

FICHA TÉCNICA

Fusarium spp.

(Hypocreales: Nectriaceae)

Podredumbre de raíces



Créditos: Bayer Crop Science, 2020.



CONTENIDO

IDENTIDAD DE LA PLAGA	1
Nombre científico	1
Clasificación taxonómica	1
Nombres comunes	1
ESTATUS FITOSANITARIO	1
DISTRIBUCIÓN MUNDIAL	1
IMPORTANCIA ECONÓMICA	1
CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	2
HOSPEDANTES	3
BIOLOGÍA Y HÁBITOS	3
Requerimientos de desarrollo	4
Ciclo de vida	4
SÍNTOMAS	5
ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS	7
Dispersión	7
MEDIDAS FITOSANITARIAS	8
Control cultural	8
Control biológico	9
Control químico	9
LITERATURA CITADA	11



IDENTIDAD DE LA PLAGA

Nombre científico

Fusarium spp.
(EPPO, 2020)

Clasificación taxonómica

Phylum: Ascomycota

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Nectriaceae

Género: *Fusarium*

Especie: *F. culmorum*

F. graminearum

F. proliferatum

F. pseudograminearum

F. avenaceum

F. acuminatum

F. equiseti

(EPPO, 2020)

Nombres comunes

- Pudrición de la raíz por fusarium
- Pudrición de las raíces

(Paulitz et al., 2002; Cook, 2010; Beccari et al., 2011; Scherm et al., 2013; Wang et al., 2015; Moya-Elizondo et al., 2015).

ESTATUS FITOSANITARIO

De acuerdo con la Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias No. 8 "Determinación de la situación de una plaga en un área" (CIPF, 2017), *Fusarium* spp., se encuentra **Presente** en México. *Fusarium graminearum* y *F.*

proliferatum son las principales especies identificadas causantes de pudrición de la raíz por fusarium en trigo cultivado en el Bajío de México (Leyva-Mir et al., 2017).

DISTRIBUCIÓN MUNDIAL

La pudrición de la raíz por fusarium es una enfermedad con origen en el suelo (Moya-Elizondo, 2013). *Fusarium* spp. está ampliamente distribuido en diferentes tipos de suelo, comúnmente asociados con plantas y raíces (Silvestro et al., 2013). La pudrición de la raíz se encuentra entre las enfermedades más nocivas y extendida en trigo en todo el mundo (Hogg et al., 2010; Scherm et al., 2013), algunas especies se han reportado en Estados Unidos (Smiley y Patterson, 1996; Smiley et al., 2005), Canadá (Fernandez y Zentner, 2005; Mishra et al., 2006), Italia (Handiseni et al., 2017), Sudáfrica (Ferreira et al., 2015), Turquía, Irán, Iraq, Siria (Saremi et al., 2007; Tunali et al., 2008; Hameed et al., 2012; Alkadri et al., 2013; Pouzeshimiab et al., 2016), China, Corea, Japón (Suga et al., 2008; Lee et al., 2012; Zhang et al., 2015; Ji et al., 2016), Túnez, Egipto, Marruecos (Gargouri et al., 2011; Kammoun et al., 2009), Sudamérica (Castañares et al., 2012), Australia (Akinsanmi et al., 2004) y Nueva Zelanda (Cromey et al., 2006).

IMPORTANCIA ECONÓMICA

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es el segundo cereal más importante en la alimentación de los mexicanos con un consumo de 56 kg per cápita al año. En 2018 el volumen de la

producción nacional fue de 2 millones 943 mil 445 toneladas en una superficie de siembra de 543 mil hectáreas. El estado de Sonora es el principal productor de trigo, aportando el 49% del total de la producción, seguido de Guanajuato y Baja California (SIAP, 2019).

La movilización del trigo pueden transportar organismos que provocan problemas al cultivo en campo y afectan la calidad al procesar el grano, siendo *Fusarium* spp. uno de los principales focos de infección. Ivic *et al.* (2009), encontraron que entre el 5 y 69 % de las semillas de trigo estaban contaminadas con varias especies de hongos del género *Fusarium*, causantes de pudriciones de tallo y raíz. La pudrición de la raíz por fusarium en trigo es una enfermedad fúngica causada por *Fusarium* spp., se entiende a menudo como una consecuencia de la infección inicial de la base del tallo (Knudsen *et al.*, 1995) o de semillas contaminadas (Wang *et al.*, 2006). Ocurre en muchas regiones del mundo y causan pérdidas significativas de rendimiento, particularmente donde prevalecen las condiciones climáticas secas y donde se utilizan labranza mínima, retención de rastrojo y prácticas agrícolas de conservación, siendo la semilla la principal fuente de inóculo (Beccari *et al.*, 2011).

Aunque la pudrición de la raíz se considera generalmente como la enfermedad principal causada por patógenos con origen en el suelo (Raaijmakers *et al.*, 2008), el patrón de la

enfermedad y la respuesta del trigo son todavía poco comprendidos, independientemente de si son causados por *F. graminearum* u otras especies de *Fusarium*.

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

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

Las características microscópicas de *Fusarium* spp. varían dependiendo del medio de cultivo en el que se desarrolle. Los cuatro medios utilizados para la identificación de especies de *Fusarium* son: agar de hoja de clavel (Fisher *et al.*, 1982), agar de dextrosa de papa (PDA) [Nelson *et al.*, 1983], medio KCl (Fisher *et al.*, 1983) y agar de suelo (Klotz *et al.*, 1988). El medio PDA permite observar la morfología de la colonia y pigmento (café, rojo, violeta, naranja, gris, blanco) difusible al medio (Figura 1) [Tapia y Amaro, 2014].

