

ROYA NEGRA DEL TALLO DEL TRIGO raza Ug99

Puccinia graminis f.sp.
tritici raza Ug99 (Eriksson
& Henning, 1894)

Ficha Técnica No. 25



D. Mowbray, s/a; W. Khoury, s/a; P. Roelfs, s/a; Rusttracker.cimmyt.org, 2015.





CONTENIDO

IDENTIDAD	1
Nombre científico	1
Clasificación taxonómica	1
Nombre común.....	1
Código EPPO	1
Estatus fitosanitario	1
Situación de la plaga en México	1
IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA PLAGA	1
Impacto económico a nivel mundial	1
Potencial de impacto económico en México	2
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA PLAGA	2
HOSPEDANTES	4
Distribución nacional de hospedantes	4
ASPECTOS BIOLÓGICOS Y ECOLÓGICOS.....	5
Ciclo de vida.....	5
Descripción morfológica	7
DAÑOS Y SÍNTOMAS.....	8
ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS	10
Epidemiología de la plaga	10
Dispersión	11
Características particulares de la raza Ug99	11
Métodos de diagnóstico.....	12
MEDIDAS FITOSANITARIAS	12
Control químico	12
Control cultural	12
Resistencia vegetal	13
Medidas regulatorias	13
VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA FITOSANITARIA	13
Toma y envío de muestras	13
Alerta fitosanitaria.....	14
BIBLIOGRAFÍA	14

IDENTIDAD

Nombre científico

Puccinia graminis f.sp. *tritici* raza Ug99 Eriksson & Henning (1894).

Clasificación taxonómica

Reino: Fungi
Phylum: Basidiomycota
Subphylum: Pucciniomycotina
Clase: Pucciniomycetes
Orden: Pucciniales
Familia: Pucciniaceae
Género: *Puccinia*
Especie: *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*

(Mycobank, 2016).

Nombre común

Nombre común	
Español	Roya del tallo del trigo Ug99, roya negra del trigo.
Inglés	Black stem rust of wheat, black rust of wheat, stem rust of wheat,
Francés	Rouille de la tige du blé

(CABI, 2018; EPPO, 20018).

Código EPPO

PUCCGT

(EPPO, 2004).

Estatus fitosanitario

De acuerdo a la Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias (NIMF) No. 5, "Glosario de términos fitosanitarios", *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* raza Ug99 cumple con la definición de plaga cuarentenaria, ya que esta plaga se encuentra Ausente en el país y puede potencialmente

causar pérdidas económicas en cultivos hospedantes (IPPC, 2018).

Situación de la plaga en México

Según la NIMF No. 8, "Determinación de la situación de una plaga en un área", *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* raza Ug99 es una plaga Ausente en México, no hay registros de la plaga (IPPC, 2017).

IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA PLAGA

Impacto económico a nivel mundial

El trigo proporciona aproximadamente una quinta parte de la ingesta de calorías y proteínas en los seres humanos (Wheat, 2014). En el mundo, la demanda de trigo seguirá aumentando a una tasa anual de 1,6%, de manera que para el 2050 se necesitará un 60% más de trigo (Wheat, 2014).

Las royas del tallo del trigo causadas por *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* han sido de las enfermedades más destructivas en la historia del cultivo del trigo (*Triticum aestivum* L. y *T. durum* Desf.), provocando pérdidas severas del cultivo hasta mediados del siglo 20. Pero, a través del desarrollo de variedades resistentes, se logró contrarrestar los efectos epidémicos de estas enfermedades (EPPO, 2008; INTA EEA, 2008).

Sin embargo, en 1998 en Uganda, se presentó la raza TTKSK, etiquetada como Ug99, para evocar el año de la identificación y país en el que se presentó (Pretorius *et al.*, 2000). Esta raza se caracteriza por vulnerar los principales genes de resistencia del trigo a la roya del tallo (gen Sr31 y Sr38), base de gran parte de las variedades modernas de trigo que se cultivan en el mundo (EPPO, 2008; Pretorius *et al.*, 2000; Singh *et al.*, 2015) y de acuerdo con Hodson *et al.* (2009) el 80 % de las variedades de trigo cultivado en el mundo es considerado susceptible a la raza



Ug99. En el 2001, se detectó en Kenia y en el 2003 en Etiopía (Rust tracker, 2017a). A la fecha, se han detectado 13 razas de *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*, raza Ug99 en trece países, localizados en el este de África, así como Yemen e Irán en el Oriente Medio (Asia) (EPPO, 2008; Rust tracker, 2017b). Las últimas detecciones han sido en Egipto, país que se considera un “puente verde” para *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* entre los países del norte de África y el Este, así como entre las regiones trigueras del Medio Oriente y el mediterráneo (Patpour *et al.*, 2016).

Puesto que las esporas pueden ser dispersadas por el viento a grandes distancias e incluso se pueden adherir a la ropa de viajeros aéreos, la nueva raza representa un riesgo fitosanitario, que puede repercutir en la seguridad alimentaria, para la región europea, la asiática y para los trigos que se siembran en Norteamérica (caso México), que tienen como base de resistencia los genes que han sido vulnerados por los diferentes tipos del complejo racial de la Ug99 (NAPPO, 2007; Pretorius *et al.*, 2000; Singh, 2011).

Por lo general, las pérdidas económicas ocasionadas por la roya del tallo del trigo son severas, bajo condiciones adecuadas para la enfermedad, las pérdidas económicas pueden ser del 70% o superiores. Inclusive los campos cultivados pueden ser totalmente destruidos. Se ha observado que la severidad de los daños es mayor, cuando la enfermedad se presenta antes de la formación del grano (Rusttracker, 2017; USDA, 2009).

A pesar del gran número de programas de mejoramiento genético desarrollados para contrarrestar los daños ocasionados por esta plaga, se ha estimado que del más del 70 % de las variedades de trigo cultivadas en la actualidad en Norteamérica son susceptibles a este patógeno (NAPPO, 2007).

Potencial de impacto económico en México

La introducción, establecimiento y diseminación de *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* raza Ug99 en México, representa una seria amenaza para el cultivo de trigo. De acuerdo al SIAP (, durante el ciclo agrícola 2017 este cultivo se estableció en 24 estados, los cuales sumaron una superficie de 732,377.19 ha, con una producción mayor a los 3,918 millones de toneladas, y un valor de producción superior a 14 mil millones de pesos (Cuadro1).

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA PLAGA

La raza Ug99 fue descubierta por primera vez en Uganda en 1998 (Pretorius *et al.*, 2000). En el año 2000 se detectó en Sudáfrica, en 2001 fue detectada en Kenia, en 2003 se reportó en Etiopía, en 2006 en Yemen y Sudán, en 2007 en Irán, en 2009 en Tanzania, en 2010 en Etiopía y Zimbabue, en 2012 en Eritrea, y finalmente en 2014 en Ruanda y Egipto (Patpour *et al.*, 2016; Rust tracker, 2017b). Por otro lado, en el año 2000 en Sudáfrica, surge la primera variante de esta raza, la TTKSF. En la Figura 1 se muestran los países con presencia de *Puccinia graminis*, f.sp. *tritici* raza Ug99, especificando la distribución por país, de las diversas variantes de la raza Ug 99

Cuadro 1. Principales Estados productores de trigo en México.

Estado	Superficie sembrada (ha)	Producción (ton)	Valor de Producción (millones de pesos)
Sonora	281,936.83	1,788,866.39	6,913.40
Baja California	73,471.35	396,716.61	1,480.85
Sinaloa	54,684.70	273,916.64	971.85
Guanajuato	62,565.50	355,173.29	1,353.64
Michoacán	41,683.50	227,815.47	870.10
Nuevo León	25,734.50	53,079.15	186.80
Jalisco	28,281.40	144,172.19	530.05
Chihuahua	18,748.66	95,092.30	338.60
Tlaxcala	19,713.00	50,465.10	192.27
Durango	7,629.00	20,588.77	75.24
Oaxaca	13,057.90	13,443.95	57.85
Zacatecas	8,270.50	10,889.30	41.07
Coahuila	7,419.00	27,311.14	105.78
México	5,123.70	11,547.06	39.30
Baja California Sur	3,071.50	17,661.86	73.15
Puebla	2,656.70	6,128.95	21,901.62
Tamaulipas	4,220.00	3,312.50	10.93
Hidalgo	2,171.46	5,639.10	20.75
San Luis Potosí	251.00	161.00	0.525
Veracruz	525.43	805.22	2.52
Morelos	131.00	131.20	425
Aguascalientes	31.00	131.00	0.493
Querétaro	206.00	402.70	1.17
Chiapas	72.00	69.98	0.283
TOTAL	732,377.19	3,918,900.54	14,163.11

Fuente: SIAP, 2018. Ciclo agrícola 2017.

