

FICHA TÉCNICA

Carbón de la espiga



Créditos: Quezada-Salinas, 2006

Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae



CONTENIDO

IDENTIDAD	1
Nombre científico.....	1
Clasificación taxonómica	1
Sinónimos.....	1
Nombres comunes	1
IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA PLAGA	1
SITUACIÓN FITOSANITARIA EN MÉXICO	1
HOSPEDANTES	2
DISTRIBUCIÓN MUNDIAL.....	2
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA	2
ASPECTOS BIOLÓGICOS	2
SÍNTOMAS	5
ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS	8
MÉTODOS DE DETECCIÓN/DIAGNÓSTICO	8
MUESTRO	9
MANEJO FITOSANITARIO	10
Cultural	10
Genético.....	11
Químico.....	11
Biológico.....	12
LITERATURA CITADA	12



IDENTIDAD

Nombre científico

Sporisorium reilianum f. sp. *zeae* (Kühn)
Langdon y Fullerton

Clasificación taxonómica

Reino: Hongos

Filo: Basidiomycota

Clase: Ustilaginomycotina

Orden: Ustilaginales

Familia: Ustilaginaceae

Género: *Sporisorium*

Especie: *Sporisorium reilianum* f.

sp. *zeae*

(EPPO, 2002).

Sinónimos

- *Sphacelotheca reiliana* (Khün) Clinton (Matyac y Kommedahl, 1985a; Matyac y Kommedahl, 1985b).

Nombres comunes

- Carbón de la espiga del maíz

IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA PLAGA

Este patógeno causa pérdidas importantes en el rendimiento en casi todas las regiones maiceras. En este contexto se han reportado pérdidas del 7.6% en Nueva Zelanda (Wright *et al.*, 2006), del 30-80% en Nepal (Pradhanang y Ghimire, 1996), del 31.35% en Minnesota (Stienstra *et al.*, 1985) y del 70% en Kenya (Njuguna, 1998). En México, el carbón de la espiga ha tenido mayor importancia en

la zona del Bajío, donde ha ocasionado pérdidas de hasta el 30%. Sin embargo, esta problemática se ha extendido a los estados del altiplano del país (Hidalgo y México) afectando a una gran cantidad de maíces criollos e híbridos comerciales. En 1988, en el estado de Hidalgo se reportaron pérdidas de hasta el 50% de la superficie sembrada con híbridos susceptibles. En el Valle del Mezquital, Hgo., en el año de 1998 se registraron 16.6 ha con carbón de la espiga del maíz y en 2003 ya existían 1275 ha con este problema; situación similar ocurrió con el número de híbridos afectados con carbón, ya que en el mismo período el número aumentó de 3 a 27 híbridos susceptibles a la enfermedad (Pérez *et al.*, 2006).

SITUACIÓN FITOSANITARIA EN MÉXICO

Sporisorium reilianum f. sp. *zeae*, se ha diseminado por varias regiones del país en localidades de Jalisco, Durango, Hidalgo, Puebla, Querétaro, Guanajuato, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Sonora, Tamaulipas y Aguascalientes, pero su distribución puede ser aún más extensa (Aquino-Martínez *et al.*, 2011). También se ha reportado en los valles del Mezquital y de Toluca en donde se siembran semillas de maíces híbridos que han mostrado susceptibilidad a la enfermedad (Pérez *et al.*, 2006, Martínez y Ledesma, 1990). Por lo anterior, en México de acuerdo a la NIMF No. 08, "Determinación de

la situación de una plaga en un área” (CIPF, 2016), el estatus es presente en algunas áreas.

HOSPEDANTES

Sporisorium reilianum f. sp. *reilianum* y *S. reilianum* f. sp. *zeae*, afectan sorgo y maíz, respectivamente. Sin embargo, ambas formas especiales pueden infectar e invadir a ambos hospedantes. *S. reilianum* f. sp. *reilianum*, es muy virulento en el sorgo, pero no produce esporas en el maíz, mientras que *S. reilianum* f. sp. *zeae* no causa enfermedad en el sorgo y los únicos síntomas observados son la presencia de fitoalexinas. También se ha reportado que *S. reilianum* afecta al pasto Sudán (Halisky, 1963; Alvarez-Cervantes *et al.*, 2016).

DISTRIBUCIÓN MUNDIAL

Se encuentra en varios países de Europa, Norte, Centro y Sur de América, África, Asia, Australia, Nueva Zelanda, India Occidental y Palestina (Stromberg, 1981; Bernardo *et al.*, 1992; Jin *et al.*, 2000).