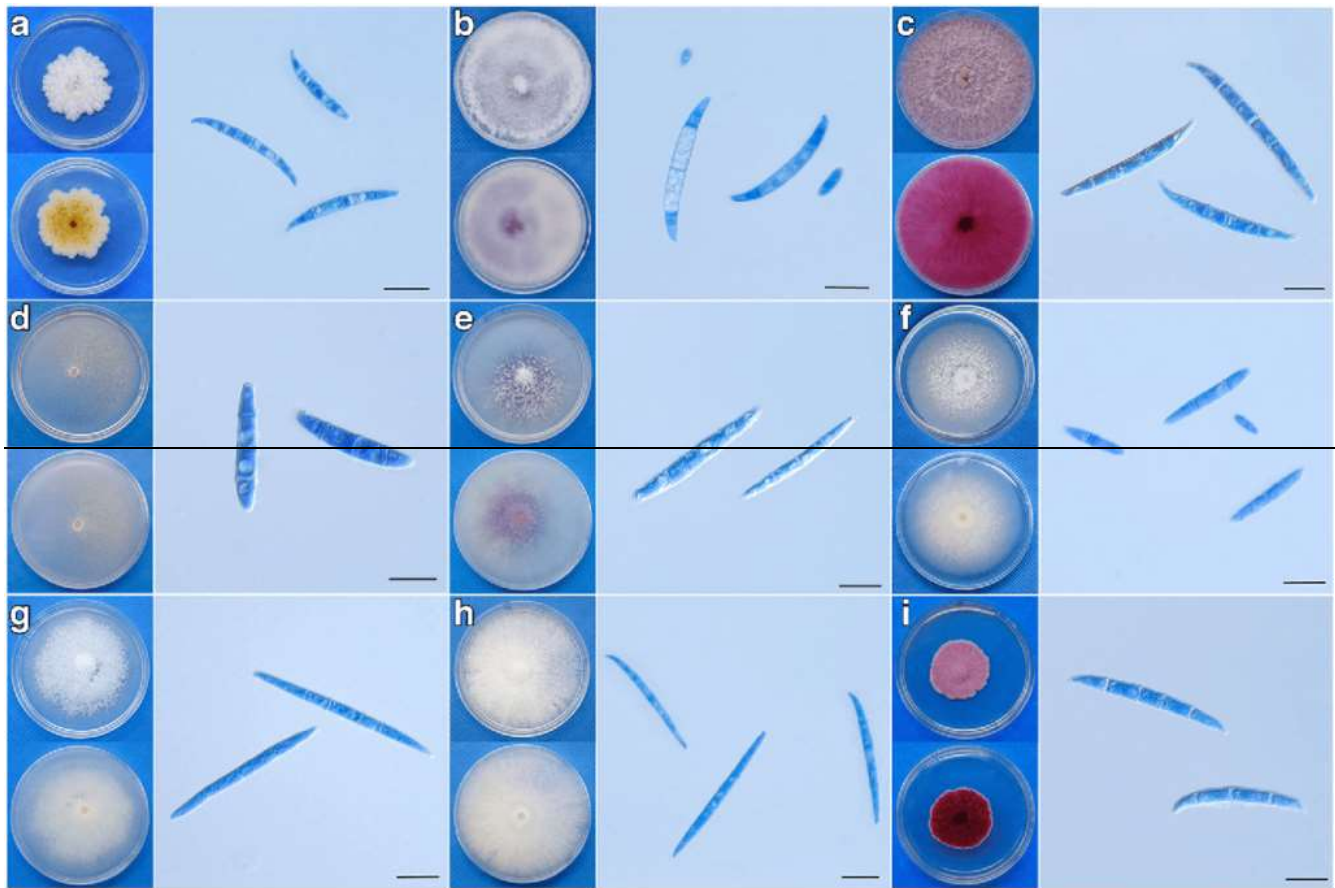


Figura 1: Colonias típicas y macroconidias de aislados de *Fusarium* spp. en medio agar papa-dextrosa y macroconidios en medio de carboximetilcelulosa después de 5 días de crecimiento. a) *F. equiseti*; b) *F. oxysporum*; c) *F. graminearum*; d) *F. solani*; e) *F. commune*; f) *F. verticillioides*; g) *F. proliferatum*; h) *F. fujikuroi*; i) *F. avenaceum*. Barra de escala = 20 μ m. Créditos: Mokobi, 2020.

HOSPEDANTES

Los principales cereales de invierno pueden ser colonizados por *Fusarium* spp. Sin embargo, el principal impacto de este patógeno es sobre el trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y el trigo duro (*Triticum turgidum* L.), de igual manera, cebada (*Hordeum vulgare* L.) y avena (*Avena sativa* L.) pueden infectarse, pero muestra pocos o ningún síntoma de la enfermedad. Además, el patógeno se ha aislado de varios otros géneros de gramíneas, como *Phalaris*, *Agropyron* y *Bromus*, que pueden aparecer

como malas hierbas comunes (Kazan y Gardiner, 2018).

BIOLOGÍA Y HÁBITOS

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

restos de plantas (Booth, 1971; Burgess, 1981; Gordon, 1959).

Las especies de *Fusarium* son saprofitas en algunas de sus fases de crecimiento y pueden o no desarrollar una fase de reproducción sexual según la especie. Se han descrito estados sexuales (teleomorfos) para algunas especies de *Fusarium*. Todos los teleomorfos conocidos de *Fusarium* spp. están incluidos en el orden Hypocreales de Ascomycota (Samuels et al. 2001), pero se han clasificado en varios géneros diferentes (por ejemplo, *Gibberella* y *Nectria*) [Puhalla 1981; Samuels et al. 2001].

