

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Identificación de los agentes causales de la secadera del trigo (*Triticum aestivum* L.)
en la Región de Pénjamo, Guanajuato.

Por:

José Javier Flores López

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila, México.

Octubre, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Identificación de los agentes causales de la secadera del trigo (*Triticum aestivum*
L.) en la Región de Pénjamo, Guanajuato.

Por:

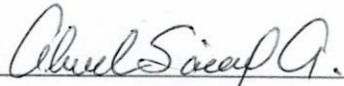
JOSÉ JAVIER FLORES LÓPEZ

TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

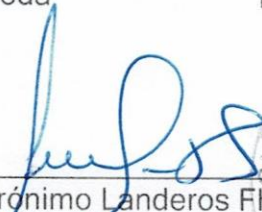
Aprobada por el Comité de Asesoría:


M.C. Abiel Sánchez Arizpe
Asesor Principal Interno


Dr. José Luis Arispe Vázquez
Asesor Principal Externo


Dra. Ma. Elizabeth Galindo Cepeda
Coasesor


Dr. Guadalupe López Nieto
Coasesor


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



Saltillo, Coahuila, México
Octubre, 2022

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante

Jose Javier
Flores Lopez

José Javier Flores López

AGRADECIMIENTOS

A Mi ALMA TERRA MATER

Por brindarme todos elementos y oportunidades necesarias para poder lograr una educación de calidad además de ser realmente mi segunda casa en la cual conocí grandes amistades.

Al Dr. José Luis Arispe Vásquez

Le agradezco todo el apoyo brindado, la disposición y comprensión para la realización de esta tesis.

Dra. Ma. Elizabeth Galindo Cepeda

Le agradezco por su disposición, apoyo y comprensión brindado durante el proceso de la tesis.

Al M.C. Abiel Sánchez Arizpe

Le agradezco todo el apoyo para la realización de esta tesis.

A Emily Jimena Flores López, Oscar javier Quintero López

Les agradezco todos los momentos de apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida.

A todos mis amigos Ángel, Cristian, Erasmo, Juan, Agustín, Emmanuel

Les agradezca todos los momentos de diversión y amargura que pasamos juntos a lo largo de la vida universitaria.

DEDICATORIA

A mis padres

Por ser modelos a seguir y enseñarme el valor del estudio y del trabajo duro.

A mi padre por haberme inculcado el amor al campo y enseñarme que esta es una profesión digna y prospera.

A mi madre todo apoyo y comprensión incondicional que siempre me ha dado.

Por eso y mucho más son pilares fundamentales en mi vida, con mucho amor y cariño, les dedico todo mi esfuerzo, en reconocimiento a todo el sacrificio puesto, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación, se merecen esto y mucho más.

Ramón Flores Vásquez, Juana López García

A mis Abuelas

Por apoyarme cada que me regresaba a la universidad y darme palabras de aliento y siempre alentarme a ser una mejor persona.

María de Jesús Vásquez Flores, María Dolores García Flores

A mi Novia

Por aguantar todo el tiempo que duraron mis estudios separados además de siempre entenderme en todo, además de que en todo momento fue un apoyo incondicional en mi vida, es mi felicidad encajada en una sola persona.

Erika Macedonio Domínguez

A mis padrinos

Por ser unos ejemplos a seguir y por siempre alentarme a seguir con mis estudios.

Héctor Javier Flores Vásquez, Cesar Leonel López García, Ma Dolores López
García.

Índice de Contenido

	Pág.
Declaración de no plagio.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE CUADROS	x
RESUMEN	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
Justificación	1
Objetivos	2
Hipótesis.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Importancia del Trigo en México	3
Producción del Trigo en Guanajuato.....	3
Producción del trigo a nivel nacional	4
Producción del Trigo a Nivel Mundial	5
Principales Enfermedades del Trigo.....	5
Roya de la hoja	5
Roya lineal	7
Carbón parcial <i>Tilletia indica</i> Mitra.	8
Ciclo de vida	9
Síntomas.....	9
Roña de la espiga de trigo	10
Clasificación taxonómica (EPPO, 2020).....	10
Ciclo de vida	10
Síntomas.....	10
Importancia de la Identificación de los Agentes causales de Enfermedades en los Cultivos	11
Estrategias de Control de las Enfermedades en el Cultivo del Trigo	11
Métodos Culturales (López, 2001)	11
Control Químico	12

Hongos asociados a la secadera del trigo	13
Importancia Económica de la Secadera del Trigo	13
Importancia a nivel mundial.....	13
Importancia en México	13
Generalidades del género <i>Fusarium</i> en la agricultura	14
Taxonomía de cada especie de hongo causante de la secadera del trigo (EPPO, 2020)	14
Micotoxinas generadas por cada especie de hongo causante de la secadera del trigo	15
F. proliferatum.	15
F. verticillioides.....	16
F. oxysporum.	16
F. graminearum	17
MATERIALES Y METODOS.....	18
Localización del Experimento.....	18
Selección del Predio	18
Toma de Muestras	19
Preparación de Medio de Cultivo.....	20
Procesado de Muestras.....	20
Purificación y multiplicación de Muestras	22
Preparación de Laminillas	23
Envío de Muestras.....	23
RESULTADOS	24
Selección de Muestras	24
Identificación Molecular	25
Descripción microscópica.....	26
DISCUSION.....	27
CONCLUSION	28
BIBLIOGRAFÍA.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Predios pertenecientes al pozo “Las Jaras”	18
Figura 2. Síntomas encontrados en el predio seleccionado.....	19
Figura 3. Predio seleccionado.....	19
Figura 4. Preparación de medio de cultivo.....	20
Figura 5. Pesaje de suelo no refrigerado.....	21
Figura 6. Desinfección de raíces.....	22
Figura 7. Cortes de raíz.....	22
Figura 8. Muestras descartadas.....	24
Figura 9. Muestras ya multiplicadas, purificadas y etiquetadas.....	25
Figura 10. Especies de <i>Fusarium</i> identificadas.....	26

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Producción de Trigo en Guanajuato 2019 y 2020.....	3
Cuadro 2. Producción del Trigo a nivel nacional en el 2019 y 2020.....	4
Cuadro 3. Datos de la identificación molecular de cada especie de <i>Fusarium</i>	25

RESUMEN

El origen del actual trigo cultivado se encuentra en la región asiática comprendida entre los ríos Tigris y Eufrates, habiendo numerosas gramíneas silvestres comprendidas en esta área y están emparentadas con el trigo. Desde Oriente Medio el cultivo del trigo se difundió en todas las direcciones. Se le considera al trigo en grano un producto de alta necesidad debido a que es un alimento de gran demanda gracias a su alto contenido nutricional, además de ser uno de los recursos de más importancia en la dieta de los mexicanos gracias a su gran diversidad de alimentos de los que es ingrediente principal (pastas, tortillas, pasteles). El objetivo de este trabajo fue identificar las especies de *Fusarium* asociadas a la secadera del trigo en Pénjamo, Guanajuato, El experimento se desarrolló con muestras de suelo y raíz obtenidas de predios pertenecientes a la comunidad de San Rafael de la Maraña de las cuales se obtuvieron los patógenos los cuales fueron sembrados, purificados y multiplicados por medio de siembras en agar de papa y dextrosa, En repeticiones aisladas sólo de la raíz refrigerada se observaron colonias aplanadas de crecimiento lento de diferentes pigmentaciones, con microconidios hialinos en forma de garrote y ligeramente aplanados en cada una, sin embargo, las cepas también presentan macroconidios curvos a casi rectos; septos con basocelular en forma de pie, además se presentan con clamidosporas, características determinantes para especies del género *Fusarium*. Se identificaron tres especies de *Fusarium* a partir de muestras de raíz refrigerada, las cuales fueron; *Fusarium incarnatum*, *Fusarium oxysporum* y *Fusarium proliferatum*

Palabras Clave: Trigo, *Fusarium*, secadera

INTRODUCCIÓN

El origen del actual trigo cultivado se encuentra en la región asiática comprendida entre los ríos Tigris y Eufrates, habiendo numerosas gramíneas silvestres comprendidas en esta área y están emparentadas con el trigo. Desde Oriente Medio el cultivo del trigo se difundió en todas las direcciones.