Distribución geográfica de Roya negra del tallo del trigo
Puccinia graminis f.sp. *tritici* raza Ug99

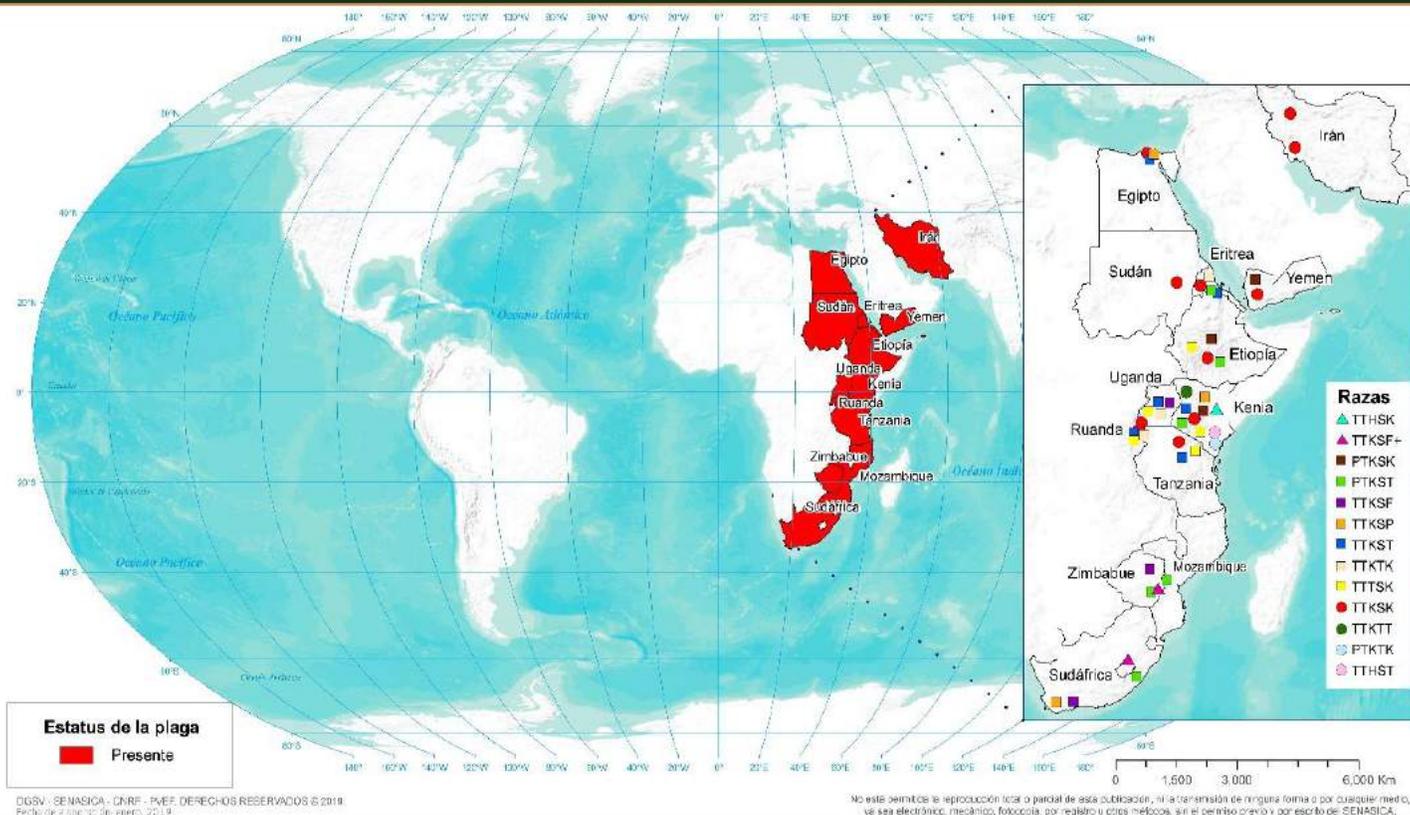


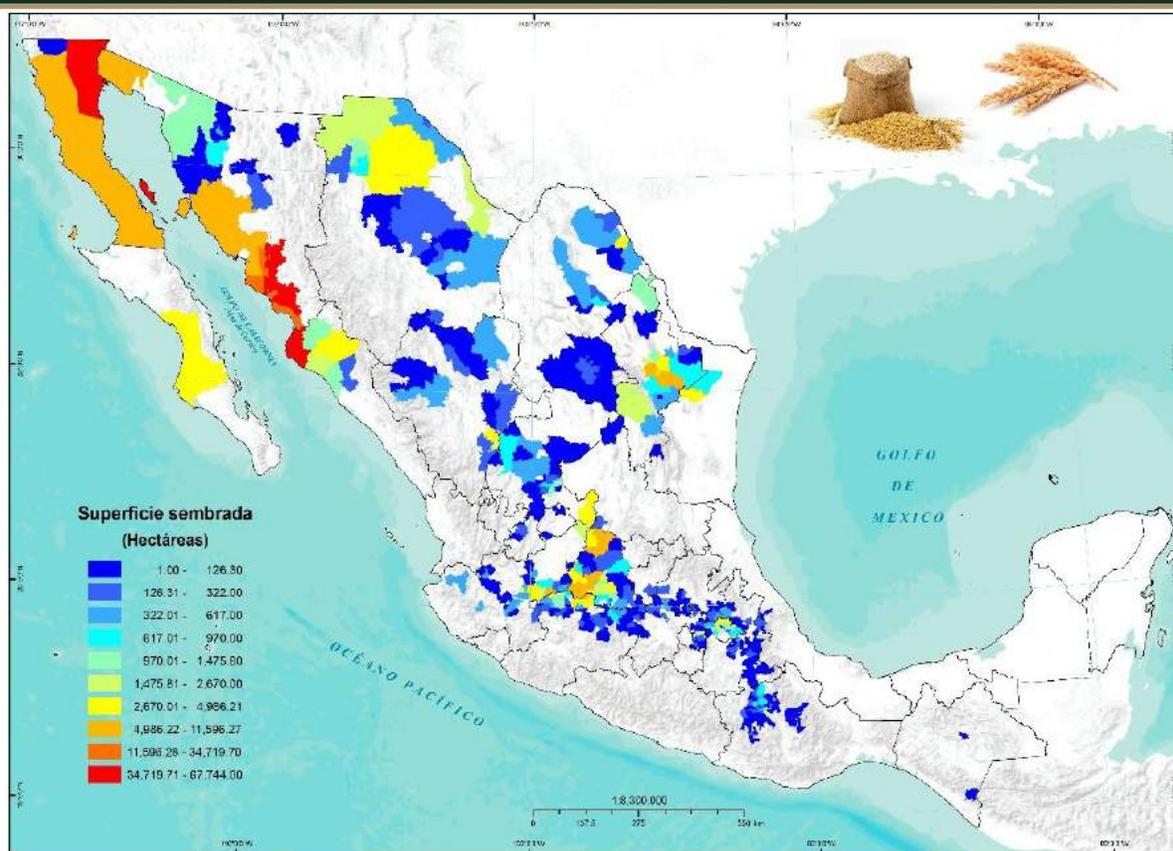
Figura 1. Distribución geográfica de la roya negra del tallo (*P. graminis* f.sp. *tritici* raza Ug99) y sus variantes. Elaboración propia con datos de Rust tracker, (2017).

HOSPEDANTES

Para *P. graminis* f.sp. *tritici* se registran como hospedantes a trigo, cebada, triticale y diversos hospedantes alternos, entre los que están: agracejo (*Berberis* spp.), hierba quack (*Elymus repens*), centeno italiano (*Lolium multiflorum*) y varias especies de Mahonia y Mahoberberis (CABI, 2016; Leonard y Szabo, 2005; Roelfs, 1985, citado por Roelfs *et al.*, 1992; Wheatdoctor, s/a). Sin embargo, para la raza Ug99 se registra como hospedante principal, hasta ahora, a trigo (*Triticum* spp.) y como hospedante silvestre a *Berberis holstii*, presente en las tierras altas del este de África (Singh *et al.*, 2015).