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA

Este hongo se reproduce mediante teliosporas, las cuáles son de forma esférica a subesférica, de color café oscuro, equinuladas, con un diámetro de 6.4 a 11 μ (Figura 1A). Cuando las teliosporas germinan dan origen a un basidio (Figura 1A), el cual da origen a basidiosporas unicelulares saprofiticas (Figura 1B). El crecimiento esporidial ocurre en varios

medios de cultivo, pero el crecimiento filamentoso se ha observado solo en la planta hospedante (Wilson y Frederiksen, 1970) [Figura 1C-D], o cuando este se ha desarrollado en medio de cultivo que contiene extracto de la planta hospedante (Bhaskaran y Smith, 1995).

ASPECTOS BIOLÓGICOS

Requerimientos para su desarrollo

Entre los factores que influyen en el desarrollo del carbón de la espiga del maíz se encuentran: la humedad y temperatura del suelo, la fertilidad, la distancia de siembra y el tipo de suelo. Se ha reportado que la mayor cantidad de infección ocurre con temperaturas del suelo de 23-30 °C y con contenido de humedad bajo (Matyac y Kommedahl, 1985b; Baier y Krüger, 1962).

Los niveles de fertilidad del suelo pueden incrementar o reducir la frecuencia y desarrollo del carbón de la espiga. Esta enfermedad decrece cuando se aplica sulfato de amonio, pero se incrementa con la aplicación nitrato de calcio (Matyac y Kommedahl, 1985b). El tipo de suelo y distancia de siembra pueden afectar la incidencia de la enfermedad (Stromberg, 1981; Lynch *et al.*, 1980).