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

Requerimientos de desarrollo

Las enfermedades causadas por *Fusarium* spp. pueden ser muy agresivas en climas húmedos; en las zonas donde la humedad es baja, la

infección la causa casi de manera exclusiva el inóculo presente en residuos de cereales infectados que permanecen en el suelo. El patógeno invade directamente la base de los tallos, cerca o debajo de la superficie del suelo, o entra a la planta a través de las raíces (Cook, 2010). Las esporas de hongos luego germinan en el área afectada (herida), favorecida por la alta humedad y temperatura (Mokobi, 2020).

La enfermedad por *Fusarium* spp. es más severa cuando existe un desbalance de nitrógeno en relación con el potasio, sobre todo una disminución de la provisión de nitrógeno en etapas avanzadas del ciclo, y un exceso de nitrógeno en relación al potasio en las primeras etapas (Herbario virtual, 2020). Además, especies del género *Fusarium* producen una diversidad de tipos de micotoxinas, especialmente en granos, las más frecuente son zearalenona, fumonisina, moniliformina y tricotecenos (toxina T-2 / HT-2, deoxinivalenol, diacetoxiscirpenol, nivalenol) [Logrieco et al., 2002; Desjardinsm 2006; Nesic et al., 2014].

Ciclo de vida

Fusarium spp. tiene la capacidad de vivir durante varios años en el suelo o en los restos de plantas, la pudrición de la raíz se observa comúnmente a la mitad o al final de la temporada de crecimiento (FARM, 2020). *Fusarium* spp. hiberna como peritecios (estructura de fructificación sexual) y clamidosporas en restos de hospedadores de

trigo infestados (Adesemoye et al., 2015). Se propaga a través de las líneas de riego y se transmite comúnmente durante el trasplante, especialmente porque esto a menudo causa heridas en las raíces que facilitan la entrada del hongo. Aunque se pueden encontrar muchas esporas en el tallo de una planta infectada, no suelen dispersarse en el aire debido a su composición húmeda; la transmisión a través del agua es mucho más común (FARM, 2020). La infección inicial ocurre en coleóptilo, entrenudos de

subcoronas y raíces primarias y secundarias, también pueden tener lugar a través del hipocótilo, desde donde el hongo coloniza las raíces y los brotes (Malalasekera et al., 1973; Knudsen et al., 1995). Solo estas infecciones iniciales son responsables de la pudrición de las raíces y las patas durante la temporada de crecimiento. Durante el clima húmedo, *Fusarium* spp también puede causar lesiones de color ceniza o marrón en las hojas (Figura 2) [Adesemoye et al., 2015].

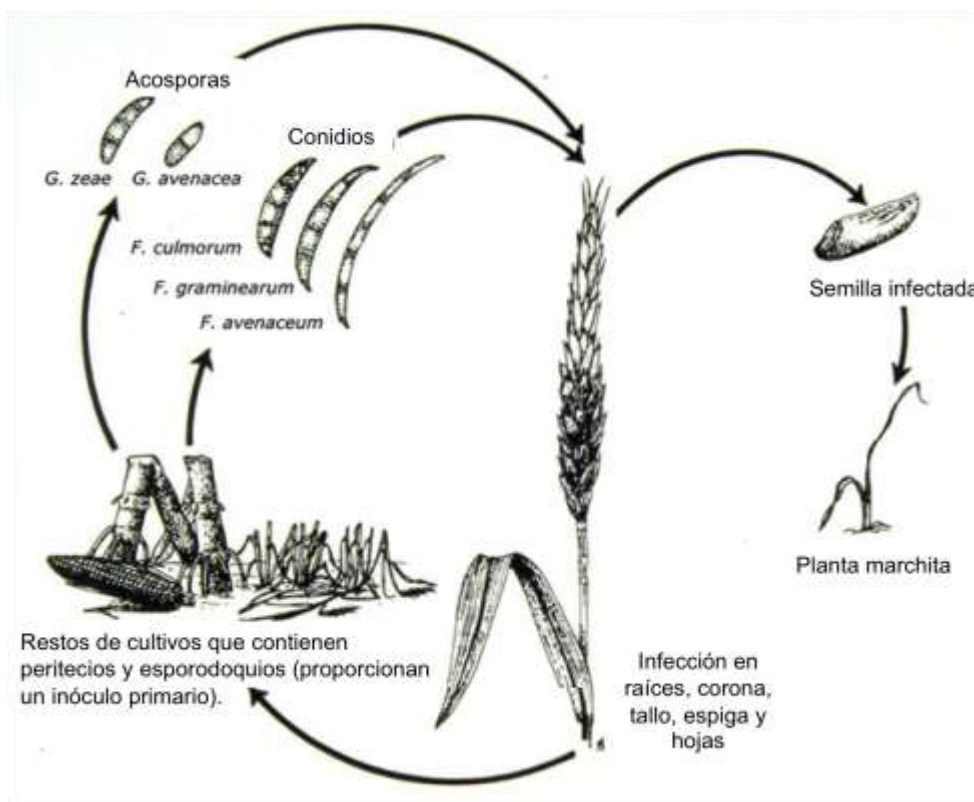


Figura 2: Ciclo de vida generalizado de *Fusarium* spp. Créditos: Trail, 2009.

SINTOMAS

Las plantas infectadas pueden estar atrofiadas y/o cloróticas y ocurrir al azar o pueden verse en parches irregulares en el campo (Figura 3A).

En los campos de trigo afectados pueden observarse focos dispersos de plantas cloróticas (Figura 3B), muertas o moribundas (Adesemoye et al., 2015).

