Elos, M. (2010). Caracterización de especies de *Fusarium* asociadas a la pudrición de raíz de maíz en Guanajuato, México. Revista Mexicana de Fitopatología. 28:124-134.
- Franco-Martínez, J. R. P., González-Huerta, A., Pérez-López, D. D. J. y González-Ronquillo, M. (2015). Caracterización fenotípica de híbridos y variedades de maíz forrajero en Valles Altos del Estado de México, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 6(8): 1915-1927. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000801915
- Gai, X. T., Xuan, Y. H. and Gao, Z. G. (2017). Diversity and pathogenicity of *Fusarium graminearum* species complex from maize stalk and ear rot strains in northeast China. Plant Pathology. 66(8): 1267-1275. Doi: 10.1111/ppa.12670
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 3a Ed. Corregida y aumentada. UNAM. México, DF. 146 p.
- Horsfall, J. G. and Barratt, R. W. (1945). An improved grading system for measuring plant disease. Phytopathology. 35: 655-665.
- Houshyar-Fard, M., Rouhani, H., Falahati-Rastegar, M., Mahdikhani-Moghaddam, E., Malekzadeh-Shafaroudi, S. and Probst, C. (2014). Studies on *Aspergillus flavus* Link.

isolated from maize in Iran. Journal of Plant Protection Research. 54(3): 219-224. DOI: 10.2478/jppr-2014-0033

Lamprecht, S. C., Tewoldemedhin, Y. T., Botha, W. J. and Calitz, F. J. (2011a). *Fusarium graminearum* species complex associated with maize crowns and roots in the KwaZulu-Natal province of South Africa. Plant Disease. 95(9): 1153-1158. doi:10.1094/ PDIS-02-11-0083

Lamprecht, S. C., Crous, P. W., Groenewald, J. Z., Tewoldemedhin, Y. T. and Marasas, W. F. O. (2011b). *Diaporthaceae* associated with root and crown rot of maize. IMA Fungus. 2(1): 13-24. doi:10.5598/imafungus.2011.02.01.03

Mario, J. L., Gozuen, C. F. and Juliatti, F. C. (2017). *Stenocarpella macrospora* and *Stenocarpella maydis* in the cerrado and southern Brazil regions. Bioscience Journal. 33(1): 76-87. <https://doi.org/10.14393/BJ-v33n1a2017-36068>

McCormack, A. W., Woodhall, J. W., Back, M. A. and Peters, J. C. (2013). *Rhizoctonia solani* AG3-PT infecting maize stem bases and roots in the United Kingdom. New Disease Reports. 27: 22-22. <http://dx.doi.org/10.5197/j.2044-0588.2013.027.022>

Okello, P. N., Petrović, K., Kontz, B. and Mathew, F. M. (2019). Eight species of *Fusarium* cause root rot of corn (*Zea mays*) in South Dakota. Plant Health Progress. 20(1): 38-43. <https://doi.org/10.1094/PHP-11-18-0075-RS>

Oliveira, E. F. D., Santos, P. R. R. D. and Santos, G. R. D. (2018). Seeds of weeds as an alternative host of phytopathogens. Arquivos do Instituto Biológico. 85: 1-7. DOI: 10.1590/1808-1657000972017

Pastor-Corrales, M. A. and Abawi, G. S. (1987). Reactions of selected bean germ plasms to infection by *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*. Plant Disease. 71(11): 990-993. DOI: 10.1094/PD-71-0990

- Raja, H. A., Miller, A. N., Pearce, C. J. and Oberlies, N. H. (2017). Fungal identification using molecular tools: a primer for the natural products research community. *Journal of Natural Products*. 80: 756-770.
- Tsedaley, B. and Adugna, G. (2016). Detection of fungi infecting maize (*Zea mays* L.) seeds in different storages around Jimma, Southwestern Ethiopia. *Journal of Plant Pathology Microbiology*. 7(3): 338. doi:10.4172/2157-7471.1000338
- Vieira, H., Martins, J. V. D. S., Barreto, G. G., Gomes, R. D. S. S., Silva, E. C. and Nascimento, L. C. (2019). Sanitary and physiological quality of 'purple' corn (*Zea mays* L.) seeds submitted to thermotherapy. *Arquivos do Instituto Biológico*. 86: 1-7. DOI: 10.1590/1808-1657001222018
- White, T. J., Bruns, T., Lee, S. and Taylor, J. (1990). Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications*. Pp. 315-322.
https://www.researchgate.net/publication/262687766_Amplification_and_Direct_Sequencing_of_Fungal_Ribosomal_RNA_Genes_for_Phylogenetics