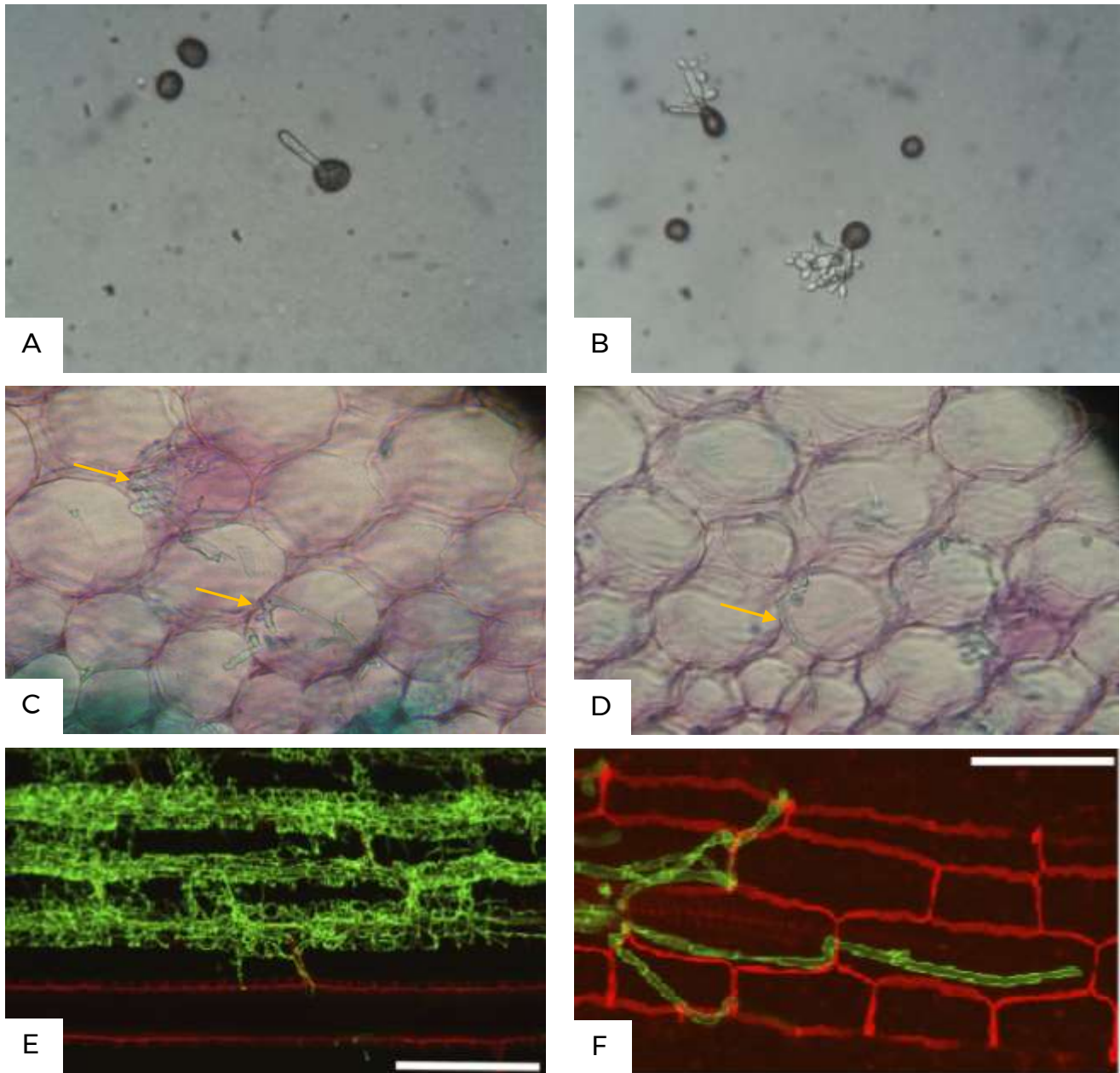


Figura 1. *Sporisorium reilianum* f. sp. *zae*. Fase saprofítica de en medio de cultivo PDA: A) Germinación de teliospora y desarrollo de basidio; B) Basidio septado y producción de basidiosporas. En el hospedante: C y D) Crecimiento filamentos en tallo de maíz. Créditos: Quezada-Salinas, 2007; E) Hoja de la planta, las hifas fúngicas proliferan a lo largo de los haces vasculares, muestras teñidas con flúor (verde; hifas fúngicas) y teñidas con yoduro de propidio (rojo; células vegetales) visualizadas por microscopía confocal, barra = 300 μ m; F) Primer plano de hifas fúngicas que colonizan células del haz vascular de la vaina, barra = 50 μ m. Créditos: Ghareeb et al., 2011.

Mack *et al.* (1984) reportan que la incidencia de la enfermedad se reduce con riegos tempranos y frecuentes (un total de 15-20 cm de agua durante los primeros 18 a 21 días después de la siembra), comparado con la no irrigación durante el mismo período. El porcentaje de infección se incrementa conforme aumenta la profundidad de siembra de 2.5 a 7.6 cm. Estos autores también reportan una menor infección en plantas que provenían de semillas grandes en comparación con las de semillas pequeñas.

Ciclo de la enfermedad

El hongo *S. reilianum* f. sp. *zeae* inverna como teliosporas en el suelo y ocasionalmente sobre la semilla. La supervivencia del hongo se ve favorecida en suelos con bajo contenido de humedad más que en los húmedos (Matyac y Kommedahl, 1986).

Cuando se presentan las condiciones óptimas de temperatura y humedad del suelo, las teliosporas germinan dando origen a un filamento corto llamado promicelio o probasidio, en el cual el núcleo diploide migra y experimenta la meiosis dando como resultado cuatro células, cada una con un núcleo haploide. Estas células dan origen a basidiosporas, las cuales dan origen a otras y así sucesivamente formando cadenas de células haploides denominadas esporidias. Las esporidias tienen la característica de

poseer tipos de acoplamiento opuestos (+ y -), generalmente producidos en igual número (Ingold, 1994; Téféri *et al.*, 1989; Baier y Krüger, 1962).

Esporidias con tipos de acoplamiento opuesto se unen dando origen a hifas infectivas dicarióticas (binucleadas). Estas hifas dicarióticas infectan a las plántulas de maíz vía mesocotilo o raíz (Martínez *et al.*, 2002; Martínez *et al.*, 2000; Fowler, 1985) e invaden sistémicamente los tejidos del meristemo y el tejido floral indiferenciado (Martínez *et al.*, 1999; Matyac, 1985; Fullerton, 1970). Durante la floración, tanto en la espiga como en la mazorca, aparecen soros, los cuales se forman por la aglutinación de gran cantidad de micelio (Pataky, 1999). Posteriormente las células binucleadas de las hifas (presentes en los soros) se agrandan y gelatinizan, subsecuentemente se separan y se forma una gruesa pared celular alrededor de cada una, dando origen a teliosporas diploides uninucleadas. La fusión nuclear (cariogamia) ocurre en algún punto durante la formación de la teliospora (Kahmann y Kämper, 2004). Al madurar, los soros se rompen y dejan expuesta la masa de teliosporas que es dispersada por el viento y lluvia (Montes y Díaz, 2006) [Figura 2].