Las primeras formas de trigo recolectadas por el hombre hacen más de doce mil años eran del tipo *Triticum monococcum* y *T. dicocccum*, caracterizadas fundamentalmente por tener espigas frágiles que se disgregan al madurar. Indonesia, Egipto y Brasil son los principales países importadores de trigo; mientras que los principales exportadores son Rusia, La Unión Europea y Estados Unidos. El trigo es una de las fuentes más importante de proteína y calorías de origen vegetal y parte fundamental de productos de repostería (pasteles, galletas, etc.) y productos derivados de las pastas. *Fusarium* es un género ampliamente distribuido, que infectan una amplia variedad de cultivos, incluido el trigo *Triticum* spp.

En la agricultura, este hongo reduce la calidad y el rendimiento de los cultivos y produce micotoxinas responsables de enfermedades graves en los seres humanos y los animales (Nicolaisen *et al.*, 2009). La secadera en trigo es una enfermedad fúngica que es causada por algunas especies de hongos del género *Fusarium*. (Leyva *et al.* 2017) identificaron a *Fusarium proliferatum* y *Fusarium graminearum* como las especies causantes del síntoma de pudrición de raíz del cultivo de trigo en campos del Bajío mexicano.

Justificación

La identificación de los patógenos causantes de enfermedades en los cultivos es la principal actividad que se requiere para generar nuevas estrategias de control específicas para cada enfermedad.

Objetivos

- Identificar las diferentes especies de hongos causantes de la secadera del trigo.

Hipótesis

Se espera encontrar al menos dos especies de hongos causantes de la secadera del trigo en Pénjamo, Guanajuato.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del Trigo en México

México es un país innovador en seguridad, investigación y producción de trigo, según declaraciones del embajador de Australia en México informo que aproximadamente el 90% de la genética de las variedades de trigo usado en Australia es de origen mexicano. (Domínguez, 2016).

Producción del Trigo en Guanajuato

El SIAP (2022) reporta que en el estado de Guanajuato en el año 2020 se sembraron 71,799 ha con un promedio de 5.75 t por ha con una producción de 412,950.53 de t y un aumento del 11.85% en las ha sembradas con respecto al año 2019 de las culés los principales municipios productores son Pénjamo con 7, 830 t, Abasolo 7, 810 t y Valle de Santiago 7,070 t.(cuadro 1)

Cuadro 1. Producción de Trigo en Guanajuato 2019 y 2020

Entidad	Superficie (2019)		P ¹	R ²	PMR	V ³
	Sembrad a	Cosechad a				
Estatad	64,190.33	64,190.33	362,280.05	5.64	4,246.90	1,538,566.72
Abasolo	7,858.00	7,858.00	54,409.88	6.92	4,546.60	247,379.90
San Felipe	7,161.67	7,161.67	9,668.25	1.35	3,408.10	32,950.36
Pénjamo	7,135.00	7,135.00	46,940.00	6.58	4,386.91	205,921.64
Irapuato	5,951.00	5,951.00	41,728.99	7.01	4,288.91	178,971.69
Ocampo	4,678.00	4,678.00	5,987.84	1.28	3,980.33	23,833.58

Entidad	Superficie (2020)		P ¹	R ²	PMR	V ³
	Sembrad a	Cosechad a				
Estatad	71,799.00	71,799.00	412,950.53	5.75	5,135.66	2,120,773.50

Pénjamo	7,830.00	7,830.00	49,932.00	6.38	4,971.18	248,220.96
Abasolo	7,810.00	7,810.00	50,488.00	6.46	5,396.79	272,473.00
San Felipe	7,200.00	7,200.00	10,080.00	1.4	4,045.42	40,777.83
Valle de Santiago	7,070.00	7,070.00	51,748.20	7.32	5,309.31	274,747.41
Irapuato	5,460.00	5,460.00	38,199.10	7	5,159.47	197,086.97
Ocampo	4,680.00	4,680.00	5,943.60	1.27	4,052.99	24,089.35

¹=Producción, ²= Rendimiento, ³= Valor

Producción del trigo a nivel nacional

El SIAP (2022) reportó que nivel nacional en el año 2020 se sembraron 567,211.21 ha con una media de 5.32 t por ha con una producción de 2,986,689.24 Mt de las cuales los 3 principales estados productores son sonora con 230, 087.29 t, Guanajuato con 71, 799 t y Michoacán con 43,003.52 t (Cuadro 2).

Entidad	Superficie (2019)		P ¹	R ²	PMR	V ³
	Sembrada	Cosechada				
Nacional	598,233.41	586,543.09	3,244,062.03	5.53	3,971.76	12,884,646.95
Sonora	260,319.67	260,109.67	1,787,174.97	6.87	3,938.89	7,039,493.36
Guanajuato	64,190.33	64,190.33	362,280.05	5.64	4,246.90	1,538,566.72
Baja California	50,864.16	44,918.84	269,396.42	6	3,865.22	1,041,275.75
Michoacán	47,851.40	47,851.40	186,419.57	3.9	4,032.31	751,700.72

Entidad	Superficie (2020)		P ¹	R ²	PMR	V ³
	Sembrada	Cosechada				
Nacional	567,211.21	561,281.79	2,986,689.24	5.32	4,804.75	14,350,280.80
Sonora	230,087.29	230,087.29	1,532,757.29	6.66	4,813.51	7,277,948.22
Guanajuato	71,799.00	71,799.00	412,950.53	5.75	5,135.66	2,120,773.50
Michoacán	43,003.52	43,003.52	187,666.21	4.36	5,133.32	963,350.95
Sinaloa	41,318.84	41,318.84	238,972.47	5.78	3,807.01	909,769.76
Baja California	39,704.16	39,063.24	226,65.59	5.79	5,437.81	1,230,389.72

¹=Producción, ²= Rendimiento, ³= Valor

Producción del Trigo a Nivel Mundial

El trigo es el principal cultivo de granos en el comercio mundial con un promedio de 650-685 millones toneladas de producción, 654-660 millones de toneladas de consumo (Yara, 2020).

En el ciclo 2021/2022 el mayor productor mundial de trigo fue la unión europea con un promedio de producción de 139 millones de toneladas, en el segundo puesto fue China y en el tercer puesto fue la India (Statista, 2022)

Principales Enfermedades del Trigo

Roya de la hoja

Puccinia triticina es una roya macrocíclica la cual los daños causados pueden llegar hasta un 84% en el rendimiento ya que disminuye el tamaño y número de granos en la espiga, peso del grano y calidad del mismo (Singh y Huerta-Espino, 1997).