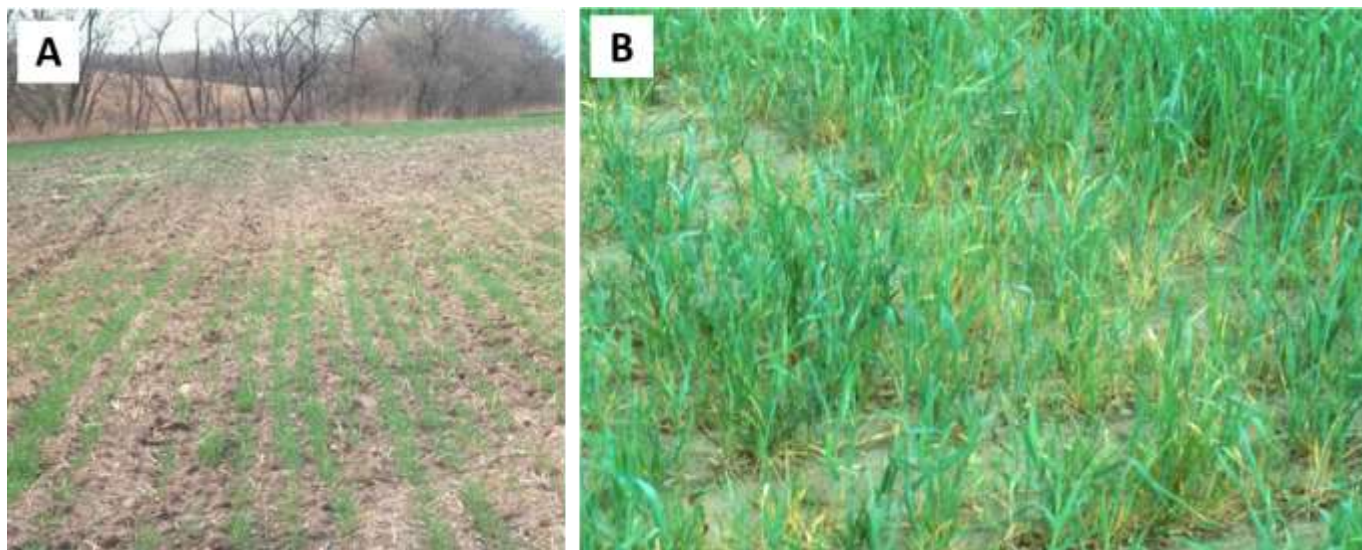


Figura 3: Síntomas causados por *Fusarium* spp. en trigo. A) Parches dispersos de plantas muertas y moribundas y B) Amarillamiento causado por la pudrición de la raíz. Créditos: Adesemoye et al., 2015.

Pudrición de la raíz por fusarium, puede ocurrir en una amplia gama de condiciones del suelo, pero generalmente causa pudrición de la raíz en plántulas y plantas jóvenes en condiciones frescas (14 °C). Los síntomas generalmente se limitan a las raíces y el tallo inferior e incluyen un sistema de raíces más pequeño con menos raíces secundarias (Figura 4A) [Stewart, 2020]. El síntoma más común de la pudrición de la raíz por fusarium es una lesión de color marrón alrededor del nodo de las plantas maduras (Figura 4B), lo que resulta en la pérdida de la masa, un rendimiento

reducido y una menor calidad del grano (Mergoum et al., 1998). La lesión marrón oscuro es un síntoma diagnóstico de la pudrición por fusarium (Figura 4C). Si la enfermedad es grave, las plantas pueden madurar temprano, producir granos marchitos, tener espigas blancas que pueden estar desprovistas de granos y tener un aspecto bronceado o blanqueado, o morir prematuramente. Ocasionalmente, uno o más macollos en una planta pueden morir (Adesemoye et al., 2015).



Figura 4: Síntomas causados por *Fusarium* spp. en trigo. A) Raíces afectadas por pudrición de la raíz (derecha), B) Decoloración en los entrenudos de la subcorona (flechas) y C) decoloración marrón oscuro (flecha). Créditos: Smiley, s/a; Adesemoye et al., 2015.

ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS

La infección se desarrolla en las raíces de alimentación y en lesiones causadas por la formación secundaria de raíces. Las temperaturas de suelo frías (20 °C) favorecen el desarrollo de la enfermedad (Semini, 2020). Los marchitamientos de *Fusarium* spp. son favorecidos por las altas temperaturas del aire y del suelo (24 °C a 30 °C) y la enfermedad puede no ocurrir a bajas temperaturas del suelo (por debajo de 20 °C). Una planta

infectada puede permanecer sin síntomas a temperaturas más bajas (Koike et al., 2019).

Dispersión

Fusarium spp. pasa el invierno durante muchos años en el suelo y en los residuos de cultivos de plantas infectadas como clamidosporas (células de micelio de paredes gruesas) o micelio. El hongo puede sobrevivir en el suelo, en plantas infectadas y en las raíces del huésped, en comparación con los

patógenos que infectan las partes aéreas de las plantas, los procesos por los cuales *Fusarium* spp. infecta a sus huéspedes no se conocen bien (Haruhisa y Hyakumachi, 2004).

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

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

MEDIDAS FITOSANITARIAS

Para las enfermedades causadas por agentes patógenos transmitidos por el suelo, como los marchitamientos de *Fusarium*, que son principalmente de naturaleza monocíclica, los métodos de control deben estar dirigidos a excluir el patógeno, así como a reducir la cantidad y / o eficiencia del inóculo inicial. Las

estrategias deberán incluir (Jiménez-Díaz, 2009; Jiménez-Díaz y Jimenez-Gasco, 2011):

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

Control cultural

Las prácticas de gestión como los genotipos de cereales pueden influir en el desarrollo de la enfermedad y, por tanto, deben tenerse en cuenta en los análisis de gestión de riesgos (Adesemoye et al., 2015; Kazan y Gardiner, 2018; Oregon State University, 2020; Stewart, 2020):

- Sembrar en un semillero firme y suave (los semilleros sueltos promueven enfermedades).
- Eliminar restos de cultivos o rastrojos de plantas infectadas.