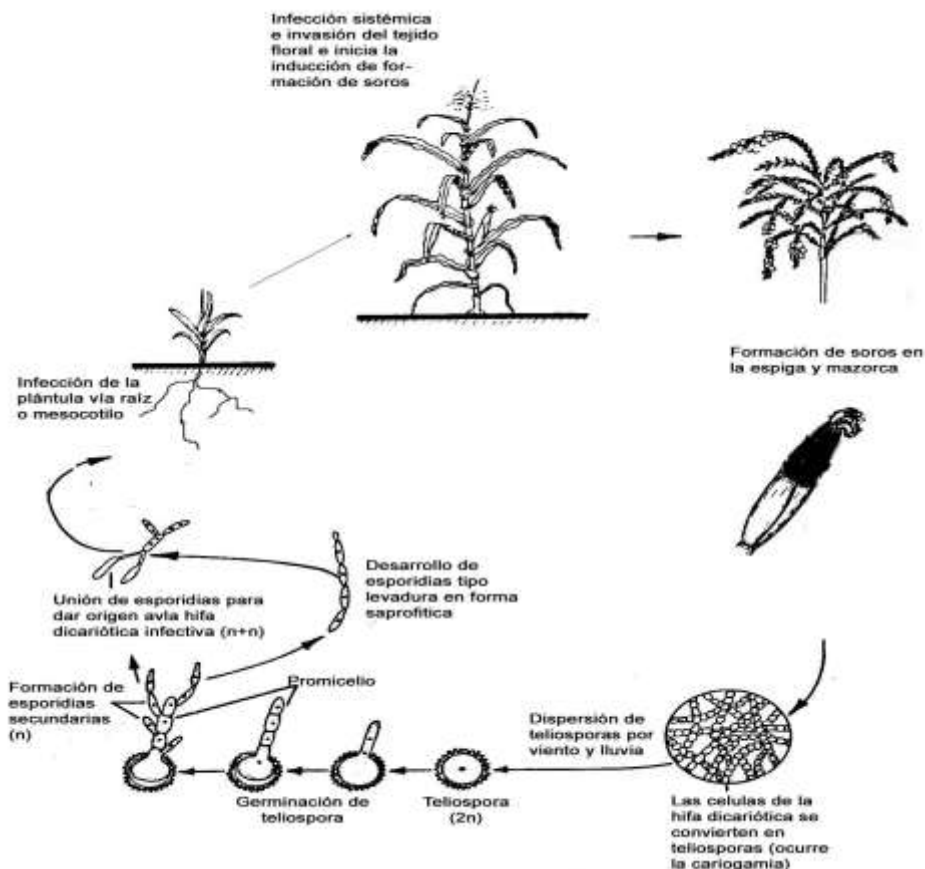


Figura 2. Ciclo de vida de *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*. Tomado y modificado de Kahmann y Kämper, 2004.

SÍNTOMAS

El principal síntoma de la enfermedad es el desarrollo de soros en la espiga (flor masculina) y en la mazorca (flor femenina) (Figura 3 y 4), los cuales sustituyen la formación de grano y polen ocasionando pérdidas en la producción (Njuguna, 1998; Baggett y Kean, 1989). Un soro es una masa compacta de teliosporas, cubierto con una delgada membrana de color blanca a

grisácea la cual al madurar se rompe y libera las teliosporas. También se han observado síntomas tempranos como el desarrollo de manchas cloróticas en hojas de plántulas infectadas (Figura 5), acumulación de antocianina en el tallo (Matyac y Kommedhal, 1985a) y enanismo de plantas ocasionado por el acortamiento de entrenudos (Stromberg et al., 1984; Halisky, 1963).



Figura 3. Síntomas causados por *Sporisorium reilianum* f. sp. *zae* en la espiga de plantas de maíz.
Créditos: Quezada-Salinas, 2007.



Figura 4. Síntomas causados por *Sporisorium reilianum* f. sp. *zae* en la mazorca de plantas de maíz. Créditos: Quezada-Salinas, 2007.



Figura 5. Manchas cloróticas en hojas de maíz causadas por la infección de *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*. Arriba, planta inoculada. Abajo, planta sin inocular. Créditos: Quezada-Salinas, 2007.

ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS

Requerimientos para su desarrollo

El carbón de la espiga es una enfermedad que es favorecida por un clima templado subhúmedo con lluvias de verano (García, 1988).

Sobrevivencia y dispersión

El hongo sobrevive hasta por 10 años como teliospora en el suelo, donde germina para infectar las plántulas en crecimiento. Las teliosporas persisten en el siguiente ciclo de cultivo (CIMMYT, 2004) y presentan una distribución espacial agregada (Ramírez-Dávila *et al.*, 2012). Las teliosporas pueden ser dispersadas por la lluvia, el viento, la vida

silvestre, la maquinaria agrícola o los seres humanos (Frederiksen, 1977; Matyac y Kommedahl, 1985b).

MÉTODOS DE DETECCIÓN/DIAGNÓSTICO

En la actualidad, el diagnóstico se basa en la presencia o ausencia de soros, que generalmente se hacen visibles después de la floración, los soros son masas carbonosas de coloración negra; estas estructuras son desnudas, a diferencia del carbón común causado por *Ustilago maydis*, donde están cubiertas por un tejido membranoso blanco con remanentes del sistema vascular de la planta (Alvarez-Cervantes *et al.*, 2016) [Figura 6].



Figura 6. Diferencia en síntomas y signos causados por la infección por *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae* (Izquierda) y *Ustilago maydis* (Derecha) en plantas de maíz. Créditos: Quezada-Salinas, 2007.