Clasificación taxonómica (EPPO, 2020)

Reino: Hongos

Filo: Basidiomycota

Clase: Pucciniomycetes

Orden: Pucciniales

Familia: Pucciniaceae

Género: *Puccinia*

Especie: *triticina*

Ciclo de vida

Puccinia triticina tiene cinco estadios y necesita dos hospedantes los cuales no están relacionados, la infección inicia cuando urediosporas producidas en el hospedante primario (el trigo) en esta fase de la enfermedad las urediosporas son capaces de poder re infectar al huésped primario , cuando el hospedante madura la las uredias cambian a teliosporas con paredes más gruesas ya que esta fase es más resistente a temperaturas para así poder asegurar su supervivencia y poder infectar al hospedero secundario en el otoño, en el otoño cuando germinan las telioesporas con condiciones apropiadas germinan basidioesporas maduras las cuales son expulsadas al hospedante secundario infectando en las células epidérmicas lo cual resulta en otro estadio de picnias, las cuales con ayuda de insectos se propagan y fertilizan dando como resultado una aecioespora y estas son diseminadas al hospedero principal germinando urediosporas así empezando una nueva infección (Roelfs, 1989).

Síntomas

Los principales síntomas se desarrollan en el haz de las hojas donde crecen pústulas comúnmente menores a 2 mm las cuales son de color marrón-anaranjado y estas se van obscureciendo con el tiempo, estas pústulas común mente solo son desarrollas en las hojas y rara vez en tallos, aunque el principal daño es en la espiga y los granos los cuales disminuyen considerable mente de tamaño (DGSV-CNRF, 2020)

Roya lineal

La roya lineal es una de las enfermedades fúngicas más importantes en muchas regiones productoras de trigo especialmente en lugares fríos. En México esta enfermedad es importante ya que existen regiones productoras de trigo en las cuales se utilizan variedades las cuales son afectadas reduciendo su rendimiento (Rodríguez *et al.*, 2009).

Clasificación taxonómica (Eppo 2002)

Reino: Fungi

Filo: Basidiomycota

Clase: Pucciniomycetes

Orden: Pucciniales

Familia: Pucciniaceae

Género: *Puccinia*

Especie: *striiformis* f. sp. *Tritici*

Distribución de la plaga

Este patógeno está presente en todas las regiones productoras de trigo como América del Norte, África Oriental, Asia Occidental, Europa, Asia Central (Mboup *et al.*, 2009).

Ciclo de vida

El ciclo de esta enfermedad inicia cuando las urediosporas infecta a su hospedante primario “el trigo” esta fase puede re infectar al trigo cuando las condiciones climáticas dejan de ser favorables para la urediosporas se forman teliosporas debajo de la epidermis ya que estas son más resistentes al clima. Al ser favorables las condiciones germinan las telias dando como resultado basidiosporas las cuales

son expulsadas y diseminadas para infectar a el hospedero secundario. Al infectar dan como resultado picnioesporas esta fase se reproduce por insectos resultando en la formación de aecioesporas las cuales regresan al hospedante primario para producir uredioesporas y empezar el ciclo nuevamente (Chen *et al.*, 2014.)

Síntomas

Los síntomas se desarrollan principalmente en las hojas basales en las que se concentran masas de uredioesporas de color amarillo fuerte en pustulas alineadas en líneas largas entre las nervaduras además de infectar las glumas en la etapa de formación del grano cuando son infecciones fuertes además de amacollar la planta. (DGSV-CNRF. 2020)

Carbón parcial *Tilletia indica* Mitra.

Esta enfermedad se presume que se presentó por primera vez en el año 1960-1970 en el Valle del Yaqui Sonora, a partir del año 1980 aumento de manera exponencial así posterior mente extendiéndose a los estados de Sinaloa y Baja California Sur. (SADER-SENASICA, 2019).

Clasificación taxonómica (EPPO 2002)

Reino: Fungi

Phylum: Basidiomycota

Clase: Exobasidiomycetes

Orden: Tilletiales

Familia: Tilletiaceae

Género: *Tilletia*

Especie: *indica*

Ciclo de vida

Las esporas de *T. indica* se encuentran en el suelo viables por aproximadamente 2 años, germinan en el suelo cuando se está formando la espiga y en el tiempo de floración. (Krishna and Singh, 1982; Rattan and Aujla, 1992). Bajo condiciones favorables de humedad y temperatura germinan las teliosporas de las cuales emergen el basidium en el cual se llegan a producir de 10 a 150 basidiosporas en forma de hoz también conocidos como esporidios de los cuales forman esporidios secundarios.

Los esporidios primarios y secundarios son dispersados por el viento o salpicados por agua para llegar a las espigas recién formada o iniciando la floración iniciando la infección en la planta , de los esporidios se originan los tubos germinativos los cuales penetran la semilla y dirigirse a las aberturas estomáticas de la gluma o lema, después penetran la base del ovario para infectar el grano recién formado para alojar las hifas recién germinadas entre el tegumento y endospermo de la semilla donde madura asta generar teliosporas (Dhallwal, 1988)

Síntomas

Los síntomas de la enfermedad son muy difíciles de detectar, aunque las espigas disminuyen considerablemente de tamaño y comúnmente solo presentan seis o menos granos, los granos infectados se logran detectar de manera visual para lo cual es necesario sacar los granos de la espiga y aplanarlos los granos infectados despiden un olor muy particular a pescado descompuesto; Cuando inician la infección es a lo largo de la sutura dejando el endospermo intacto cubriendo la cascarilla, cuando la infección es leve se llega a observar un punto oscuro debajo del embrión hacia la sutura (Carris *et al.*, 2006)

En caso de una infección muy avanzada todos los tejidos del endospermo y partes del pericarpio son remplazados por masas de teliosporas pero en algunas veces el endoespermo llega a quedar intacto, las glumas se separan para exponer los granos dañados. (DPHQ, 2001)

Roña de la espiga de trigo

La roña o tizón de la espiga de trigo es una enfermedad de gran importancia en regiones de climas cálidos y húmedos del mundo donde puede afectar cereales como trigo, cebada, avena y centeno. Los cultivos de maíz y trigo en América Latina sufren daños considerables como resultado de la enfermedad genéricamente conocida como fusariosis, causada por el hongo *Fusarium graminearum* Schw. (telomorfo: *Gibberella zeae*) (Trenholm *et al.*, 1990).

Clasificación taxonómica (EPPO, 2020)

Reino: Fungi

Phylum: Ascomycota

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Nectriaceae

Género: *Fusarium*

Especie: *graminearum*

Ciclo de vida

Esta enfermedad tiene la capacidad de permanecer en los residuos de la cosecha en los cuales germinan las macroconidias las cuales se dispersan para iniciar la infección así madurando para llegar a su estado sexual (*Gibberella zeae*) desarrollando ascosporas las cuales diseminan las macroconidias en el siguiente ciclo para empezar una nueva infección (DGSV-CNRF, 2020)

Síntomas

Los síntomas se centran en la espiga las cuales pierden el color verde de la clorofila hasta tomar un color parecido al salmón concentrándose en la gluma (Wiese, 1977).