- Controlar la maleza que albergan inóculos, esto puede reducir la incidencia de la enfermedad
- Rotar cultivos a plantas no hospederas, sembrar trigo (invierno o primavera) en un suelo cálido (menor a 16 °C) y bien drenado.
- Arar la vertedera, reducir la tasa de siembra y reducir la cantidad de nitrógeno aplicado en el otoño.
- Plantar semillas certificadas (de alta calidad, usar solo semillas sanas y vigorosas, o mediante el tratamiento de semillas (químico o biológico) y adaptadas para el área geográfica. Las semillas infectadas, si no se tratan, pueden dar lugar a plántulas enfermas. El grado que esto ocurre en el campo depende del porcentaje de semillas infectadas y de las condiciones del suelo que afectan el crecimiento y desarrollo de las plántulas (Schmale y Bergstrom, 2003).
- Utilizar prácticas de cultivo que eviten o reduzcan la compactación del suelo y promuevan una humedad favorable del suelo, así como una buena fertilidad del suelo.
- Mantener una fertilidad del suelo equilibrada (evite la fertilización con nitrógeno excesivo, especialmente reduciendo la cantidad de nitrógeno aplicado en otoño).

Control biológico

Los agentes de control biológico, como ciertas cepas de *Bacillus* sp. y *Trichoderma* spp., han brindado una protección significativa contra *Fusarium* spp. a nivel invernadero (Moya-Elizondo et al., 2016; Ishtiaq et al., 2019). *Trichoderma* spp. muestra fuertes efectos inhibidores sobre *F. pseudograminearum* cuando se rocían sobre paja colonizada por este patógeno (Wong et al., 2002).

En el mismo sentido, los tratamientos biológicos de semillas que contienen *B. subtilis* han demostrado ser prometedores para reducir el daño causado por la pudrición de la raíz (Stewart, 2020). En el mismo sentido, Moussa et al. (2013) evaluaron la eficacia *B. subtilis* y *Pseudomonas fluorescens* contra el patógeno del suelo del trigo *F. graminearum* en condiciones de invernadero. El uso de *P. fluorescens* como agente de biocontrol fue el más eficiente que el de *B. subtilis* o en mezcla y el mejor tratamiento fue el recubrimiento de semillas en comparación con el control infestado.

Control químico

Los fungicidas para el tratamiento de semillas brindan una ventana temprana de protección en el contra la pudrición de la raíz por fusarium. Es mejor usar semillas certificadas que hayan sido tratadas con fungicidas y probadas para la germinación. Sin embargo, se puede seleccionar un producto para el tratamiento de semillas (Tabla 1 y Tabla 2).

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

Ingrediente activo g/L	Modo de acción	Dosis registro/Qm	Eficacia	Registro COFEPRIS	Referencia
Difenoconazol-30	contacto	100-200 cc	Aceptable (60-79%)	Si	Zuñiga et al., 2010.
Mancozeb-430	Contacto	200-300 cc	Aceptable (60-79%)	Si	
Maneb-400	Contacto	250-350 cc	Aceptable (60-79%)	Si	
Tebuconazol-25	Sistémico	120-150 cc	Regular (40-59 %)	Si	
Triticonazol-25	Sistémico	100-200 cc	Regular (40-59 %)	No	
Fludioxonil-25	contacto	80 cc	Bueno (80-89 %)	Si	
Carboxina+tiram 200+200	Sistémico contacto	+ 250-450 cc	Bueno (80-89 %)	No	
Flutriafol+maneb 25+400	Sistémico contacto	+ 175-250 cc	Bueno (80-89 %)	Si	
Flutriafol-25	Sistémico	150-250 cc	Aceptable (60-79%)	si	

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

Ingrediente activo	Dosis (por 455 g de semilla)	Registro COFEPRIS	Referencia
Metalaxyl	44.4-59.1 mL	No	Adesemoye et al., 2015
Mefenoxam	1.2-2.5 mL	No	
Captan	44.4-118.3 mL	Si	
Triticonazol	91.7 mL	Si	
Triticonazol+thiram	162.7 mL	Si	
mancozeb	59.1 mL	Si	
Fludioxonil	2.4-4.7 mL	Si	

azoxystrobin	4.5-11.3 mL	Si
tiabendazol	88.8-118.3 mL	Si
Carboxin	88.8-118.3 mL	Si

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

LITERATURA CITADA

Adesemoye TO, Wegulo SN, Klein RN. 2015.

Common Root Rot and Fusarium Foot Rot of Wheat. University of Nebraska. En línea: <https://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g1998.pdf> Fecha de consulta: agosto de 2020.

Akinsanmi OA, Mitter V, Simpfendorfer S, Backhouse D, Chakraborty S. 2004.

Identity and pathogenicity of *Fusarium* spp. isolated from wheat fields in Queensland and northern New South Wales. Aust. J. Agric. Res. 55, 97-107.

Alkadri D, Nipoti P, Döl K, Karlovsky P, Prodi A, Pisi A. 2013.

Study of fungal colonization of wheat kernels in Syria with a focus on *Fusarium* species. Int. J. Mol. Sci. 14, 5938-5951.

Backhouse D. 2014.

Distribución global de *Fusarium graminearum*, *F. asiaticum* y *F. boothii* del trigo en relación con el clima. Eur J Plant Pathol 139, 161-173. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10658-013-0374-5>.

Bayer Crop Science. 2020.

Fusarium Foot Rot - Identification and Management. En línea: <https://cropscience.bayer.co.uk/threats/diseases/wheat-diseases/fusarium-foot-rot/> Fecha de consulta: agosto de 2020.