Asimismo, la identificación se puede realizar mediante técnicas moleculares, en este sentido, Xu *et al.* (1999), desarrollaron un análisis basado en el ADN, altamente específico y sensible para la detección de *S. reilianum* y que permite diferenciarlo de *Ustilago maydis*, que causa el carbón común, que muestra síntomas muy similares a los del carbón de la espiga; la técnica consiste en realizar una PCR convencional utilizando pares de iniciadores específicos para *S. reilianum* como SR1-(5'-CAGGTTATGTATGGGCCG-3'; 5'-TTGAGCGATGACCATTCC-3'), SR3-(5'-GCAGCCTCAGCATTACTC-3'; 5'-ATACACCTGTGACGGCTG-3') que amplifican un fragmento de 0.96 y 0.68 kb,

respectivamente. Los productos de PCR se clonan, secuencian y se comparan con secuencias depositadas en bases de datos para verificar su identidad.

MUESTRO

La inspección para la detección de plantas con síntomas sospechosos a carbón de la espiga se deberá realizar a partir del inicio de la floración mediante el sistema de Guarda Griega (Figura 7), el recorrido se iniciará principalmente en las orillas del área de cultivo, el muestreo será dirigido a aquellas plantas que presenten síntomas visibles en la espiga, en el caso de la mazorca, será necesario abrirla para observar los síntomas en granos.

Se colectarán 2 muestras sintomáticas por cada planta enferma. El tejido colectado se depositará en papel secante, posteriormente se colocaran en bolsas de polietileno y se etiquetaran con los datos correspondientes: producto o cultivo, variedad, fase fenológica, parte vegetal (espiga o mazorca), uso del producto, destino del producto, fecha de muestreo, cantidad de muestras, nombre y correo electrónico del colector, lugar de muestreo, coordenadas y croquis de localización, lugar, municipio y estado, datos del productor (nombre, domicilio, dirección, teléfono, correo electrónico) y fotografías de los síntomas sospechosos.

Las muestras colectadas se conservarán y transportarán en hieleras con geles refrigerantes y se enviarán de manera inmediata a un laboratorio aprobado para su para su diagnóstico.

Se deberá marcar cada planta muestreada a fin de ubicar aquellas que resulten positivas a la enfermedad para posteriormente muestrear las plantas aledañas y/o aplicar las medidas de manejo.

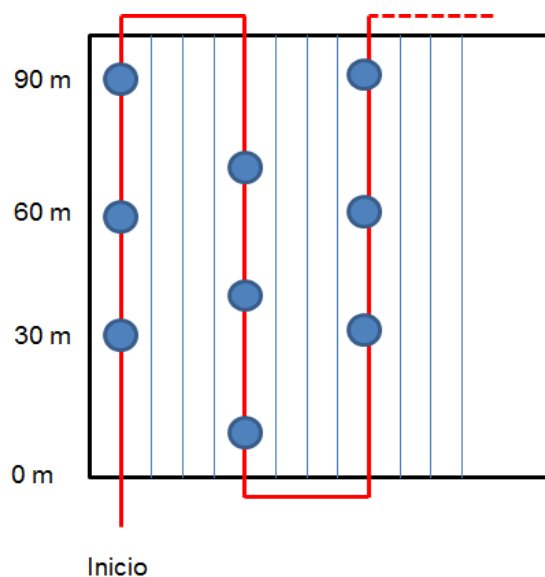


Figura 7. Esquema de muestreo en guarda griega para la detección de síntomas ocasionados por *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae* en maíz.

MANEJO FITOSANITARIO

Debido a que el inóculo se encuentra en el suelo de cultivo, el control del carbón de la espiga se realiza principalmente mediante el uso de cultivares resistentes y tratamiento a la semilla con fungicidas, en donde el principal objetivo es evitar la infección durante el desarrollo de la plántula. La rotación de cultivos es poco recomendable y cuestionable debido a que las esporas pueden sobrevivir en el suelo hasta por 10 años (Wu et al., 1981; Grisenko y Dudka, 1979; McDougall, 1941).

Cultural

En el caso del cultivo de sorgo, para el control de *Sporisorium reilianum* se ha determinado que la siembra a profundidades superiores a

6 cm se puede utilizar para minimizar el impacto del carbón de la panoja en ausencia de otros métodos de control (Prom *et al.*, 2014).

Genético

La resistencia del hospedante es la estrategia más conveniente, evita daños ecológicos y reduce costos de producción (Baggett y Koepsell, 1983; Stromberg *et al.*, 1984; Song *et al.*, 2000; Aquino *et al.*, 2011). Entre los estudios efectuados para identificar genotipos resistentes al carbón de la espiga destacan los realizados en Sudáfrica (Krüger, 1962), Estados Unidos (Baggett y Koepsell, 1983), Kenya (Njuguna y Odhiambo, 1989; Njuguna, 2001), Francia (Lübberstedt *et al.*, 1999) y China (Duan *et al.*, 1992; Wang *et al.*, 2008). En México, en los últimos años se han realizado diversos trabajos en los Valles Altos (Estados de Hidalgo y de México), mediante programas de mejoramiento para la selección de materiales con resistencia; de esta forma, el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Alimentaria a través de la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV) y el Colegio de Postgraduados (CP), crearon proyectos de mejoramiento genético en los que se incluyó la selección de poblaciones y líneas de maíz con resistencia al carbón de la espiga. En los Estados de México e Hidalgo se formaron poblaciones de maíz con amplia base genética de endospermo blanco y amarillo con el propósito de seleccionar

materiales resistentes a *S. reilianum* f. sp. *zeae* implementando un programa de selección recurrente.