Esta enfermedad puede producir una mancha en los granos dañados tornándose de un color café-gris, avanzando la enfermedad dando como consecuencia la muerte prematura de la espiga tornándola de un color blanco con el tiempo aparecen puntos negros los cuales los peritecios los cuales dan apariencia de roña. (Hernández, 2002).

Importancia de la Identificación de los Agentes causales de Enfermedades en los Cultivos

La identificación de los agentes causales juega uno de los roles más importantes en los pasos del manejo de enfermedades en los cultivos. La identificación de signos y síntomas son los primeros pasos para lograr una identificación exitosa de la o los agentes causales lo primero es identificar los síntomas para visibles para poder descartar las enfermedades abióticas, la identificación de signos visibles (micelio, exudados) para poder saber a cuál de los grupos de agentes causales te estas enfrentando (virus, bacterias, hongos, etc.) así en conjunto identificar con certeza al patógeno en cuestión y llevar acabo con control más específico y certero para evitar diagnósticos erróneos que solo pierden tiempo y dinero. (Riley *et al* 2002)

Estrategias de Control de las Enfermedades en el Cultivo del Trigo

Métodos Culturales (López, 2001)

Uso de semilla certificada

Para el cultivo de trigo se tiene la facilidad de encontrar diferentes calidades de semilla ya sea certificada, apta para siembra o bien guardar grano de la cosecha del ciclo anterior lo cual solo beneficia en el bajo costo de la misma. El uso de semilla certificada es uno de los métodos culturales más comunes y sencillos ya que esta calidad de semilla nos garantiza la inocuidad de la misma ante patógeno.

Preparación del Terreno

Esta estrategia consta en dar vuelta a la tierra para así exponer a las condiciones climáticas a los patógenos y/o raíces infectadas para disminuir el inoculo inicial en la siguiente temporada. (Ackermann, et al 2008)

Eliminación de residuos de cosecha y malezas hospederas

Esta estrategia consta de terminando el ciclo del cultivo eliminar o sacar los residuos infectados de la cosecha anterior y malezas hospederas ya que la mayoría de patógenos que infectan al trigo tienen alguna fase que resiste a las inclemencias del tiempo en estos esperando al siguiente ciclo del cultivo y empezar una infección nuevamente. (NOM-081-FITO-2002)

Control Químico

Estrategia preventiva. (Pereyra, Díaz 2011)

Esta estrategia consiste en aplicar fungicidas cuando se detecta que la infección está empezando o tiene las condiciones para empezar.

Estrategia curativa (Pereyra, Díaz 2011)

Esta estrategia consiste en aplicar fungicidas cuando la infección ya representa un peligro para el cultivo.

Control natural

Para las enfermedades de la raíz se utilizan organismos benéficos como *Trichoderma* spp o *Bacillus* spp en el momento de la siembra se inoculan en la semilla para proteger al cultivo.

Hongos asociados a la secadera del trigo

CESAVEG, 2018 reportó que en la región del bajo mexicano los principales agentes causales de la secadera de trigo son un complejo de especies de *Fusarium* spp de las cuales las especies con más incidencia son *F. proliferatum*, *F. tricinctum*, *F. verticillioides*, *F. oxysporum* y *F. graminearum*.

Importancia Económica de la Secadera del Trigo

Importancia a nivel mundial

A nivel mundial, en Canadá y América del Norte, las pudriciones de la raíz y corona en trigo causadas por hongos ocasionan pérdidas del rendimiento hasta del 6%. Para pudriciones de raíz causadas por *Fusarium* spp., mencionan reducciones del rendimiento en trigo invernal hasta de 35% (1600 kg = 219 dólares/ha) y del 61% cuando el suelo fue inoculado con el patógeno. También mencionan que uno de los factores que ayuda al incremento de inóculo es la labranza cero, el monocultivo y la permanencia del rastrojo en el terreno (Wiese, 1987).

En Australia, las pudriciones del tallo y raíz en este cereal causan pérdidas estimadas en 56 millones de dólares australianos cada año En el Noreste de Irán la pudrición de la corona ha causado pérdidas de hasta 45% y en Turquía del 43%. Según lo reportado, bajo incidencia severas se pueden tener pérdidas de hasta 50% por *F. graminearum* cuando este hongo ataca la raíz y tallo del trigo (SAGARPA-INIFAP, 2018)

Importancia en México

En México no se tienen reportes de las pérdidas que ocasionan los hongos que atacan la raíz y el tallo en trigo, en El Bajío, a partir de parcelas experimentales que ha establecido el INIFAP-CEBAJ en zonas donde la enfermedad incide de forma natural, se han estimado pérdidas de rendimiento que van de un 11 a 30% cuando

a la planta no se le da ningún tipo de control. Además de las pérdidas de rendimiento de grano que ocasiona la secadera, también puede ocasionar un crecimiento menor de las plantas, se reduce el número de macollos, se produce una madurez prematura y se obtiene grano en menor 10 cantidad y de menor peso. Se ha observado que la semilla, que proviene de plantas que presentaron síntomas de la enfermedad, está contaminada con micotoxinas que pueden ser perjudiciales para el ser humano o para los animales. (SAGARPA-INIFAP, 2018).

Generalidades del género *Fusarium* en la agricultura

Fusarium es un género de hongos filamentosos que contiene muchos agrónomicamente importantes patógenos vegetales, productores de micotoxinas y patógenos (Leslie and Summerell 2008).

Los hongos del género *Fusarium* son ascomicetos filamentosos y cosmopolitas, tienen un micelio bien desarrollado, septado y conidióforos característicos, aunque algunas especies tienen un talo unicelular. Debido a la abundancia y gran importancia económica de los miembros de este género, es fundamental que las determinaciones de sus diversas especies sean exactas (Ma *et al.*, 2013)

Las enfermedades de las plantas causadas por *Fusarium* incluyen plagas destructivas de los cultivos de cereales en los principales países productores del mundo, marchitez y pudrición de las raíces de los cultivos (Leslie and Summerell, 2008)

Taxonomía de cada especie de hongo causante de la secadera del trigo

(EPPO, 2020)

Reino: Fungi

Phylum: Ascomycota

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Nectriaceae

Género: *Fusarium*

Especies: *proliferatum*.

tricintum

verticillioides.

oxysporum.

graminearum

Micotoxinas generadas por cada especie de hongo causante de la secadera del trigo

F. proliferatum.

Las fumonisinas B1 y B2 son las principales micotoxinas producidas por *F. proliferatum*, en la actualidad no existe mucha evidencia sobre sus formas derivadas. La Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer a clasificado a este grupo de micotoxinas en el grupo 2B, como posiblemente carcinógenas para las personas. Existen 15 tipos de fumonisinas, agrupadas en cuatro categorías; las más conocidas son la FB1, FB2 y FB3, de las cuales la FB1 es la más tóxica y representa aproximadamente 70% de la fumonisina total. (Sanchez ,Carrillo, 2010).