Distribución nacional de hospedantes

En la Figura 2 se observa la distribución nacional de los principales hospedantes potenciales de Ug99. Observándose mayor concentración de hospedantes en las zonas del centro y noroeste del país.



DGVS - UNIF - PVF. DERECHOS RESERVADOS © 2019.
Fecha de elaboración: Enero 2018

NO ESTÁ PERMITIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTA PUBLICACIÓN, NI LA TRANSMISIÓN EN NINGUNA FORMA O POR CUALQUIER MEDIO, YA SEA ELECTRÓNICO, MECÁNICO, FOTOCOPIA, POR REGISTRO O OTROS MÉTODOS, SIN EL PERMISO PREVIO Y POR ESCRITO DEL SENASICA.

Figura 2. Distribución de hospedantes potenciales de la roya negra del tallo (*P. graminis* f.sp. *tritici* raza Ug99) en México. Elaboración propia con datos de SIAP (2018, ciclo agrícola 2017).

ASPECTOS BIOLÓGICOS Y ECOLÓGICOS

Ciclo de vida

El ciclo de vida que se describe es para *Puccinia graminis*, sin embargo, se considera que es el mismo para *P. graminis* f.sp. *tritici* raza Ug99. El ciclo biológico de este hongo consta de cinco fases (Leonard y Szabo, 2005; Schumann y Leonard, 2000) (Fig. 3), la fase uredinal inicia el proceso infectivo en trigo. A los pocos días de la infección por urediósporas se observan unas manchas cloróticas en el tallo y lámina foliar (Fig. 6) y a los 7 a 15 después de la infección, estas manchas cambian a pústulas ovales o alargadas de color rojo oscuro a café intenso. La infección

también puede presentarse en la vaina foliar y en la espiga. Las pústulas son las uredias, que posteriormente se rompen liberando las urediósporas. En royas heteroecias, esta etapa de uredio-uredióspora se denomina “etapa repetitiva”, pues las urediosporas son las únicas esporas que pueden infectar a la planta hospedante (trigo) en la cual son producidas y bajo condiciones ambientales adecuadas para el patógeno, el ciclo de infección se puede repetir varias veces en el mismo hospedante, resultando en epidemias policíclicas (Leonard y Szabo, 2005).

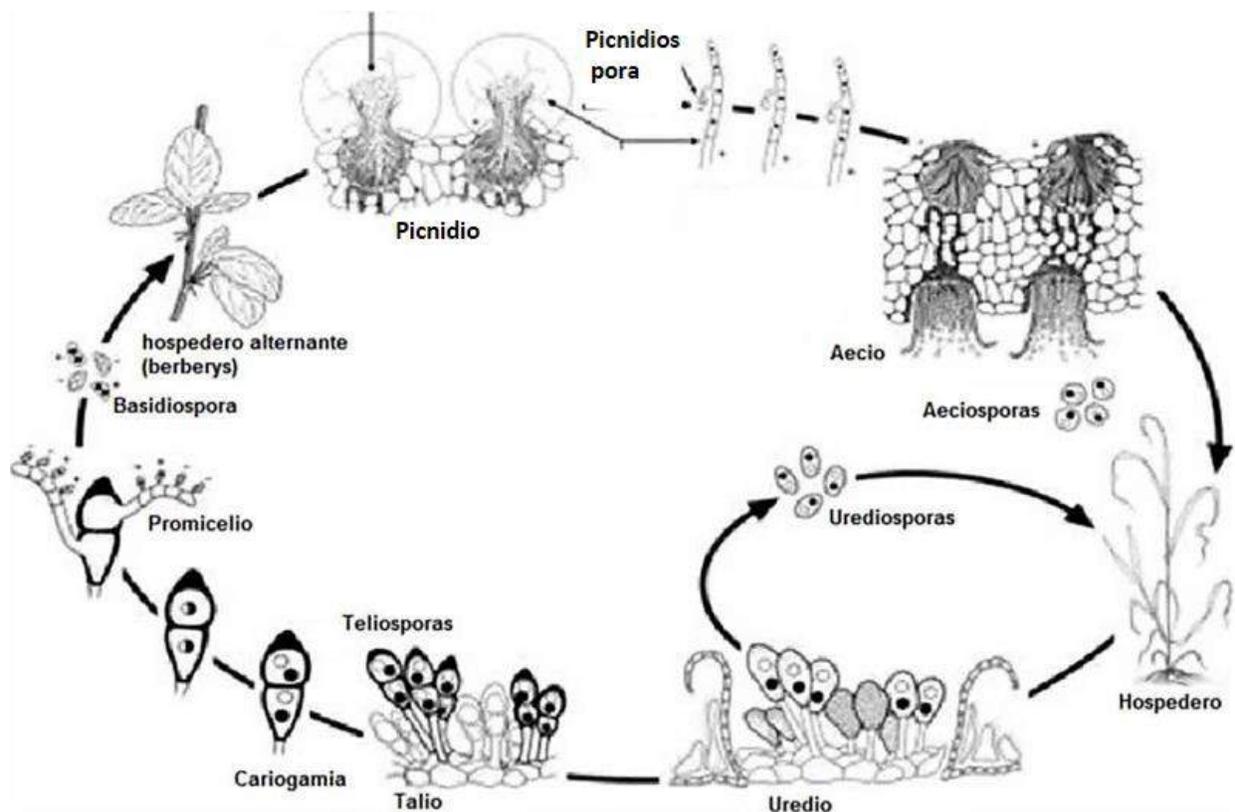


Figura 3. Ciclo de vida de la Roya del tallo del trigo raza Ug99 (Modificado de Leonard y Szabo, 2005).

Al final del ciclo del cultivo o cuando las condiciones climáticas son desfavorables, en las mismas uredias, se desarrollan las telias que darán origen a las teliósporas, que son de color oscuro y corresponden a las estructuras de sobrevivencia (Leonard y Szabo, 2005; Schumann y Leonard, 2000). De facto, el nombre de roya negra del tallo se debe a estas estructuras.

Cuando las condiciones son favorables para el patógeno, las teliósporas germinan y dan origen al promicelio en el cual se desarrollan las basidiósporas que infectarán hojas jóvenes del hospedante alternativo *Berberis* spp. Una vez que las basidiosporas germinan, producen un micelio haploide que penetra y coloniza la hoja de *Berberis* spp. De este micelio surgen en la superficie del haz de las hojas, estructuras llamadas picnidios. Los picnidios producen dos tipos de gametos haploides, las picnidiosporas, que son gametos masculinos y las hifas

receptivas, que son los gametos femeninos. Las hifas receptivas son fertilizadas por las picnidiosporas de un picnidio diferente. Las picnidiosporas son producidas con una mielecilla, que las hace atractivos a los insectos, los cuales las dispersan, ayudando de esta manera a la fertilización cruzada. Las gotas de agua también ayudan a la dispersión y cruzamiento de estas picnidiosporas (algunos autores citan al picnidio como espermogonio y a las picnidiosporas como espermatia) (Leonard y Szabo, 2005; Schumann y Leonard, 2000). La fertilización de los picnidios es crítica en el ciclo de vida, ya que da lugar al micelio dicariótico. El micelio dicariótico crece a través de la hoja de *Berberis* y a los 5 o 7 días forma una estructura llamada aecio, que surge en el envés de la superficie foliar, la epidermis de este envés se rompe para liberar las aeciosporas dicarióticas, que, al ser producto de la recombinación genética, difieren en cuanto a virulencia y agresividad. Las aeciosporas infectarán nuevamente al trigo, lo que permite que

el ciclo biológico se repita (CABI, 2016; Leonard, 2001; Leonard y Szabo, 2005; Schumann y Leonard, 2000). La reproducción sexual de *P. graminis* f.sp. *tritici*, que ocurre en el hospedante alterno *Berberis* es la que se supone, ha dado origen a las diversas razas y variantes de este patógeno (Roelfs *et al.*, 1992; Wanyera, 2012).

Descripción morfológica

P. graminis f.sp. *tritici* es una roya macrocíclica, que puede presentar cinco formas diferentes de esporas: uredósporas, teliósporas, basidiósporas, picniósporas y aeciósporas (Harder y Chong, 1984). Las urediósportas de *P. graminis* f.sp. *tritici* se caracterizan por ser dicariontes (2n), dehiscentes, de pared gruesa y equinuladas (con espinas), elípticas con tamaño de 20 x 30 µm (Fig. 4B) (CABI, 2016).