Los métodos de selección recurrente de progenies o líneas autofecundadas S1 y S2, son los más usados para mejorar la resistencia a plagas y enfermedades; además de incrementar su eficiencia aumentando la frecuencia de genes favorables de una o más características agronómicas bajo selección y mantiene la variabilidad genética para continuar la selección (Hallauer y Miranda, 1988; Hallauer, 1992). De esta forma Quezada-Salinas *et al.* (2017), mediante la inoculación con teliosporas y siembra en invernadero, identificaron líneas de maíz con diferente porcentaje de infección y se seleccionaron las resistentes, sirviendo de referencia para futuros trabajos hasta obtener la variedad sintética de endospermo blanco CP-VERO 1, la cual presenta resistencia al carbón de la espiga (De León-García, 2020).

Químico

El control químico se ha utilizado principalmente en el tratamiento de la semilla de maíz con fungicidas como propiconazol, carboxin, tebuconazol, azoxistrobin, flutriafol+sulfato de imazalil y carboxin+thiram (Stienstra *et al.*, 1985; Martínez y Ledesma, 1990; Pradhanang y Ghimire, 1996; Wright *et al.*, 2006). En este sentido, se ha reportado que mediante el uso

de propiconazol, flutriafol+sulfato de imazalil, se obtienen un porcentaje de infección del 2.3% y 2.4%, respectivamente; y con carbendazim, tebuconazol y azoxistrobin de entre 5-6% (Wright *et al.*, 2006).

Biológico

En los últimos años, se han evaluado nuevas formas de control, uno de esos casos es el uso de agentes de control biológico que representan una alternativa para el manejo de la enfermedad, reduciendo el uso de fungicidas químicos. Al respecto, Mercado-Flores *et al.* (2014), validaron la aplicación de una cepa nativa de *Bacillus subtilis* a un área productora de maíz en el Valle Mezquital en la parte central de México. Se encontró que el tratamiento biológico redujo significativamente el porcentaje de incidencia del carbón al tiempo que aumentaba la productividad del maíz.

LITERATURA CITADA

Alvarez-Cervantes J, Hernandez-Dominguez EM, Tellez-Tellez M, Mandujano-Gonzalez V, Mercado-Flores Y, Diaz-Godínez G. 2016. *Stenocarpella maydis* and *Sporisorium reilianum*: Two Pathogenic Fungi of Maize. DOI:10.5772/62662

Aquino-Martínez JG, Sánchez-Flores A, González-HuertaA, Sánchez-Pale JR. 2011. Resistencia de variedades e híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a *Sporisorium reilianum* y su

rendimiento de grano. Revista Mexicana de Fitopatología, 29: 39-49.

Baggett JR, Kean D. 1989. Reduction of plant height by head smut infection in sweet corn cultivars. HortScience, 24: 497-499.

Baggett JR, Koepsell PA. 1983. Field inoculation of sweet corn with the head smut pathogen (*Sphacelotheca reiliana*). HortScience, 18: 67-68.

Baier W, Krüger W. 1962. *Sphacelotheca reiliana* on maize. II-Field studies on the effect of soil conditions. South African Journal of Agricultural Science, 5: 183-190.

Bhaskaran S, Smith RH. 1995. Effect of proteolytic and glycolytic enzymes on a factor in *Sorghum bicolor* that induces mycelial growth in the smut fungus, *Sporisorium reilianum*. Mycopathologia, 130: 95-101.

CIMMYT. 2004. Enfermedades del Maíz: Una Guía para su Identificación en Campo. El Batán, México, D.F. 119 pp.

De León-García de Alba C. 2020. CP-Vero 1, white maize (*Zea mays*) synthetic variety resistant to head smut (*Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*) for Mexican highlands. Mexican Journal of Phytopathology, 38(1). DOI: 10.18781/R.MEX.FIT.1910-2

Duan YZ, Li XX, Ai FZ, Yang JH, Li FM. 1992. Selection and identification on resistance resource of corn head smut of Shanxi Province. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1: 83-86.

EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). 2002. EPPO Global

Database. *Sphacelotheca reiliana* (SPHTR).
En línea: <https://gd.eppo.int/taxon/SPHTR>
Fecha de consulta: 27 de julio de 2020.