F. verticillioides.

Las fumonisinas son una nueva clase de micotoxinas estructuralmente relacionadas que han sido recientemente caracterizadas a partir de cultivos de maíz de *Fusarium moniliforme* en Sudáfrica. (Leslie, Summerell, 2008)

Se ha demostrado que la fumonisina B1 es la responsable de la leucoencefalomalacia equina y el edema pulmonar porcino. Así mismo se ha citado su capacidad hepatotóxica y hepatocarcinogénica en ratas, y se ha correlacionado estadísticamente su presencia en alimentos con la prevalencia de cáncer de esófago en el hombre. (Torre *et al.*, 2014)

F. oxysporum.

La zearalenona presenta un efecto estrogénico por lo que una ingesta dietética constante conduce a hiperestrogenismo con todos sus síntomas y consecuencias como el aumento de peso del útero, hipertrofia de la vagina, vulvovaginitis, mamitis, desarrollo precoz de mamas (telarquia precoz), trastornos del ciclo menstrual, cambios patológicos en los ovarios, falsos embarazos, abortos y esterilidad en hembras; o hipertrofia de glándulas accesorias y desarrollo de características secundarias femeninas en los machos. También hay razones para creer que la zearalenona es la causa de la aparición de cambios de la pubertad temprana en niños (Salazar, 2016)

La Fumonisina B1 es hepatotóxica y nefrotóxica en todas las especies animales probadas. Los primeros cambios histológicos que aparecen el hígado o riñones de los animales tratados con fumosinina son la apoptosis seguida por proliferación de células regenerativas. Mientras que la toxicidad aguda de fumonisina es baja, es la causa conocida de dos enfermedades que se presentan en animales domésticos con inicio rápido (Sanchez,Carrillo, 2010)

F. graminearum

Las zearalenonas son micotoxinas producidas por diversas especies de hongos del género *Fusarium*, entre las cuales destacan: *F. culmorum*, *F. graminearum* y *F. crookwellense*. Estas especies de hongos son conocidas por colonizar los cereales y tienden a desarrollarse en condiciones de humedad y frío durante el cultivo o la cosecha del cereal. (Fraile.2011)

Esta micotoxina tiene actividad estrogénica, por lo que los síntomas afectan el proceso reproductivo, dependiendo del sexo y de la edad de los animales afectados los cuales van desde provocar abortos o disminución de la ovulación. (Fraile.2011)

MATERIALES Y METODOS

Localización del Experimento

Este experimento se desarrolló en dos fases la fase de campo se desarrolló en el mes de abril 2021 en los predios pertenecientes al pozo “Las Jaras” de la comunidad San Rafael de la Maraña municipio de Pénjamo, Guanajuato. (Figura 1) La de laboratorio se desarrolló en los meses de Septiembre-Diciembre 2021 en los laboratorios del departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)



Figura 1. Predios pertenecientes al pozo “Las Jaras”

Selección del Predio

Para la selección del predio se monitorearon 16 predios pertenecientes al pozo “Las Jaras” sembrados con trigo el monitoreo empezó en el inicio de la fase de floración y se continuo con recorridos de monitoreo una vez por semana hasta que los síntomas fueron más evidentes en las plantas. (Figura 2)



Figura 2. Predio seleccionado



Figura 3. Síntomas encontrados en el predio seleccionado

Toma de Muestras

Se realizó un muestreo dirigido en tres puntos del predio de donde se colectaron las muestras las cuales median aproximadamente 20 x 20 cm a una profundidad de 15 cm , así formando dos muestras compuestas , dicho material se colecto en bolsas plásticas de las cuales una se mantuvo en refrigeración y la otra a temperatura ambiente, las muestras se trasladaron a los laboratorios del departamento de Parasitología de la UAAAN para su procesamiento.

Preparación de Medio de Cultivo

En dos matraces es de 1 L se agregó 35.1 gr de PDA sintético en cada uno, posteriormente se añadió 900 ml de agua destilada caliente para favorecer su disolución, tapando el matraz con papel aluminio y este se agitó de manera constante para que de este modo se disolviera. A continuación, se colocó en la olla de presión a 120 ° C por 15 min para su esterilización, dejándolo enfriar por 45 min, después se vació frente a un mechero en cajas Petri, para su solidificación.



Figura 4. Preparación de medio de cultivo

Procesado de Muestras

Para cada una de las muestras se pesó un gramo de suelo (Figura 5) el cual se agregó a un tubo de ensayo con 10 mL de agua destilada estéril, con ayuda de un agitador vortex se homogenizo la mezcla (disolución 10^{10}) a la cual con micro pipeta se extrajo 1 mL el cual se vertió a un tubo de ensayo con 9 mL de agua destilada estéril nuevamente con ayuda de un agitador vortex se homogenizo la mezcla (disolución 10^9) se repitió esto mismo hasta llegar a la disolución 10^6 en cada una de las muestras.

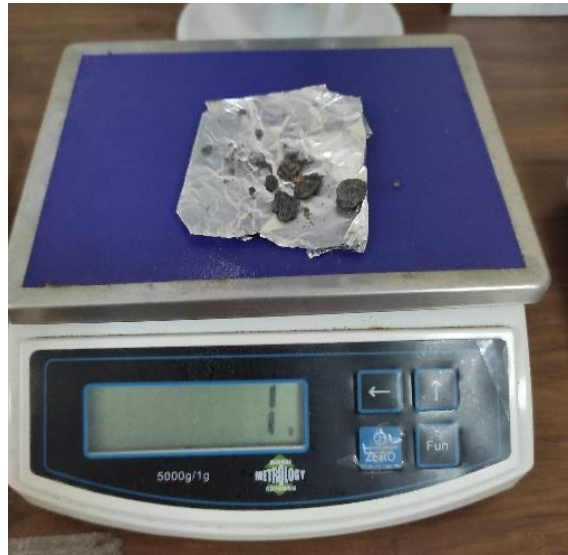


Figura 5. Pesaje de suelo no refrigerado

De las diluciones 10^8 , 10^7 y 10^6 con ayuda de una micro pipeta se vertió en medio PDA y con una varilla estéril se dispersó, por cada placa Petri con medio de cultivo PDA, sellándose las placas con cinta clean pack y llevándolas a una incubadora a temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, de cada disolución de suelo refrigerado se realizaron 6 repeticiones y de cada disolución de suelo sin refrigerar se realizaron 6 repeticiones.

Para las muestras de raíz se eliminó el suelo de las muestras, se esterilizaron con hipoclorito de sodio al 3% durante 3 min, se retiraron y después se enjugaron tres veces durante 1 min en agua destilada estéril después se hicieron cortes de $\pm 1\text{ cm}$ (tejido dañado y sano) y con una pinza estéril se colocaron cuatro cortes de manera equidistante por cada placa Petri con medio de cultivo PDA, sellándose las placas con cinta clean pack y llevándolas a una incubadora a temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 5 días, dando un total de 20 réplicas, 10 de raíz refrigerada y 10 de raíz sin refrigerar.



Figura 6. Desinfección de raíces



Figura 7. Cortes de raíz

Purificación y multiplicación de Muestras

Se purificaron las muestras con crecimiento fúngico mediante el uso de explantes de cada colonia de hongos que creció por cada caja de Petri con la ayuda de un sacabocados estéril se retiró un explante y se transfirió a una nueva placa de Petri

con PDA sintético, las cuales se sellaron con cinta clean pack y se llevaron nuevamente a la incubadora, este paso se realizó dos veces

Preparación de Laminillas

Con ayuda de una aguja de disección se tomó una pequeña porción del hongo y se colocó en un portaobjetos con lacto fenol y se observó en el microscopio compuesto con los objetivos de 5x, 10x y 40x, se hicieron laminillas de todas las repeticiones para poder descartar las muestras que no presentaran similitud con el género *Fusarium* según Leslie, Summerell (2008).