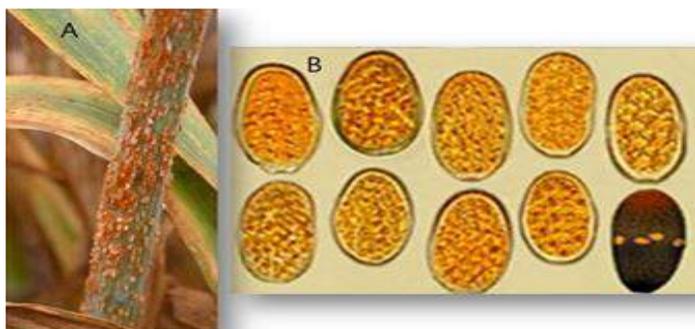


Figura 4. A) Uredias en el tallo de trigo y B) Vista microscópica de uredosporas de *P. graminis* (Khoury, s/a; Anikster y Eilam, s/a)

Las teliósporas son bicelulares, de pared gruesa (hasta con cinco capas de membranas) y presentan engrosamiento en la parte distal de la espora, miden de 40 a 60 µm x 18 a 26 µm (Fig. 5B) (CABI, 2016).

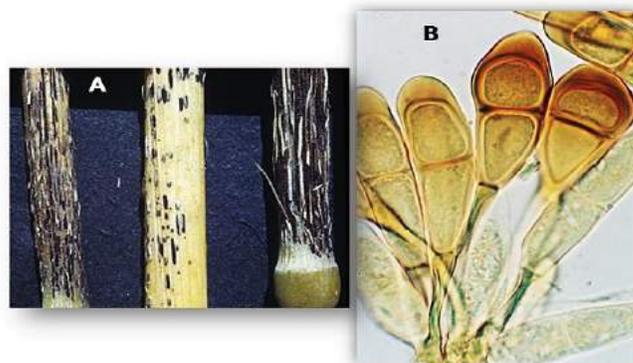


Figura 5. A) Telias y B) Teliosporas de *P. graminis* (C.D.L.-USDA, s/a y Hennen, s/a).

Las basidiósporas son de paredes delgadas e incoloras, formadas a partir de un basidio que se septa, para producir cuatro esporas, uninucleares, haploides (Fig. 6) (Schumann y Leonard, 2000).

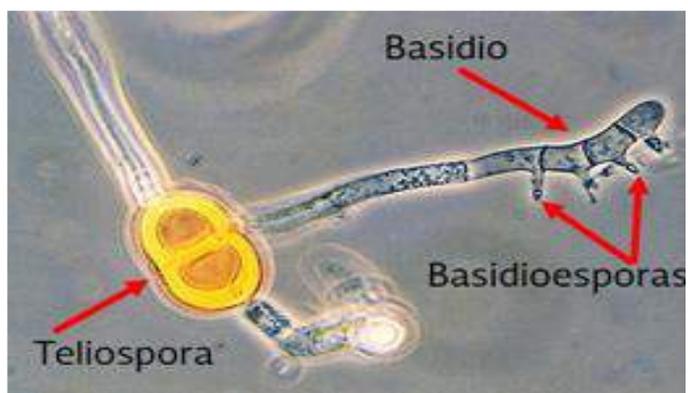


Figura 6. Germinación de una teliospora, y mitosis del basidio para producir las basidiosporas (Hennen, s/a).

Las picnidiosporas son células de unas cuantas micras de tamaño, cristalinas, de forma oblonga, con un núcleo haploide con poco citoplasma circundante (Fig. 7AB [Leonard y Szabo, 2005]).

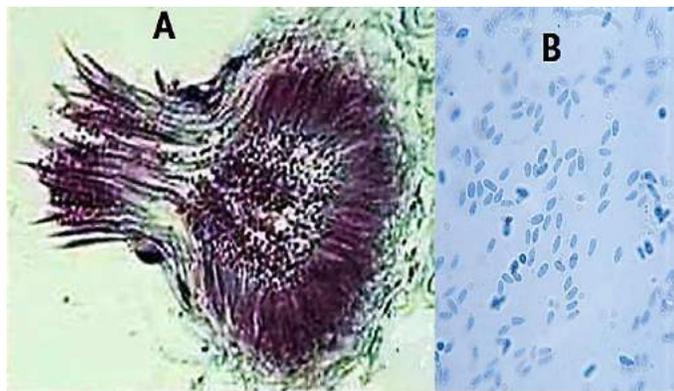


Figura 7. Corte seccional de un picnidio que muestra: A) Hifas receptoras y B) Picnidioesporas (Long, s/a).

Las aeciosporas son hialinas, pequeñas, tienen una apariencia rugosa y están unidas en cadenas (Fig. 8A B) (Leonard y Szabo, 2005).

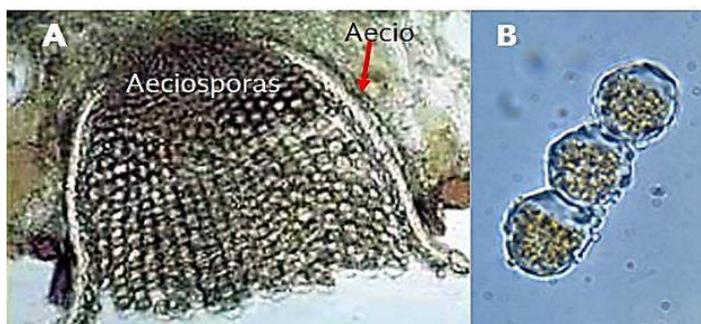


Figura 8. A) Corte de un Aecio liberando aeciosporas y B) Cadena de aeciosporas (Long, s/a).

DAÑOS Y SÍNTOMAS

El síntoma inicial de la infección son pequeñas manchas cloróticas (Fig. 9A), que aparecen pocos días después de la infección. A los 7 a 15 días aproximadamente, las manchas cloróticas evolucionan a pústulas (uredias [Figura 9 y 10]) y antes de que las masas de esporas contenidas en las uredias rompan la epidermis, los sitios de infección se sienten ásperos al tacto. A medida que las masas de esporas se liberan, los tejidos superficiales se rompen, adquiriendo un aspecto irregular, como de “deshilachado”. (WheatDoctor, s/a; USDA 2009).

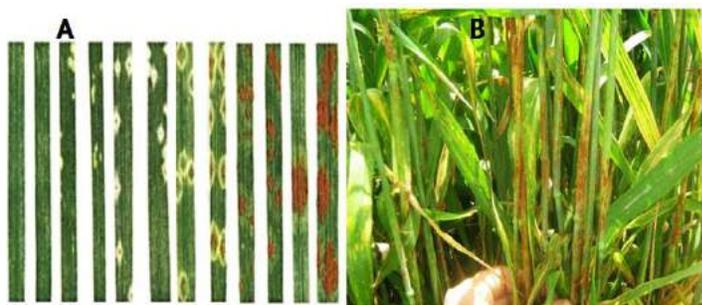


Figura 9. A) Progreso de síntomas de izquierda a derecha. B) Plantas con diversidad de síntomas, desde iniciales a avanzados (McIntosh, s/a; German, 2013).

Las pústulas o uredias son lesiones ovaladas o alargadas de varios milímetros de largo y unos cuantos, de ancho, de color rojo oscuro a café rojizo intenso, generalmente se presentan en ambos lados de las hojas, en tallos (Figura 9B y 10), así como en la vaina foliar y espigas (Leonard y Szabo, 2005). Si la intensidad de la enfermedad es baja las pústulas se encuentran dispersas y se aglutinan cuando el ataque es intenso (CIMMYT 2009; USDA 2009). Al final del ciclo de cultivo o cuando las condiciones climáticas son desfavorables, en las mismas uredias se forman las telias, que contienen a las teliósporas, que son de color oscuro (Figura 11 [Leonard y Szabo, 2005; Schumann y Leonard, 2000]).



Figura 10. A) y B) Uredias de *P. graminis* f.sp. *tritici*. Raza Ug99 y C) esporas liberándose de la uredia (Chaves, 2013; Leonard, 2001).



Figura 11. Pústulas con Teliosporas (la etapa de sobrevivencia) en trigo (Cereal Disease Laboratory-USDA, s/a).

Las teliosporas germinan y dan origen al promicelio, en el cual se desarrollan las basidiósporas que infectan al hospedante alternativo *Berberis* spp (Fig. 12).



Figura 12. *Berberis* común (*Berberis* spp.) el hospedante alternativo de *P. graminis* f.sp. *tritici* (Cereal Disease Laboratory-USDA, s/a.)