Fowler M. 1985. Diseases of maize in New Zealand. In: Maize management to market. Special Publication No. 4. Agron. Soc. New Zealand.

Frederiksen R. 1977. Head smuts of corn and sorghum. In: Proceedings, 32nd Annual corn and Sorghum Research Conference; Washington DC 1977; pp. 89-105

Fullerton RA. 1970. An electron microscopy of the intracellular hyphae of some smut fungi (Ustilaginales). Australian Journal of Botany, 18: 285-292.

Ghareeb H, Becker A, Iven T, Feussner I, Schirawski J. 2011. *Sporisorium reilianum* Infection Changes Inflorescence and Branching Architectures of Maize. Plant Physiology, 156(4): 2037-2052. DOI: 10.1104/pp.111.179499

Grisenko GV, Dudka EL. 1979. The survival of chlamydospores of *Sporisorium reilianum* (Kuehn) McAlp., in the field. Plant Pathology, 58: 496.

Halisky PM. 1963. Head smut of sorghum, sudan grass, and corn, caused by *Sphacelotheca reiliana* (Kühn) Clint. Hilgardia, 34: 287-304.

Hallauer AR. 1992. Recurrent selection in maize. Plant Breeding Reviews, 9: 115-119.

Hallauer AR, Miranda JB. 1988. Quantitative genetics in plant breeding. 2nd ed. Iowa State Univ. Ames, IO.

Ingold CT. 1994. Products of teliospore germination in *Sporisorium* spp. Mycological Research, 98: 467-473.

Jin QM, Li JP, Zhang XW, Wang CX, Song SY, Liu YC, Wang LX. 2000. Establishment IPM of system of corn diseases and pest insects in the spring corn belt. Journal Maize Science, 8: 84-88.

Kahmann R, Kämper J. 2004. *Ustilago maydis*: how its biology relates to pathogenic development. New Phytologist, 164: 31-42.

Krüger W. 1962. *Sphacelotheca reiliana* on maize. I. Infection and control studies. South African Journal of Agricultural Science, 5: 43-56.

Lübberstedt T, Xia XC, Tan G, Liu X, Melchinger AE. 1999. QTL mapping of resistance to *Sporisorium reiliana* in maize. Theoretical and Applied Genetics, 99: 593-598.

Lynch KV, Edington LV, Busch LV. 1980. Head smut: A new disease of corn in Ontario. Canadian Journal of Plant Pathology, 2: 176-178.

Mack HJ, Baggett JR, Koepsell PA. 1984. Effects of cultural practices on the incidence of head smut in sweet corn. HortScience, 19: 77-78.

Martinez CA, Roux C, Jauneau A, Dargent R. 2002. The biological cycle of *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*: an overview using microscopy. Mycologia, 94: 505-514.

Martinez CA, Jauneau C, Roux C, Savy C, Dargent R. 2000. Early infection of maize

roots by *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*. Protoplasma, 213: 83-92.

Martínez C, Roux C, Dargent R. 1999. Biotrophic development of *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae* in vegetative shoot apex of maize. Biochemistry and Cell Biology, 89: 247-253.

Martínez RJL, Ledesma MJ. 1990. Control químico del carbón de la espiga *Sphacelotheca reiliana* (Kühn) Clint., del maíz, en el valle de Zapopan, Jalisco. Revista Mexicana de Fitopatología, 8: 68-70.

Matyac CA, Kommedahl T. 1986. Survival of teliospores of *Sphacelotheca reiliana* in soil. Phytopathology, 76: 487-490.

Matyac CA. 1985. Histological development of *Sphacelotheca reiliana* on *Zea mays*. Phytopathology, 75: 924-929.

Matyac CA, Kommedahl T. 1985a. Occurrence of chlorotic spots on corn seedlings infected with *Sphacelotheca reiliana* and their use in evaluation of head smut resistance. Plant Disease, 69: 251-254.

Matyac CA, Kommedahl T. 1985b. Factors affecting the development of head smut caused by *Sphacelotheca reiliana* on corn. Phytopathology, 75: 577-581.

McDougall JC. 1941. Report of the working of the Department of Agriculture in the Central Provinces and Berar for the year ending 31st March. Review of Applied Mycology, 20: 289.

Mercado-Flores Y, Cárdenas-Álvarez O, Rojas-Olvera V, Pérez-Camarillo P, Leyva-Mir G, Anducho-Reyes A. 2014. Application of

Bacillus subtilis in the biological control of the phytopathogenic fungus *Sporisorium reilianum*. Biological Control, 76: 36-40. DOI:10.1016/j.biocontrol.2014.04.011

Montes GN, Díaz FA. 2006. Fitopatología. pp. 192-213. En: L.A. Rodríguez del Bosque (ed.). Campo Exptl. Río Bravo: 50 años de Investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas, Historia, Logros y Retos. Cap. 12. Libro Técnico No. 1. Campo Exptl. Río Bravo. INIFAP. Río Bravo, Tamaulipas, México. 325 p.