Beccari G, Covarelli L, Nicholson P. 2011.

Infection processes and soft wheat response to root rot and crown rot caused by *Fusarium culmorum*. Plant Pathol. 60:671- 684.

Buechel T. 2018.

Perfil de las enfermedades radicales: *Fusarium*. En línea: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/perfil-de-las-enfermedades-radiculares-fusarium/> Fecha de consulta: julio de 2020.

Burgess LW. 1981.

General ecology of the fusaria, p. 225-235. In P. E. Nelson, T. A. Toussoun, and R. J. Cook (ed.), *Fusarium: diseases, biology, and taxonomy*. Pennsylvania State University Press, UniversityPark.

Castañares E, Dinolfo M, Del Ponte E, Pan D, Stenglein S. 2015.

Species composition and genetic structure of *Fusarium graminearum* species complex populations affecting the main barley growing regions of South America. Plant Pathology. 10.1111/ppa.12470.

CIPF. 2017.

Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias (NIMF) No. 8 Determinación de la situación de una plaga en un área. Convención Internacional de Protección Fitosanitaria. En línea:

https://www.ippc.int/static/media/files/publication/es/2017/06/ISPM_08_1998_Es_2017-04-

22_PostCPM12_InkAm.pdf Fecha de consulta:
julio de 2020.

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

Cromey MG, Parkes RA, Fraser PM. 2006. Factors associated with stem base and root diseases of New Zealand wheat and barley crops. Australas. Plant Pathol. 35, 391-400.

Desjardins AE. 2006. Fusarium Mycotoxins: Chemistry, Genetics, and Biology. The American Phytopathological Society: St. Paul, MN, USA; 2006. p. 260.

EPPO. 2020. *Fusarium*. En línea: <https://gd.eppo.int/taxon/IFUSAG> Fecha de consulta: julio de 2020.

FARM. 2020. Fusarium Root Rot. En línea: <https://www.farms.com/field-guide/crop-diseases/fusarium-root-rot.aspx#:~:text=Life%20Cycle.type%20of%20spore%20called%20conidia> Fecha de consulta: agosto de 2020.

Fernandez MR, Zentner RP. 2005. The impact of crop rotation and N fertilizer on common root rot of spring wheat in the Brown soil zone of western Canada. Can. J. Plant Sci. 85, 569-575.

Ferreira MI, Reinhardt CF, Lamprecht SC, Sinclair M, MacKenzie L, van Coller G. 2015. Morphological identification of the ryegrass hybrid *Lolium multiflorum* × *Lolium perenne* and isolation of the pathogen *Fusarium*

pseudograminearum in the Western Cape. S. Afr. J. Plant Soil, 32, 9-15.

Fisher NL, Burgess LW, Toussoun TA, Nelson PE. 1982. Carnation leaves as a substrate and for preserving *Fusarium* species. *Phytopathology* 72:151-153.

Fisher NL, Marasas MW, Toussoun TA. 1983. Taxonomic importance of microconidial chains in *Fusarium* section *Liseola* and effects of water potential on their formation. *Mycologia* 75:693-698.

Fusarium: Diseases, Biology, and Taxonomy. University Park: The Pennsylvania State University Press, pp 291- 305.

Gargouri S, Mtat I, Gargouri Kammoun L, Zid M, Hajlaoui MR. 2011. Molecular genetic diversity in populations of *Fusarium pseudograminearum* from Tunisia. *J. Phytopathol.* 159, 306-313.

Gordon WL. 1959. The occurrence of *Fusarium* species in Canada. VI. Taxonomy and geographic distribution of *Fusarium* species on plants, insects, and fungi. *Can. J. Bot.* 37:257-290.

Hameed MA, Rana RM, Ali Z. 2012. Identification and characterization of a novel Iraqi isolate of *Fusarium pseudograminearum* causing crown rot in wheat. *Genet. Mol. Res.* 11, 1341-1348.

Handiseni M, Zhou XG, Jo YK, 2017. Soil amended with *Brassica juncea* plant tissue reduces sclerotia formation, viability and aggressiveness of *Rhizoctonia solani* AG1-IA towards rice. *Crop Protect.* 100, 77-80. <http://fao.org/faostat>.

Haruhisa S, Hyakumachi M. 2004. Genomics of Phytopathogenic Fusarium. Applied Mycology and Biotechnology. 4. 161-189.

Herbario virtual. 2020. Vuelco de maíz (Podredumbre de raíces y base del tallo). En línea:

http://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/?page_id=175 Fecha de consulta: julio de 2020.

Hogg AC, Johnston RH, Dyer AT, 2007. Applying real-time quantitative PCR to fusarium crown rot of wheat. Plant Disease 91, 1021-8.

Ishtiaq CD, Hussain T, Bhatti K, Adesemoye T, Maqbool M, Azam S, Ghani A. 2019. Management of root rot diseases of eight wheat varieties using resistance and biological control agents techniques. Pakistan Journal of Botany. 51. 10.30848/PJB2019-1(16).

Ivic DAM, Domijan M, Peraica T, Milicevic, Cvjetkovic D. 2009. *Fusarium* spp., contamination of wheat, maize, soybean, and pea in Croatia. Archives of Industrial Hygiene and Toxicology 60(1): 435-442.

Ji LJ, Kong LX, Li QS, Wang LS, Chen D, Ma P. 2016. First report of *Fusarium pseudograminearum* causing Fusarium Head Blight of wheat in Hebei Province, China. Plant Dis. 100, 220.

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

Jiménez-Díaz R, Jimenez-Gasco MM. 2011. Integrated Management of Fusarium Wilt Diseases. En línea:

<https://www.researchgate.net/publication/249009577> Fecha de consulta: julio de 2020.