La infección por una basidiospora genera una estructura llamada picnidio (Figura 13), que se observa en la superficie adaxial de las hojas jóvenes de *Berberis* spp. En los picnidios se formarán las picnidiósporas. Posteriormente se originarán las aecias, generalmente en el envés de las hojas de *Berberis* las cuales contienen a las aeciósportas (Fig.14), que solo podrán infectar a trigo (Schumann y Leonard, 2000; Leonard y Szabo, 2005).

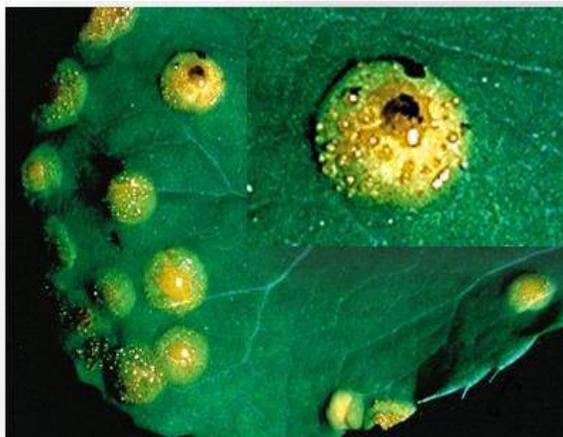


Figura 13. Picnidios en una hoja de berberis. (Long, s/a.)

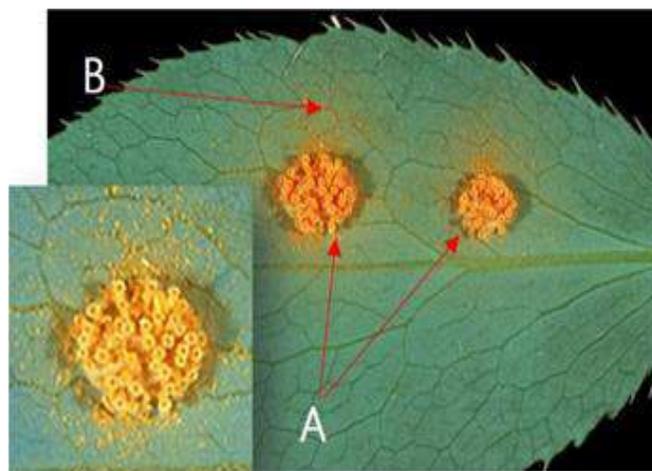


Figura 14. A) Aecios y B) Aeciósportas en hoja de berberis. (Steffenson, s/a).

La infección por este patógeno en trigo, va a ocasionar una escasa movilización de nutrientes para el desarrollo del grano, debido a la invasión de tejidos de la planta por el hongo y a la disminución de la capacidad fotosintética al estar dañada el área foliar, todo esto va a generar reducción de rendimiento y pérdidas en producción de trigo, que pueden ser totales (Fig. 15 [Leonard y Szabo, 2005]).

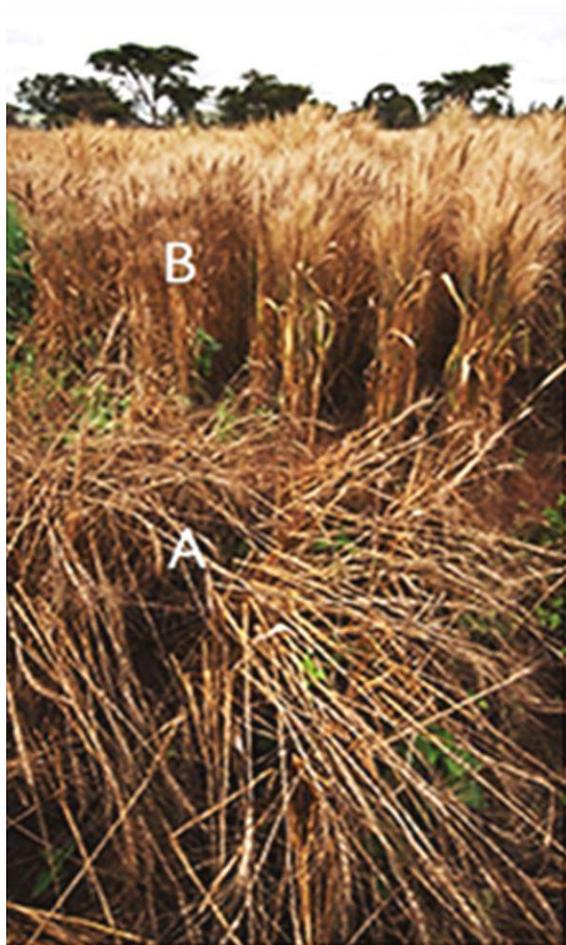


Figura 15. A) Variedad de trigo susceptible destruida por la raza Ug99. B). Variedad resistente a la raza Ug99 (Pretorius, s/a).

ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS

Epidemiología de la plaga

Los requerimientos térmicos para la germinación de las esporas de este hongo son: temperatura mínima de 2 °C; temperatura óptima de 15-24°C y temperatura máxima de 30°C (Roelfs *et al.*, 1992), en el Cuadro 2 se observan los requerimientos de temperatura para las diferentes fases de crecimiento del hongo. Las urediniosporas comienzan a germinar en una a tres horas en presencia de agua, bajo las temperaturas óptimas enunciadas anteriormente. La roya del tallo requiere un período de rocío de 6-8 horas, para que las esporas germinen,

produzcan el tubo germinal y un apresorio. La tasa máxima de infección se produce con 8 a 12 horas de rocío a 18°C, seguidas de 10,000+ lux de luz, por lo menos, lo óptimo son 16000 lux de luz. Los ganchos de penetración no se desarrollan desde el apresorio si no son estimulados por lo menos con 10,000 lux de luz durante tres horas continuas (Roelfs *et al.*, 1992). La infección puede ser mínima si el rocío y la lluvia nocturna son seguidos por vientos secos que causan la desecación antes del alba (Roelfs *et al.*, 1992).

Únicamente en regiones con condiciones muy secas o regiones tropicales, no ocurre la enfermedad; sin embargo, la irrigación de los cultivos puede favorecer el establecimiento del patógeno (Hernández y Hodson, 2009; CABI, 2016).

Las urediniosporas tienen una vida relativamente larga y pueden sobrevivir en el campo sin ser depositadas en plantas hospedantes durante varias semanas (Mohamed, 1960; Orr y Tippetts, 1971). En el movimiento de las urediniosporas a grandes distancias influyen la latitud y las características de los vientos. Generalmente, las esporas se desplazan de oeste a este a causa de los vientos que resultan de la rotación de la tierra. En latitudes progresivamente mayores los vientos son más meridionales en el hemisferio norte y más septentrionales en el hemisferio sur. Estudios realizados en los EUA demostraron que el movimiento de las esporas es del sureste al noreste, al norte de los 30° de latitud (Roelfs *et al.*, 1992).

Cuadro 2. Requerimientos climáticos para el desarrollo de *P. graminis* f.sp. *tritici*.

Fase de desarrollo	Temperatura mínima (°C)	Temperatura promedio (°C)	Temperatura máxima (°C)	Agua libre
Germinación	2	15-24	30	Esencial
Esporofita		20		Esencial
Apresorio		16-27		Esencial
Penetración	15	29	35	Esencial
Crecimiento	5	30	40	Ninguna
Esporulación	15	30	40	Ninguna

Fuente: Roelfs *et al.* (1992).

Una pústula de roya del tallo puede producir 10,000 urediniosporas al día (Katsuya y Green, 1967; Mont, 1970, citados por Roelfs *et al.*, 1992). Pero la capacidad de infección es mínima y aproximadamente, sólo uno de cada 10 esporófitos produce una infección apropiada. Las uredias presentes en los tejidos del tallo y la vaina foliar, con frecuencia sobreviven más tiempo que los que están presentes en la lámina foliar (Roelfs *et al.*, 1992). Las urediniosporas son bastante resistentes a las condiciones atmosféricas si el contenido de humedad es de 20-30% (Roelfs *et al.*, 1992).

Las aeciosporas son una fuente de inóculo, especialmente, en la primavera, que se puede suprimir o reducir con la eliminación del hospedante alternativo *Berberis* spp, en las cercanías de los campos de trigo (Roelfs *et al.*, 1992). Las plantas de *Berberis* son sitios donde se reproduce sexualmente *P. graminis* f.sp. *tritici* y por lo tanto fuente de variabilidad genética para el desarrollo de nuevas razas de este patógeno (Leonard y Szabo, 2005; Nazari y Mafi, 2013; Schumann y Leonard, 2000).