Envío de Muestras

Las muestras se mandaron ya purificadas y selladas por paquetería al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPYCIT) para la extracción de DNA y PCR.

RESULTADOS

Selección de Muestras

Se descartaron las muestras con crecimiento de contaminación o nulo crecimiento micelial.

Para la segunda selección solo se purificaron y multiplicaron las muestras que presentaban parecido con el género *Fusarium* (Leslie, Summerell 2008), las muestras seleccionadas fueron: raíz refrigerada R1, raíz refrigerada R5 y raíz refrigerada R3 las cuales fueron etiquetadas con F1, F2 y F3 respectivamente.

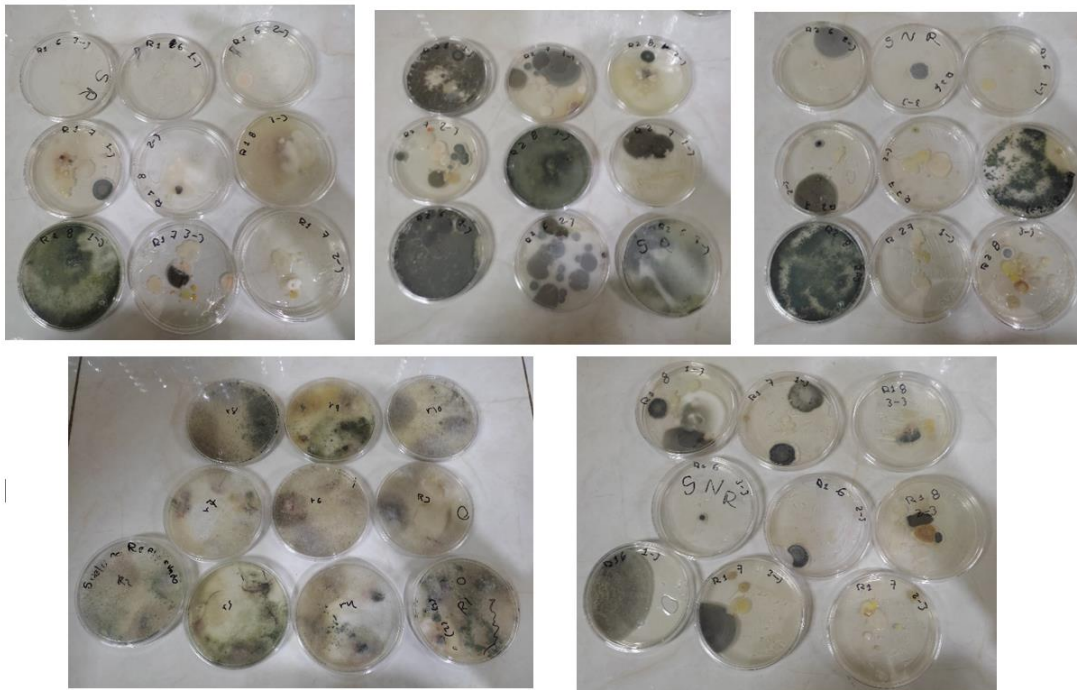


Figura 8n. Muestras descartadas

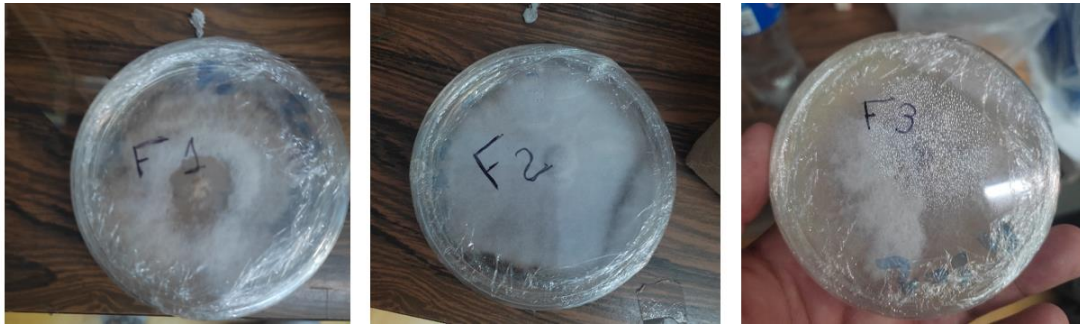


Figura 9. Muestras ya multiplicadas, purificadas y etiquetadas

Identificación Molecular

Con las secuencias proporcionadas por el IPYCIT se compararon con las disponibles en la base de datos del Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI), usando la herramienta BLAST para secuencias altamente similares. (Cuadro 3).

Una vez obtenidos los resultados de la identificación molecular se procedió a realizar una descripción microscópica de las cepas aisladas.

Cuadro 3. Datos de la identificación molecular de cada especie de *Fusarium*

Código	Patógeno	Puntaje máximo	Puntaje total	% identidad	Llave de acceso*
F1	<i>F. incarnatum</i>	946	946	99.24	ON226997.1
F2	<i>F. oxysporum</i>	920	920	99.03	MN737770.1
F3	<i>F. proliferatum</i>	880	880	97.30	MK748309.1

Descripción microscópica

En las cepas aisladas sólo de la raíz refrigerada (R1, R5 y R3) se observaron colonias aplanadas de crecimiento lento de diferentes pigmentaciones, con microconidios hialinos en forma de forma oval ligeramente aplanados en cada una, sin embargo, las cepas también presentan macroconidios curvos a casi rectos; septos con basocelular en forma de pie, además se presentan con clamidosporas, características determinantes para especies del género *Fusarium*. La cepa con el código F1 (repetición 1) presentó estructuras como micro y macroconidios, mesoconidias y clamidosporas, la F2 (repetición 5) presentó sólo micro y macroconidios y clamidosporas, la F3 (repetición 3) con macroconidios rectos a ligeramente curvos y en abundancia (Leslie, Summerell 2008), (Figura 11).