Kammoun LG, Gargouri S, Hajlaoui MR, Marrakchi M. 2009. Occurrence and distribution of *Microdochium* and *Fusarium* species isolated from durum wheat in Northern Tunisia and detection of mycotoxins in naturally infested grain. J. Phytopathol. 157, 546-551.

Kazan K, Gardiner DM. 2018. *Fusarium* crown rot caused by *Fusarium pseudograminearum* in cereal crops: recent progress and future prospects. Molecular plant pathology, 19(7), 1547-1562. <https://doi.org/10.1111/mpp.12639>.

Klotz LV, Nelson PE, Toussoun TA. 1988. A medium for enhancement of chlamydospore formation in *Fusarium* species. Mycologia 80:108-109.

Knudsen IMB, Hockenhull J, Jensen DF, 1995. Biocontrol of seedling disease of barley and wheat caused by *Fusarium culmorum* and *Bipolaris sorokiniana*: effects of selected fungal antagonists on growth and yield components. Plant Pathology 44, 467-77.

Knudsen Y, Hockenhull J, Jensen D. 1995 Biocontrol of seedling diseases of barley and wheat caused by *Fusarium culmorum* and *Bipolaris sorokiniana*: effects of selected fungal antagonists on growth and yield components. Plant Pathology 44, 467-477.

Koike ST, Wilen CA, Raabe RD, McCain AH, Grebus ME. 2019. Fusarium Wilt. En línea: <http://ipm.ucanr.edu/PMC/r280100811.html> Fecha de consulta: julio de 2020.



Lee J, Kim H, Jeon JJ, Kim HS, Zeller KA, Carter LLA., Leslie JF, Lee YW. 2012. Population structure of and mycotoxin production by *Fusarium graminearum* from maize in South Korea. *Applied and Environmental Microbiology*, 78, 2161-2167.

Leyva-Mir SC, Vega-Portillo HE, Villaseñor-Mir HE, Tlapal-Bolaños B, Vargas-Hernández M, Camacho-Tapia M, Tovar-Pedraza JM. 2017. Characterization of *Fusarium* species causing root rot of wheat in the Bajío, Mexico. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences, ex Agro-Ciencia* 2017 Vol.33 No.2 pp.142-151 ref.31.

Logrieco A, Bailey JA, Corazza L, Cook BM. 2002 *Mycotoxins in Plant Disease*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers; 734 p

Malalasekera RAP, Sanderson FR, Colhoun J, 1973. *Fusarium* diseases of cereals XI. Penetration and invasion of wheat seedlings by *Fusarium culmorum* and *F. nivale*. *Transactions of the British Mycological Society* 60, 453-62.

Mergoum M, Hill PJ, Quick JS, 1998. Evaluation of resistance of winter wheat to *Fusarium acuminatum* by inoculation of seedling roots with single, germinated conidia. *Plant Disease* 3, 300-2.

Mishra PK, Tewari JP, Clear RM, Turkington TK. 2006. Genetic diversity and recombination within populations of *Fusarium pseudograminearum* from western Canada. *Int. Microbiol.* 9, 65-68.

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

Fecha de consulta: julio de 2020.

Moussa T, Almaghrabi OA, Abdelmoneim TS. 2013. Biological control of the wheat root rot caused by *Fusarium graminearum* using some PGPR strains in Saudi Arabia. *Annals of Applied Biology*. 163. 72-81. 10.1111/aab.12034.

Moya-Elizondo EA, Ernesto A, Jacobsen BJ. 2016. Integrated management of *Fusarium* crown rot of wheat using fungicide seed treatment, cultivar resistance, and induction of systemic acquired resistance (SAR). *Biol. Cont.* 92, 153-163.

Moya-Elizondo EA. 2013. *Fusarium* crown rot disease: biology, interactions, management and function as a possible sensor of global climate change. *Cienc. e Investig. Agrar.* 40:235-252.

Moya-Elizondo, Ernesto, Arismendi, Nolberto, Castro, María Paz y Doussoulin, Herman. (2015). Distribución y prevalencia de patógenos de la pudrición de la corona que afectan los cultivos de trigo en el sur de Chile. *Revista Chilena de Investigaciones Agrícolas*, 75 (1), 78-84.

Nelson PE, Toussoun TA, Marasas WF. 1983. *Fusarium* species: an illustrated manual for identification. Pennsylvania State University Press, University Park.

Nelson PE, Toussoun TA, Cook RJ. 1981. *Fusarium: Diseases, Biology and Taxonomy*. University Park, Pennsylvania, USA: Pennsylvania State University Press; 457 p



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

Oregon State University. 2020. Wheat (*Triticum aestivum*)-Fusarium Root, Crown, and Foot Rot (Crown Rot, Foot Rot, Seedling Blight, Dryland Foot Rot). En línea: <https://pnwhandbooks.org/plantdisease/host-disease/wheat-triticum-aestivum-fusarium-root-crown-foot-rot-crown-rot-foot-rot-seedling-blight-dryland-foot> Fecha de consulta: agosto de 2020.

Paulitz TC, Smiley RW, Cook RJ, 2002. Insights into the prevalence and management of soilborne cereal pathogens under direct seeding in the Pacific Northwest, USA. Canadian Journal of Plant Pathology 24, 416-28.

Pouzeshimiab B, Razavi M, Zare R, Momeni H. 2016. The genetic structure and aggressiveness of *Fusarium pseudograminearum* populations in Iran. J. Plant Dis. Prot. 123, 257-266.

Puhalla JE. 1981. Genetic considerations of the genus *Fusarium*. In: PE Nelson, TA Toussoun and RJ Cook ed.