El patógeno inverna en forma de teliosporas, al final del ciclo del cultivo o cuando las condiciones son desfavorables, reiniciando el ciclo de la enfermedad a inicio de primavera. Cuando ocurren infecciones severas en cultivos antes de la floración pueden ocasionar la pérdida completa del cultivo (Agris, 1988). La roya es más dañina al final del período de crecimiento y en cultivos de

maduración tardía a altitudes bajas. El trigo de primavera es vulnerable en latitudes altas. En climas cálidos y húmedos, la roya es más severa, debido a que se presentan condiciones favorables. La enfermedad puede desarrollarse rápidamente cuando prevalecen humedad libre (lluvia o rocío) y temperaturas moderadas. Si la temperatura promedio es de aproximadamente 20°C o más, la primera generación de urediniosporas se producirá en 10-15 días (Wheatdoctor, s/a).

Dispersión

El viento es el principal factor dispersor del patógeno, suele transportar urediniosporas viables a una distancia de 100 km, y a veces de hasta 2,000 km (Luig, 1985, citado por Roelfs *et al.*, 1992). Se cree, que por lo menos tres veces en el siglo 20, las urediniosporas fueron transportadas 8,000 km desde el este de África hasta Australia (Watson y de Sousa, 1983). Pero la diseminación a largas distancias puede ocurrir normalmente a través de la ropa de los viajeros o en la comercialización de material propagativo infectado (Singh *et al.*, 2006; USDA 2009).

Características particulares de la raza Ug99

La raza Ug 99 o TTKSK de *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*, se caracteriza por vencer el gen de resistencia Sr31, presente en gran parte de las variedades de trigo cultivadas en el mundo. Sin embargo, este patógeno ha tenido una rápida

mutación y a la fecha, han surgido diversas variantes de la raza TTKSK (Rustracker, 2016). Estas variantes han sido capaces de nulificar varios genes de resistencia: el Sr31, Sr24, Sr36, y el SrTmp (Singh *et al.*, 2015). Las variantes de Ug99 que tienen virulencia combinada hacia los genes Sr31 y Sr24, son las que más se han dispersado en África y es probable que se sigan dispersando. Las últimas variantes de la Ug99 detectadas en Kenia, son virulentas hacia el gen SrTmp (Patpour *et al.*, 2015; Rustracker, 2016).

Métodos de diagnóstico

La detección de la enfermedad en campo, se basa en la observación de síntomas, mientras que el diagnóstico se realiza por observación directa de las esporas (uredósporas y teliósporas), para lo cual se toma una muestra de la esporulación y se observa en un microscopio a 100X. Las uredósporas de *P. graminis* f.sp. *tritici* generalmente aparecen como esporas oblongas, equinuladas de 20 a 30 µm y son de color naranja claro.

Dado el surgimiento de razas y subrazas de *P. graminis* f.sp. *tritici* ha sido necesario emplear métodos moleculares para diferenciar el linaje genético entre los miembros de la raza Ug99. Entre los métodos empleados están: Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) (Szabo 2012), uso de marcadores SSR y ensayo SNP (polimorfismo de un solo nucleótido) (Olivera *et al.*, 2015).

MEDIDAS FITOSANITARIAS

Control químico

Los fungicidas hasta ahora evaluados solo pueden reducir la severidad, pero no controlan al hongo, además de que el uso de estos plaguicidas resulta muy costoso (CLS, 2008).

En experimentos realizados por Wanyera *et al.* (2009), encontraron que los fungicidas

azoxistrobin a 200 g/ litro + ciproconazole a 80 g/litro, tebuconazole y tebuconazole + tridimenol fueron efectivos en la reducción de las poblaciones de la raza Ug99 en los sitios probados. Los fungicidas trifloxystrobin + propiconazole, hexaconazole, epoxiconazole + carbendazim, cyproconazole a 80 g/litros + propiconazole a 250 g/litro, y epoxiconazole a 125 g/litro + carbendazim a 125 g/litro fueron inconsistentes en la reducción de la enfermedad. Los resultados sugieren que los fungicidas citados primero, pueden ser efectivos en la reducción de la severidad de la roya, favoreciendo el incremento en el rendimiento de cultivares de trigo susceptibles. En los EUA, los fungicidas registrados para el manejo de roya del tallo de trigo son: azoxystrobin, azoxystrobin + propiconazole, fenbuconazole, mancozeb, metconazole, metconazole + pyraclostrobin, propiconazole, propiconazole + trifloxystrobin, prothioconazole, pyraclostrobin, tebuconazole (ARS.USDA, 2008). En México, los fungicidas azoxistrobin, ciproconazole y tebuconazole son los que se encuentran registrados y autorizados para emplearse en el cultivo de trigo.

Control cultural

En los lugares donde se encuentra presente la raza Ug99, se implementan diversas prácticas culturales para reducir la intensidad de la enfermedad o proporcionar un control parcial a largo plazo. La siembra tardía en otoño o temprana en primavera y el uso de variedades precoces, permite reducir el tiempo de exposición del cultivo al patógeno. Además, el control de hospedantes alternos como *Berberis* sp., la eliminación de plantas de trigo voluntarias, así como la diversificación varietal y de sistemas de cultivo son elementos que se deben considerar (Singh *et al.*, 2015). Los programas de erradicación de hospedantes alternantes en los EUA y Europa han tenido efectos importantes en la limitación de las epidemias ocasionadas por *P. graminis* (CABI, 2007).



Resistencia vegetal

La resistencia genética es el método más efectivo, el menos caro y el más seguro para el medio ambiente (Cabi, 2016), por lo que la mejor estrategia y prioridad para el control de esta enfermedad es el desarrollo de nuevas variedades de trigo, que incluyan genes con diferentes niveles de resistencia, con efectos acumulativos, estables y duraderos, lo cual es un reto, considerando que desde 1999 han aparecido 12 variantes de la raza Ug99. A la fecha se han identificado más de 60 genes de resistencia (Sr) a la roya del tallo, sin embargo, pocos pueden proporcionar resistencia cuantitativa contra la Ug99, entre estos están los genes: Sr2, Sr55, Sr56, Sr57 y Sr58 (Singh *et al.*, 2015; Yu *et al.*, 2017). En los EUA, la Universidad de Minnesota liberó en 2008 y 2013, dos variedades de trigo de primavera, “Tom” (Anderson *et al.*, 2012) y “Linkert,” respectivamente, con resistencia del tipo APR (Adult Plant Resistance) a la raza Ug99 (Singh *et al.*, 2015).

Dada la gravedad que representa la presencia y evolución de la raza Ug99 en la franja este de África y Yemen e Irán en el cercano oriente, diversas instituciones internacionales como FAO, CIMMYT, BGRI (Borlaug Global Rust) se han unido con instituciones nacionales como el Cereal Disease Laboratory del USDA, la Universidad Aarhus de Dinamarca el ICAR (Consejo Indú de Investigación Agrícola) e instituciones de investigación africanas para desarrollar estrategias de investigación y manejo de este patógeno, que tiene una gran capacidad para mutar y vencer los genes de resistencia de las variedades de trigo cultivadas en el mundo. Los principales elementos para el control de Ug99 son: vigilancia de la enfermedad, control químico de brotes y destrucción de estos, reducción del cultivo de variedades susceptibles en las zonas con presencia de brotes de la Ug99, desarrollo de variedades con genes multiespecíficos para resistencia duradera y prácticas de manejo del

cultivo, por ejemplo, fechas de siembra diferidas, eliminación de plantas voluntarias de trigo, así como del hospedante alterno *Berberis* sp., diversificación varietal y de los sistemas de cultivo (EPPO, 2008; Singh *et al.*, 2015).

Medidas regulatorias

P. graminis f.sp. *tritici* raza TTKSK (UG99) está incluida en el Listado de Plagas Reglamentadas de México ante la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF, 2015).

VIGILANCIA FITOSANITARIA

EPIDEMIOLÓGICA

Con el fin de detectar de manera oportuna a la roya negra del tallo del trigo, la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV), a través del Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria (PVEF), realiza acciones para la detección temprana de esta plaga en entidades o regiones con elevado nivel de riesgo y parcelas centinela, establecidas estratégicamente con base en la distribución y superficie sembrada de hospedantes, etapas fenológicas y condiciones climáticas inductivas, biología de la plaga, rutas de comercialización y vías de comunicación, en los estados de Baja California, Baja California Sur, Coahuila, Chihuahua, Durango, estado de México Guanajuato, Hidalgo, Nuevo León, Puebla, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala y Zacatecas (SENASICA-DGSV-CNRF, 2017).