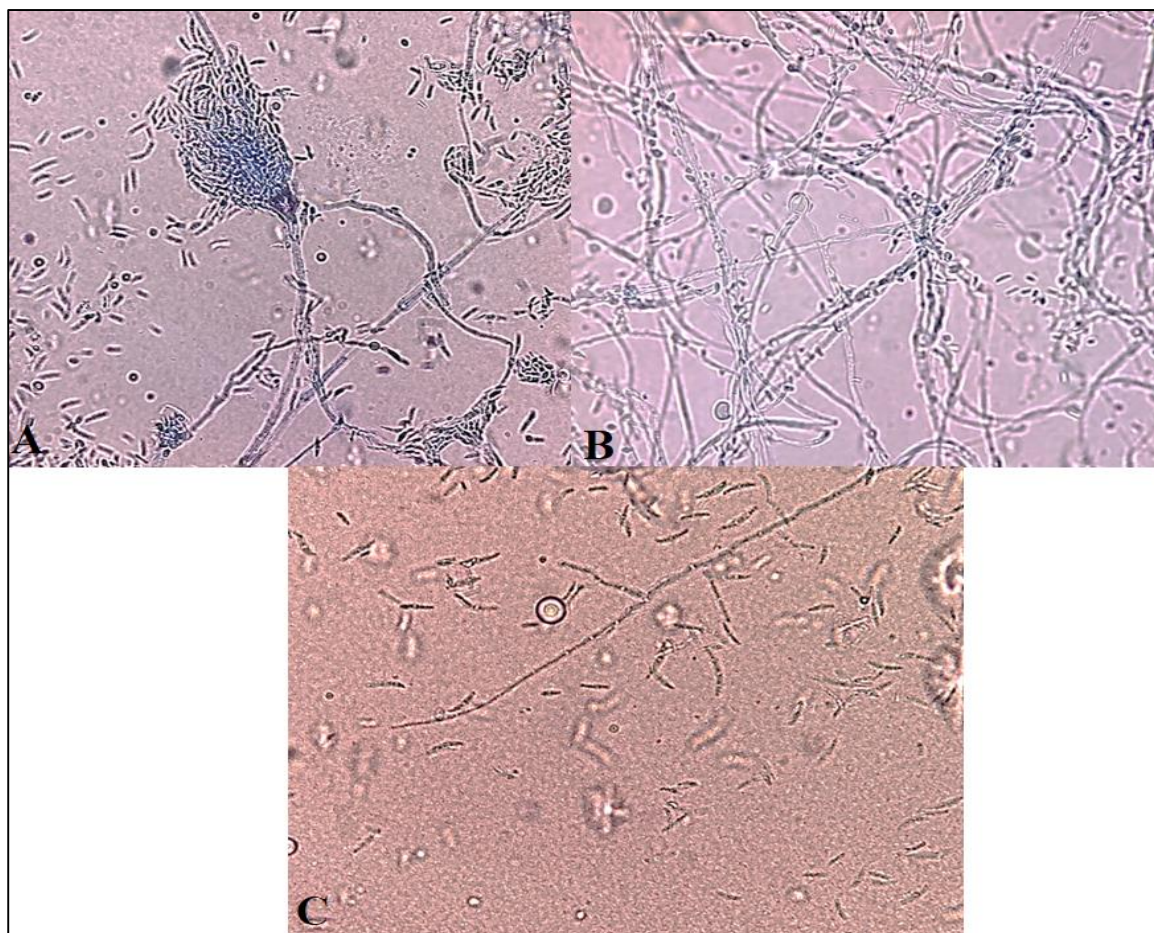


Figura 11. Especies de *Fusarium* identificadas. A= *F. incarnatum*, B= *F. oxysporum*, C= *F. proliferatum*

DISCUSION

Los patógenos que fueron aislados en laboratorio concuerdan con la morfología descrita por Leslie y Summerell (2006). El género *Fusarium* incluye especies que afectan los cereales y son de alta preocupación para la producción agrícola y la seguridad de los alimentos en todo el mundo (Desjardins, 2006). Los patógenos aislados e identificados en laboratorio concuerdan con lo reportado en otras enfermedades del trigo, por ejemplo, Martínez (2018) menciona a especies de *Fusarium* causantes del tizón de la espiga del trigo en el noroeste de México, como son: *F. proliferatum*, *F. oxysporum* y *F. incarnatum* con 2, 16 y 14% de incidencia, respectivamente.

Por otro lado, Castillo *et al.* (2017) también reportan a *F. proliferatum* y *F. oxysporum* como agentes causales del amarillamiento del trigo en el sur del Bajío guanajuatense, igualmente Medina-Mendoza *et al.* (2014) reportaron una situación muy similar en aislamientos de *Fusarium oxysporum* y *Fusarium incarnatum* obtenidos de plantas de garbanzo *Cicer arietinum* L. (Fabaceae) también la zona del Bajío.

Stepień *et al.* (2011) mencionan que *F. proliferatum* es una especie cosmopolita, que ataca a una amplia cantidad de especies vegetales en que incluyen cultivos como el de piña *Ananas comosus* L. (Bromeliaceae), espárrago *Asparagus officinalis* L., (Asparagaceae) etc. Vega (2013) reportó a *F. proliferatum* como uno de los principales agentes causales necrosis de raíz de trigo en la zona de Pénjamo, Guanajuato, mientras que Malaissi (2016) reportó a *F. oxysporum* como uno de los agentes causales del Fusariosis de la espiga de trigo en Argentina, cabe señalar *F. oxysporum* es uno de complejos causantes de tizón de la espiga del trigo en México (Cerón, 2014)., Chen, 2021 reporta a *F. incarnatum* como responsable de la pudrición del tallo *Gerbera jamesonii* Bolus (Asteraceae).

CONCLUSION

Se identificaron tres especies de *Fusarium* a partir de muestras de raíz refrigerada, las cuales fueron; *Fusarium incarnatum*, *Fusarium oxysporum* y *Fusarium proliferatum*.

BIBLIOGRAFÍA

- Carris, L. M., Castlebury, L. A., Goates, B. J. 2006. Nonsystemic bunt fungi-- *Tilletia indica* and *T. horrida*: a review of history, systematics, and biology. Annual review of phytopathology, 44, 113–133.
- Castillo Rangel-, A. E., Valadez-Moctezuma, E., Lozoya-Saldaña, H. 2017. Caracterización molecular y patogénesis de *Fusarium* asociado al amarillamiento del trigo. Revista Fitotecnia Mexicana, 40(4), 439-450
- Cerón, B. M. 2014. Caracterización morfológica y molecular de especies de *Fusarium* causantes del tizón de la espiga del trigo en México (Master's thesis). <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/4192>
- Chen, S., Yuan, H. y Yan, X. (2021). Primer informe de pudrición del tallo y la raíz por fusarium de gerbera jamesonii causada por fusarium incarnatum en China. Enfermedad de las plantas, 105 (12), 4161.
- Chen, W., Wellings, C., Chen, X., Kang, Z., Liu, T. 2014. *Puccinia striiformis*, yellow rust. Molecular Plant Pathology, 15, 433-446.
- Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato, A. C. (CESAVEG). 2018. Manejo de secadera en trigo y cebada. Desplegable informativa. www.cesaveg.org.mx
- De Ackermann, M. D., Pereyra, S., & Germán, S. (2008). Manejo sanitario de trigo y cebada. Jornada de Cultivos de Invierno, 9.
- DE, M. E. E. O. R. Norma Oficial Mexicana NOM-081-FITO-2002, Manejo y eliminación de focos de infestación de plagas, mediante el establecimiento o reordenamiento de fechas de siembra, cosecha y destrucción de residuos.
- DGSV-CNRF. 2020. Podredumbre de raíces por *Fusarium* spp (Hypocreales: Nectriaceae) en maíz. Sader-Senasica. Dirección General de Sanidad Vegetal-

- Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Ficha técnica. Tecámac, Estado de México, 15 p
- DGSV-CNRF. 2020. *Puccinia striiformis* f. sp. tritici. Sader-Senasica. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Ficha técnica. Tecámac, Estado de México, 21 p.
- Domínguez, C. 2016, Trigo mexicano predomina en campos agrícolas del mundo, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), <http://conservacion.cimmyt.org/index.php/es/boletin-ac/2016/1917-trigo-mexicano-predomina-en-campos-agricolas-de-todo-el-mundo> (22/Febrero/2022)
- DPHQ. 2001. Technical Manual Karnal Bunt. Compiled by the Division Plant Health Promotion. Directorate of Plant Health and Quality (DPHQ). Published in the Republic of South Africa by the Department of Agriculture. South Africa, pp. 4 y 5.
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). 2002. EPPO Global Database. *Puccinia triticina* (PUCCRT). En línea: <https://gd.eppo.int/taxon/PUCCRT> Fecha de consulta: 7 de agosto de 2020
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). 2002. EPPO Global Database. *Tilletia indica* (NEOVIN). En línea: <https://gd.eppo.int/taxon/NEOVIN> Fecha de consulta: 7 de agosto de 2020
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). 2002. EPPO Global Database. *Puccinia striiformis* f. sp. Tritici (PUCCSI). En línea: <https://gd.eppo.int/taxon/PUCCSI> Fecha de consulta: 2 de septiembre de 2022
- EPPO. 2020. Fusarium. <https://gd.eppo.int/taxon/1FUSAG>
- Fraile, E. (2011). Principales micotoxicosis en el ganado ovino. *MG Mundo ganadero*, 22(236), 86-90.
- Hernández, O. S. 2002. Especies de *Fusarium* Causantes de la Roña de la Espiga de Trigo (*Triticum aestivum* L) en Cinco Localidades de México. UAAAN. Saltillo Coahuila. Páginas 4, 22.
- Krishna, A., Singh, R. A. 1982. Efecto de factores físicos y químicos en la germinación de teliosporas de *Neovossia indica*. *Fitopatología india*, 35(3):448-455
- Leslie, J.F., Summerell, B A. 2008. El manual de laboratorio de *Fusarium*. John Wiley & Sons.

- Leyva, M. S. G., Vega, P. H. E., Villaseñor, M. H. E., Tlapal, B. B., Vargas, H. M., Camacho, T. M., Tovar, P. J. M. 2017. Caracterización de especies de *Fusarium* causantes de pudrición de raíz del trigo en El Bajío, México. Chilean. J. Agric. Anim. Sci.
- López, H Achicanoy. 2001. Estrategias integradas para el control de enfermedades de las plantas. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 54 (1 y 2), 1251–1273.
[https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24365.\(29/06/2022\)](https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24365.(29/06/2022))
- Ma, Geiser, LJ, DM, Proctor, RH, Rooney, AP, O'Donnell, K., Trail, F., ... Kazan, K. 2013. Patogenia de *Fusarium*. Annu Rev Microbiol, 67 (1), 399-416.
- Malaisi, T. 2016. Fusariosis de la espiga de trigo: las malezas como fuente de inóculo (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Martínez, E. 2018. Caracterización morfológica y molecular de especies de *Fusarium* causantes del tizón de la espiga del trigo en el noroeste de México (Master's thesis).
- Mboup, M., Leconte, M., Gautier, A., Wan, A. M., Chen, W. Q., de Vallavielle-Pope, C., Enjalbert, J. 2009. Evidence of genetic recombination in wheat yellow rust population of a Chinese 19 over-summering area. Fungal Genetics and Biology, 46: 299-307.
- Medina-Mendoza, C., Beltrán-Ríos, G. M., López-López, A., ZelayaMolina, L. X., Valadez-Moctezuma, E. 2014. Characterization and identification of *Fusarium* species complexes affecting chickpea with total protein profiles, EF-1 α gen. Annual Research & Review in Biology 4:3513-3523.
- Mycobank. 2016. *Tilletia indica*. General information, Classification and associated taxa. <http://www.mycobank.org/BioloMICS.aspx?TableKey=14682616000000067&Rec=123982&Fields=All>
- Nicolaisen, M., Suproniené, S., Kaergaard, L., Lazzaro, I., Spliid, N., Justesen, A. 2009. Real time PCR for quantification of eleven individual *Fusarium* species in cereals. Journal of Microbiological Methods 76(3), 234-240.
- Pereyra, S., & Germán, S. (2012). Manejo de enfermedades en trigo y cebada en un contexto de márgenes reducidos. *Jornada Cultivos de Invierno, Mercedes, Soriano, UY). La Estanzuela, INIA Serie Actividades de Difusión, (677), 15-25.*

- Riley, M. B., Williamson, M., Maloy, O. 2002. Diagnóstico de enfermedades en Plantas. <https://www.apsnet.org/edcenter/disimpactmngmnt/casestudies/Pages/DiagnosticoEnfermedadesPlantas.aspx>
- Rodríguez, G. M. F, Huerta, E. J., Villaseñor, M. H. E., Solís., M. E. (ni). Virulencia de la roya amarilla del trigo en las principales zonas productoras de riego en México. *Agricultura Técnica en México*, 35(2): 179-187.
- Roelfs, A. P., Singh, R. P., Saari, E. E. 1992. *Rust Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management*. Mexico, DF: CIMMYT.
- SADER-SENASICA. 2019. Carbón parcial del trigo *Tilletia indica* Mitra Ficha Técnica No. 24. 2019.
- Salazar, G. C. E. 2016. Caracterización molecular y morfológica de aislamientos de *Fusarium* spp. productores de micotoxinas, tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agropecuarias Palmira, Colombia.
- Sánchez, T. L., Carrillo, L. L. 2010. Consumo de fumonisinas y daños a la salud humana. <https://www.medigraphic.com/pdfs/salpubmex/sal-2010/sal105k.pdf>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (2018) Manejo Integrado de la Secadera del Trigo en el Bajío [Folleto]. (29/06/2022)
- Senasica, 2019. Carbón parcial del trigo *Tilletia indica* Mitra Ficha Técnica No. 24. El Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. 16.
- SIAP, 2022, Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2019 <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. (21/Febrero/2022)
- SIAP, 2022, Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2020 <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. (21/Febrero/2022)
- SIAP. 2017. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Ciclo agrícola 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. En línea: http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola.siap_gb/ientidad/index.jsp. Fecha de consulta: 16 de febrero de 2017.k
- Singh RP, Huerta-Espino J. 1997. Effect of leaf rust resistance gene Lr34 on grain yield and agronomic traits of spring wheat. *Crop Science*, 37: 390-395.

- Statista,2022. Ranking de los principales productores de trigo en el mundo en 2021/2022. <https://es.statista.com/estadisticas/634804/principales-paises-productores-de-trigo-en-el-mundo/>. (28/06/2022)
- Stepień L., G. Koczyk and A. Waśkiewicz (2011) Genetic and phenotypic variation of *Fusarium proliferatum* isolates from different host species. *Journal of Applied Genetics* 52:487-496.
- Torre -Hernández Ma. Eugenia, Diana Sánchez-Rangel, Eduardo Galeana-Sánchez y *Javier Plasencia-de la Parra (2014). Fumonisin –síntesis y función en la interacción *Fusarium verticillioides*-MAÍZ. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 17, 91.
- Trenholm, L., Prelusky, D. B. Young J. C., Miller, J. D. 1990. La reducción de micotoxinas en alimentos para animales. Publicación No. 1827 de Agricultura de Canada. México. D. F. CIMMYT.
- Vega Portillo, H. E. (2013). Especies de *Fusarium* spp. causantes de la espiga blanca y pudrición de la raíz de trigo (*Triticum aestivum* L.) en el Bajío, México (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma Chapingo).
- Wiese, M.V. 1977. Compendium of wheat diseases. The American Phytopathological Society. St Paul, Minnesota. USA.
- Wiese, M.V. 1987. Compendium of Wheat Diseases 2 Ed. APS Press, St.Paul,Minnesota, USA, 112pp
- Yara,2020. La producción mundial de trigo <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/trigo/la-produccion-mundial-de-trigo/#:~:text=El%20trigo%20es%20el%20grano,toneladas%20de%20producto%20almacenado%20anualmente>. (28/06/2022)