Raaijmakers JM, Paulitz TC, Steinberg C, Alabouvette C, Moënné-Loccoz Y. 2008. The rhizosphere: A playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganisms. Plant Soil 321:341-361.

Samuels GJ, Nirenberg HI and Seifert KA (2001). Perithecial species of *Fusarium*. In: B Summerell, ed. Paul E

Saremi H, Ammarellou A, Jafary H. 2007. Incidence of crown rot disease of wheat caused by *Fusarium pseudograminearum* as a new soil born fungal species in north west Iran. Pak. J. Biol. Sci. 10(20):3606-3612. Doi: 10.3923/pjbs.2007.3606.3612.

Scherm B, Balmas V, Spanu F, Pani G, Delogu G, Pasquali M, Migheli Q. 2013. *Fusarium culmorum*: causal agent of foot and root rot and head blight on wheat. Molecular plant pathology, 14(4), 323-341. <https://doi.org/10.1111/mpp.12011>.

Schmale DG, Bergstrom GC. 2003. *Fusarium* head blight in wheat. The Plant Health Instructor. DOI:10.1094/PHI-I-2003-0612-0.

Seminis, 2020. Podredumbre de cuello y raíces por *Fusarium*. Bayer Cross Design and Seminis. En línea: <https://www.seminis-las.com/recursos/guias-de-enfermedades/tomates/fusarium-crown-root-rot/> Fecha de consulta: julio de 2020.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2018. Atlas Agroalimentario. En línea: https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018 Fecha de consulta: julio de 2020.

Silvestro L, Stenglein S, Forján H, Dinolfo M, Arambarri A, Manso L, Moreno M. 2013. Occurrence and distribution of soil *Fusarium* species under wheat crop in zero tillage.

Spanish Journal of Agricultural Research. 11. 72. 10.5424/sjar/2013111-3081.

Smiley RW, Gourlie JA, Easley SA, Patterson LM. 2005. Pathogenicity of fungi associated with the wheat crown rot complex in Oregon and Washing-

Smiley RW, Patterson LM. 1996. Pathogenic fungi associated with Fusarium foot rot of winter wheat in the semiarid Pacific Northwest. Plant Dis. 80, 944-949.

Smiley R. s/a. Wheat (*Triticum aestivum*)-Fusarium Root, Crown, and Foot Rot (Crown Rot, Foot Rot, Seedling Blight, Dryland Foot Rot). En línea: <https://pnwhandbooks.org/plantdisease/host-disease/wheat-triticum-aestivum-fusarium-root-crown-foot-rot-crown-rot-foot-rot-seedling-blight-dryland-foot> Fecha de consulta: agosto de 2020.

Suga H, Karugia CW, Ward T, Gale LR, Tomimura K, Nakajima T, Miyasaka A, Koizumi S, Kageyama K, Hyakumachi M. 2008. Molecular characterization of the Fusarium graminearum species complex in Japan. Phytopathology, 98, 159-166.

Stewart. 2020. Fusarium Root Rot. En línea: https://guide.utcrops.com/soybean/soybean_seedling-diseases/fusarium-root-rot/ Fecha de consulta: agosto de 2020.

Tapia C, Amaro J. 2014. Género *Fusarium*. Revista chilena de infectología, 31(1), 85-86. En línea: <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182014000100012> Fecha de consulta: julio de 2020.

ton. Plant Dis. 89, 949-957.

Trail F. 2009. For Blighted Waves of Grain: Fusarium graminearum in the Postgenomics Era. Plant Physiology. 149 (1) 103-110.

Tunali B, Nicol JM, Hodson D, Uckun Z, Büyük O, Erdurmus D, Hekimhan H, Aktas H, Akbudak MA, Bagci SA. 2008. Root and crown rot fungi associated with spring, facultative, and winter wheat in Turkey. Plant Dis. 92, 1299-1306.

Wang H, Hwang SF, Eudes F, Chang KF, Howard RJ, Turnbull GD, 2006. Trichothecenes and aggressiveness of Fusarium graminearum causing seedling blight and root rot in cereals. Plant Pathology 55, 224-30.

Wang Q, Buxa-Kleeberg S, Furch A, Friedt W, Gottwald S. 2015. Insights Into Triticum aestivum Seedling Root Rot Caused by Fusarium graminearum. Molecular plant-microbe interactions : MPMI. 28. 10.1094/MPMI-07-15-0144-R.

Wong PTW, Mead JA, Croft MC. 2002. Effect of temperature, moisture, soil type and Trichoderma species on the survival of Fusarium pseudograminearum in wheat straw. Australas. Plant Pathol. 31, 253-257.

Zhang X, Sun H, Shen C, Li W, Yu H, Chen H. 2015. Survey of Fusarium spp. causing wheat crown rot in major winter wheat growing regions of China. Plant Dis. 99, 1610-1615.

Zúñiga J, Lezáun JA, Esparza M, Garnica I. 2010. Enfermedades transmitidas por semilla en trigos y cebadas. En línea: Fecha de consulta: agosto de 2020.



Forma recomendada de citar:

DGSV-CNRF. 2020. Podredumbre de raíces *Fusarium* spp. (Hypocreales: Nectriaceae) en trigo. Sader-Senasica. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Ficha técnica. Tecámac, Estado de México, 18 p.

Nota: Las imágenes contenidas son utilizadas únicamente con fines ilustrativos e informativos, las cuales han sido tomadas de diferentes fuentes otorgando los créditos correspondientes



DIRECTORIO

Secretario de Agricultura y Desarrollo Rural

Dr. Víctor Manuel Villalobos Arámbula

Director en Jefe del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria

Dr. Francisco Javier Trujillo Arriaga

Director General de Sanidad Vegetal

Ing. Francisco Ramírez y Ramírez

Director del Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria

M.C. Guillermo Santiago Martínez