La descripción de las estrategias fitosanitarias para la Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria las podrá consultar en el link <https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/AccionOperativaV2.aspx>.

Toma y envío de muestras

La toma de muestras, se llevará a cabo toda vez que en las inspecciones visuales del cultivo se detecten síntomas sospechosos. Las muestras deberán ser enviadas al laboratorio de Micología

del Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria (CNRF) dependiente de la Dirección general de Sanidad Vegetal (DGSV).

La descripción de los manuales de toma y envío de muestras para la Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria la podrá consultar en el [link](https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/ReporteCiudadanoV2.aspx) <https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/ReporteCiudadanoV2.aspx>.

Alerta fitosanitaria

Con el objetivo de detectar oportunamente brotes de la enfermedad, la Dirección General de Sanidad Vegetal ha puesto a disposición pública el teléfono 01 (800) 987 98 79 y el correo electrónico: alerta.fitosanitaria@senasica.gob.mx para atender los reportes sobre la posible presencia de brotes emergentes.

BIBLIOGRAFÍA

Agrios, G. 1988. Plant Pathology. Third Edition. Academic Press, Inc. California. p. 458-462.

ARS-USDA. 2008. Action Plan to Minimize Impact of Ug99 Stem Rust in the United States. En [línea: https://www.ars.usda.gov/ug99/actionplan.pdf](https://www.ars.usda.gov/ug99/actionplan.pdf) Fecha de consulta: mayo de 2017.

CAB International. 2016. Puccinia graminis (stem rust of cereals) (datasheet). En [línea: http://www.cabi.org/isc/datasheet/45797](http://www.cabi.org/isc/datasheet/45797) Fecha de consulta: mayo de 2017.

CIMMYT. 2009. Enfermedades causadas por hongos. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. En [línea: http://www.cimmyt.org/spanish/docs/field_guides/enfplagas-trigo/Hongos.pdf](http://www.cimmyt.org/spanish/docs/field_guides/enfplagas-trigo/Hongos.pdf). Fecha de consulta: 28 de diciembre de 2009.

CSL, 2008. Information note for stem rust/black rust of wheat: Ug99 - a new virulent strain. En [línea: http://www.fera.defra.gov.uk/plants/plantHealth/pestsDiseases/documents/Ug99.pdf](http://www.fera.defra.gov.uk/plants/plantHealth/pestsDiseases/documents/Ug99.pdf) Fecha de consulta: enero de 2010.

EPPO. 2004. *Puccinia graminis f.sp. tritici* (PUCCGT). Overview: Basic information y Common names. EPPO Global Database. En [línea: https://gd.eppo.int/taxon/PUCCGT](https://gd.eppo.int/taxon/PUCCGT) Fecha de consulta: abril de 2017.

EPPO. 2008. Current spread of the Ug99 strain of *Puccinia graminis f.sp. tritici* in Africa and Asia. EPPO Global Database. EPPO Reporting Service no. 07 – 2008. Num. article: 2008/147. En [línea: https://gd.eppo.int/reporting/article-770](https://gd.eppo.int/reporting/article-770) Fecha de consulta: mayo de 2017.

FAO Newsroom. 2008. Wheat killer detected in Iran. Dangerous fungus on the move from East Africa to the Middle East. Food and Agriculture Organization of the United Nations. En [línea: http://www.fao.org/newsroom/en/news/2008/1000805/index.html](http://www.fao.org/newsroom/en/news/2008/1000805/index.html) Fecha de consulta: junio de 2017.

Figueroa M; Upadhyaya, N.M.; Sperschneider, J.; Park, R.F.; Szabo, L.J.; Steffenson, B.; Ellis, J.G. y Dodds, P.N. 2016. Changing the Game: Using Integrative Genomics to Probe Virulence Mechanisms of the Stem Rust Pathogen *Puccinia graminis f.sp. tritici*. *Front. Plant Sci.* 7:205. doi: 10.3389/fpls.2016.00205. En [línea: http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2016.00205/full](http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2016.00205/full) Fecha de consulta: junio de 2017.

Harder, D.E. y Chong, J. 1984. Structure and physiology of haustoria. In: *The Cereal*



- Rusts. I. Origins, Specificity. Structure, and Physiology. Bushnell, W. R., A. P. Roelfs (Eds), pp. 431–476, Academic Press, Florida.
- Hernández R.V.M. y Hodson D.P.** 2009. Modelación de dispersión y métodos de difusión de información de la plaga del trigo Stem Rust (*Puccinia graminis*). Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT). En línea: http://egal2009.easyplanners.info/area04/4060_HERNANDEZ_R_VICTOR.pdf. Fecha de Consulta: diciembre de 2011.
- Hodson, D.P.; Cressman, K.; Nazari, K.; Park, R.F.; Yahyaoui, A.** 2009. The global cereal rust monitoring system. Oral Papers 2009. Technical Workshop. En línea: http://www.globalrust.org/sites/default/files/posters/hodson_2009.pdf Fecha de consulta: mayo de 2017.
- IPPC.** 2017. International Standards for Phytosanitary Measures (ISPM) 8. Determination of pest status in an area. International Plant Convention (IPPC). 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: enero de 2019.
- IPPC.** 2018. International Standards for Phytosanitary Measures (ISPM) 5. Glossary of Phytosanitary Terms. International Plant Convention (IPPC). En línea: https://www.ippc.int/static/media/files/publication/es/2018/07/ISPM_05_2018_Es_2018-07-10_PostCPM13.pdf Fecha de consulta: enero de 2019.
- Katsuya, K. y Green, G.J.** 1967. Reproductive potentials of races 15B and 56 of wheat stem rust. Can. J. Bot. 45:1077-1091.
- Leonard, K. J.** 2001. Black stem rust biology and threat to wheat growers. Presentation to the Central Plant Board Meeting February 5-8, 2001, Lexington, Kentucky. EUA. En línea: www.ars.usda.gov/midwest-area/st-paul-mn/cereal-disease-lab/docs/barberry/black-stem-rust-biology-and-threat-to-wheat-growers/ Fecha de consulta: junio de 2017.
- Leonard, K.J. y Szabo, L.J.** 2005. Stem rust of small grains and grasses caused by *Puccinia graminis*. Mol. Plant Pathol. 6(2):99-111. doi: 10.1111/j.1364-3703.2005.00273.x. En línea: https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/50620500/Publications/KJL/p_graminis.pdf Fecha de consulta: junio de 2017.
- Luig, N.H.** 1985. Epidemiology in Australia and New Zealand. Pp. 301-328. A.P. Roelfs y W.R. Bushnell, (eds.) Cereal Rusts. Vol. 11; Diseases, Distribution, Epidemiology, and Control. Academic Press, Orlando.
- Mohamed, H.B.** 1960. Survival of stem rust urediospores on dry foliage of wheat. Phytopathology 50:400-401.
- Mont, R.M.** 1970. Studies fo nonspecific resistance to stem rust in spring wheat. M.S. Thesis, University of Minnesota, St. Paul. 61 pp.
- Mycobank.** 2016. General information, Classification and associated taxa. En línea: <http://www.mycobank.org/MB/455607> Fecha de consulta: marzo de 2017.
- NAPPO.** 2007. *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* race Ug99 (North American race designation: TTKS). Ug99 race of wheat stem rust continues to spread. En línea: <http://www.pestalert.org/viewNewsAlert.cfm?naid=36> Fecha de consulta: junio de 2017.



2017.

Appl. 44:143-148.