Njuguna JGM. 2001. Combating head smut of maize caused by *Sphacelotheca reiliana* through resistance breeding. Seventh East. and South. Africa Reg. Mize Conf. pp 110-112.

Njuguna JGM. 1998. Potential for control of head smut caused by *Sphacelotheca reiliana* in CIMMYT maize germplasm. Sixth East. South. Africa Reg. Maize Conf. NARC Muguga, Nairobi, Kenya. pp. 67-68.

Njuguna JGM, Odhiambo RO. 1989. Head smut distribution, expression and genetic resistance of maize to *Sphacelotheca reiliana* in Kenya. East African Agricultural and Forestry Journal, 55: 81-83.

Pataky JK. 1999. Smuts. pp 33-35. In: White D.G. (ed). Compendium of corn diseases. 3rd. Edit. St. Paul, MN. APS Press.

Pérez CJP, Bobadilla MM, Velásquez CG, Zacatenco GMA, Espinoza CA. 2006. Logros y aportaciones de la investigación en maíz de riego en el Valle del Mezquital, Hidalgo. pp. 55-65. En: Memorias de veinte años de investigación y desarrollo tecnológico. Campo

Exptl. Pachuca, Hidalgo, INIFAP, Pachuca, México. pp: 55-65.

Pradhanang PM, Ghimire SR. 1996. Fungicide management of maize head smut (*Sphacelotheca reiliana*) by seed treatment. *Tropical Agriculture*, 73: 325-328.

Prom LK, Montes-García N, Odvody GN. 2014. Influence of planting depths on the incidence of sorghum head smut, caused by *Sporisorium reilianum*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17: 33-38.

Quezada-Salinas A, Moreno-Velázquez M, De LeónGarcía de Alba C, Nava-Díaz C, Solano-Báez AR. 2017. Genetic resistance to *Sporisorium reilianum* f. sp. *zea* in selected maize (*Zea mays* L.) lines with white and yellow endosperm. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 35(3): 534-548.

Ramírez-Dávila JF, Sánchez-Pale JR, Porcayo-Camargo E, De León C. 2012. Determination of spatiotemporal stability of corn head smut (*Sporisorium reilianum*) by SADIE. *Ciencia e Investigación Agraria*, 39(3): 459-471.

Simpson WR, Fenwick HS. 1971. Suppression of corn head smut with Carboxin seed treatments. *Plant Disease. Reporter*, 55: 501-503.

Song SY, Sun XH, Guo WG, Liu JR. 2000. Identification of germplasm for resistance to head smut in maize. *Agricultural Science Jilin*, 25: 32-33.

Stienstra WC, Kommedahl T, Stromberg EL, Matyac CA, Windels CE, Morgan F. 1985.

Suppression of Corn head smut with seed and soil treatments. *Plant Disease*, 69: 301-302.

Stromberg EL, Stienstra WC, Kommedahl T, Matyac CA, Windels CE. 1984. Smut expression and resistance of corn to *Sphacelotheca reiliana* in Minnesota. *Plant Disease*, 68: 880-884.

Stromberg EL. 1981. Head smut of maize: A new disease in Minnesota. *Phytopathology*, 71: 906.

Téféri A, Petitprez M, Valles V, Albertini L. 1989. Influence of soil water potential and soil texture on infection of maize by head smut. *Agronomie*, 9: 677-682.

Wang ZH, Li XH, Xie CX, Li MS, Hao ZF, George MLC, Xiao MJ, Gao SR, Zhang SH. 2008. Genetic diversity in a collection of chinese maize inbred lines for resistance to head smut caused by *Sporisorium reiliana*. *Maydica*, 53: 47-54.

Wilson JM, Frederiksen RA. 1970. Histopathology and the interaction of *Sorghum bicolor* and *Sphacelotheca reiliana*. *Phytopathology*, 60: 828-832.

Wright PJ, Fullerton RA, Koolaard JP. 2006. Fungicide control of head smut (*Sporisorium reilianum*) of sweetcorn (*Zea mays*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 34: 23-26.

Wu X, Pang Z, Tian L, Hu J. 1981. On the environmental factors affecting infection and cultural measures of controlling corn head smut. *Acta Phytophylacica Sinica*, 8: 41-46.

Xu ML, Melchinger AE, Lübberstedt T. 1999. Species-specific detection of the maize pathogens *Sporisorium reilianum* and *Ustilago maydis* by dot blot hybridization and PCR-based assays. *Plant Disease*, 83: 390-395.

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

Forma recomendada de citar:

DGSV-CNRF. 2020. *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*. Sader-Senasica. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Ficha técnica. Tecámac, Estado de México, 16 p.



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