- Nazari, K. y Mafi, M.** 2013. Physiological races of *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* in Iran and evaluation of seedling resistance to stem rust in Iranian wheat cultivars. *Phytopathologia Mediterranea*, 52(1):110-122. En línea: <http://www.fupress.net/index.php/pm/article/viewFile/11135/12200> Fecha de consulta: junio de 2017.
- Newcomb, M.; Olivera, F. P.; Rouse, M. N.; Szabo, L.; Johnson, J. L.; Gale, S. W.; Luster, D.; R. Wanyera, G. Macharia, B. Sridhar, D. Hodson, M. Patpour, M. S. Hovmøller, T. Fetch, Y. Jin.** 2016. Kenyan isolates of *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* from 2008 to 2014: Virulence to SrTmp in the Ug99 race group and implications for breeding programs. *Phytopathology*. March 2016. En línea: <http://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PHYTO-12-15-0337-R> Fecha de consulta: junio de 2017.
- Olivera F. P.; Newcomb, M.; Szabo, L.J. ; Rouse, M; Johnson, J.; Gale, S.; Luster, D. G; Hodson, D; Cox, J. A.; Burgin, L.; Hort, M.; Gilligan, C. A.; Patpour, M.; Justesen, A. F.; Hovmøller, M. S.; Woldeab, G.; Hailu, E.; Hundie, B.; Tadesse, K.; Pumphrey, M.; Singh, R. P. y Jin, Y.** 2015. Phenotypic and genotypic characterization of race TKTF of *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* that caused a wheat stem rust epidemic in southern Ethiopia in 2013-14. *Phytopathology*, 105 (7):917-928. En línea: <http://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PHYTO-11-14-0302-FI> Fecha de consulta: mayo de 2017.
- Orr, G.F. y W.C Tippetts.** 1971. Deterioration of uredospores of wheat stem rust under natural conditions. *Mycopathol. Mycol.*
- Patpour, M; M. S. Hovmøller; A. A. Shahin; M. Newcomb; P. Olivera; Y. Jin; D. Luster; D. Hodson; K. Nazari; M. Azab.** 2016. First Report of the Ug99 Race Group of Wheat Stem Rust, *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*, in Egypt in 2014. *Plant disease* 100(4):863.
- Pretorius Z. A., R. P. Singh, W. W. Wagoire, T. S. Payne.** 2000. Detection of Virulence to Wheat Stem Rust Resistance Gene Sr31 in *Puccinia graminis*. f.sp. *tritici* in Uganda. *Plant disease* 84(2):203.
- Roelfs, A.P., R.P. Singh y E.E. Saari.** 1992. Las royas del trigo: Conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades. México, D.F. CIMMYT. 81 pp.
- Rowell, J.B.** 1984. Controlled infection by *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* under artificial conditions. Pp. 291-332-de A.P. Roells y W.R. Bushnell, Eds. *The Cereal Rusts Vol. I; Origins, Specificity, Structure, and Physiology*. Academic Press, Orlando, Florida, USA. for breeding programs. *Phytopathology*. March 2016. En línea: <http://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PHYTO-12-15-0337-R> Fecha de consulta: junio de 2017.
- Olivera F. P.; Newcomb, M.; Szabo, L. J. ; Rouse, M; Johnson, J.; Gale, S.; Luster, D. G; Hodson, D; Cox, J. A.; Burgin, L.; Hort, M.; Gilligan, C. A.; Patpour, M.; Justesen, A. F.; Hovmøller, M. S.; Woldeab, G.; Hailu, E.; Hundie, B.; Tadesse, K.; Pumphrey, M.; Singh, R. P. y Jin, Y.** 2015. Phenotypic and genotypic characterization of race TKTF of *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* that caused a wheat stem rust epidemic in southern Ethiopia in 2013-14. *Phytopathology*, 105 (7):917-928. En línea: <http://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/>



PHYTO-11-14-0302-FI Fecha de consulta:
mayo de 2017.

línea:http://rusttracker.cimmyt.org/?page_id=22 Fecha de consulta: diciembre de 2018.

Orr, G.F. y W.C Tippetts. 1971. Deterioration of uredospores of wheat stem rust under natural conditions. *Mycopathol. Mycol. Appl.* 44:143-148.

Salgado, J. D.; Roche, E. y Paul, P. A. 2016. Ohio State University Extension. Department of Plant Pathology. Rust diseases of wheat. En línea: <http://ohioline.osu.edu/factsheet/plpath-cer-12> Fecha de consulta: junio de 2017.

Patpour, M; M. S. Hovmøller; A. A. Shahin; M. Newcomb; P. Olivera; Y. Jin; D. Luster; D. Hodson; K. Nazari; M. Azab. 2016. First Report of the Ug99 Race Group of Wheat Stem Rust, *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*, in Egypt in 2014. *Plant disease* 100(4):863.

Schumann, G.L. y Leonard, K.J. 2000. Stem rust of wheat (black rust). The Plant Health Instructor. Actualizado en 2011. DOI: 10.1094/PHI-I-2000-0721-01. <http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/StemRust.aspx> Fecha de consulta: junio de 2017.

Pretorius Z. A., R. P. Singh, W. W. Wagoire, T. S. Payne. 2000. Detection of Virulence to Wheat Stem Rust Resistance Gene Sr31 in *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* in Uganda. *Plant disease* 84(2):203.

SIAP. 2017. Cierre de producción agrícola por cultivo. Ciclo agrícola 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. En línea: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. Fecha de consulta: diciembre 2018.

Roelfs, A.P., R.P. Singh y E.E. Saari. 1992. Las royas del trigo: Conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades. México, D.F. CIMMYT. 81 pp.

Rowell, J.B. 1984. Controlled infection by *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* under artificial conditions. Pp. 291-332-de A.P. Roells y W.R. Bushnell, Eds. *The Cereal Rusts Vol. I.; Origins, Specificity, Structure, and Physiology.* Academic Press, Orlando, Florida, USA.

Singh, R. P.; Hodson, D. P.; Jin, Y.; Lagudah, E. S.; Ayliffe, M. A.; Bhavani, S.; Rouse, M. N.; Pretorius, Z. A.; Szabo, L. J.; Huerta-Espino, J.; Basnet, B. R.; Lan, C. y Hovmøller, M. S. 2015. Emergence and spread of new races of wheat stem rust Fungus: Continued threat to food security and prospects of genetic control. *Phytopathology*, 105 (7): 872-884. En línea: <http://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PHYTO-01-15-0030-FI> Fecha de consulta: junio de 2017.

Rust Tracker, 2018a. Ug99 (Race TTKSK). Rust Tracker.org. A Global Wheat Rust Monitoring System. Página electrónica. En línea: http://rusttracker.cimmyt.org/?page_id=260 Fecha de consulta: diciembre de 2018.

Singh, T. S. 2011. Breeding strategies for stem rust resistance in wheat. Thesis. M.C. Plant Breeding and Genetics. Cornell University. E.U.A. 83 p.

Rust Tracker, 2018b. Pathotype Tracker – Where is Ug99? Status Summary: Ug99 Lineage – February 2016. Rust Tracker.org. A Global Wheat Rust Monitoring System. Página electrónica. En

Singh, R.P.; Hodson, D.P.; Jin, Y.; Huerta-



Espino, J. (2006) Current status, likely migration and strategies to mitigate the threat to wheat production from race Ug99 (TTKS) of stem rust pathogen. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources 54:1-13.

PLoS ONE 12 (2): e0171963. En línea: <http://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0171963&type=printable> Fecha de consulta: junio de 2017.

Forma recomendada de citar:

USDA. 2009. Wheat stem rust. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. En línea: <http://www.ars.usda.gov/Main/docs.htm?docid=9910> Fecha de consulta: diciembre de 2009.

SENASICA. 2019. Roya negra del tallo del trigo raza Ug99 (*Puccinia graminis* f.sp. *tritici* raza Ug99). Dirección General de Sanidad Vegetal-Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. Cd. de México. Ficha Técnica No. 25. 18 p.

Wanyera, J.; Macharia, K.; Kilonzo, S.M.; Kamundia, J.W. 2009. Foliar Fungicides to Control Wheat Stem Rust, Race TTKS (UG99), in Kenya Plant Disease, 93(9): 929-932.

Watson, I.A. y de Sousa, C.N.A. 1983. Long distance transport of spores of *Puccinia graminis tritici* in the Southern Hemisphere. Proc. Linn. Soc. N.S. W. 106:311-321.

Wheat, 2014. Wheat: Vital grain of civilization and food security. In: 2013 Annual Report, CGIAR Research Program on Wheat. CGIAR Research Program on Wheat (WHEAT), México, D.F. En línea: <http://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/4016/99544.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Fecha de consulta: junio de 2017.

WheatDoctor. s/a. Stem Rust. Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo. CIMMYT. En línea: <http://wheatdoctor.org/stem-rust> Fecha de consulta: junio de 2017.

Yu, L-X; Chao, S.; Singh, R.P.; Sorrells, M.E. 2017. Identification and validation of single nucleotide polymorphic markers linked to Ug99 stem rust resistance in spring wheat.