



## Resistencia de variedades de triticale (x *Triticosecale*) a *Fusarium* spp.

Gloria Sánchez-Jiménez<sup>1</sup>, Santos Gerardo Leyva-Mir<sup>1</sup>, Mateo Vargas-Hernández<sup>1</sup>, María Florencia Rodríguez-García<sup>2\*</sup>, Héctor Eduardo Villaseñor-Mir<sup>2</sup>. <sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, Km. 38.5. Chapingo, Estado de México. CP 56230. <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México, Carretera Los Reyes-Texcoco Km. 13.5 Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, CP 56250, México.

**\*Autor de Correspondencia:**

María Florencia  
Rodríguez García  
rodriguez.maria@inifap.gob.  
mx

**Sección:**

Edición periódica

**Revisión:**

24 Noviembre, 2024

**Aceptado:**

20 Marzo, 2025

**Publicado:**

14 Abril, 2025

**Cita:**

Sánchez-Jiménez G, Leyva-Mir SG, Vargas-Hernández M, Rodríguez-García MF y Villaseñor-Mir HE. 2025. Resistencia de variedades de triticale (x *Triticosecale*) a *Fusarium* spp. Revista Mexicana de Fitopatología 43(2): 61.  
<https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2305-3>

### RESUMEN

**Antecedentes/Objetivo.** El tizón de la espiga causado principalmente por especies de *Fusarium* spp., es una enfermedad que afecta el rendimiento y calidad del grano de cereales. El objetivo fue evaluar la resistencia en planta adulta de siete variedades de triticale a *Fusarium boothii*, *F. camptoceras* y *F. graminearum*.

**Materiales y Métodos.** Se estableció un experimento bajo condiciones de invernadero en el INIFAP-CEVAMEX. Las pruebas de patogenicidad se realizaron durante la etapa de floración, por medio de inoculación puntual mediante el método del algodón. Se evaluó la severidad de la enfermedad en las espigas a los 4, 9, 14, 19 y 26 días después de la inoculación.

**Resultados.** El análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre variedades donde se observó una variación en la resistencia. Las variedades Siglo TCL21 (3.1 a 6.4 %) y Bicentenario TCL08 (0.8 a 6.8 %) presentaron las menores severidades y fueron resistentes a las tres especies de *Fusarium*, mientras que Secano TCL96 fue la variedad más susceptible a *F. boothii* presentando 47.6 % de severidad; para *F. camptoceras* y *F. graminearum* la variedad más susceptible fue Caborca TCL79 con un porcentaje de severidad de 54.3 y 43.3 % respectivamente. El peso de grano por espiga se vio afectado hasta en un 90 % en variedades susceptibles.

**Conclusión.** Es importante considerar en los programas de mejoramiento genético de triticale la incorporación de resistencia a diversas especies de *Fusarium*, sobresaliendo en el presente estudio Siglo TCL21 y Bicentenario TCL08.

**Palabras clave:** Severidad, Tizón, Espiga



## INTRODUCCIÓN

El triticale ( $\times$  *Triticosecale*) es un híbrido intergenérico de trigo (*Triticum* spp.) con centeno (*Secale cereal*). El objetivo inicial de su mejoramiento estuvo enfocado en combinar las mejores cualidades del trigo y centeno, siendo una excelente alternativa en zonas no aptas para la producción de trigo (Dobrevá, 2016; Góral *et al.*, 2015; CIMMYT, 1976). En México el triticale durante el 2019 se sembró en 24 152 ha, con una producción de 450 518 t de forraje en verde y 23 039 t de grano; los principales estados productores de forraje en verde fueron Durango, Querétaro y Chihuahua, mientras que el Estado de México fue el principal productor de grano (SIAP, 2023). La producción de triticale es principalmente para la alimentación animal; sin embargo, en los últimos años se han realizado mejoras genéticas al cultivo para aumentar la calidad del grano para consumo humano (McGoverin *et al.*, 2011; Mergoum *et al.*, 2009).

Al inicio de su creación, el triticale era considerado resistente a diferentes plagas; sin embargo, la expansión de su área de cultivo incrementó la presión de selección de diversos organismos perjudiciales, aumentando la susceptibilidad de este cereal a plagas insectiles y enfermedades propias del centeno y trigo; de estas, las enfermedades actualmente son una de las principales limitantes para la producción de esta especie destacando el tizón o fusariosis de la espiga (FE) (Dobrevá, 2016; Góral *et al.*, 2015).

El tizón de la espiga es una de las enfermedades más agresiva de los cereales de grano pequeño (Backhouse, 2014; Magliano y Chulze, 2013; Zillinsky, 1984). En todo el mundo se han reportado graves epidemias por esta enfermedad que han disminuido el rendimiento hasta un 80 % y han demeritado la calidad del grano (Alisaac y Mahlein 2023); disminuyendo el peso y cantidad de proteína del mismo, afectando su composición de carbohidratos, así como también su contaminación con micotoxinas pertenecientes a la clase de los tricotecenos, principalmente, el deoxinivalenol (DON) y nivalenol (NIV), que son perjudiciales para la salud humana y animal, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria (Magliano y Chulze, 2013; Sobrova *et al.*, 2010; Veitch *et al.*, 2008).

Hasta hace poco tiempo se consideraba a *F. graminearum* (teleomorfo: *Gibberella zeae* (Schwein)) como el principal agente causal (McMullen *et al.*, 2012). Sin embargo, existen otras especies que pueden estar asociadas a la enfermedad, esto depende de las condiciones climáticas (temperatura y humedad relativa), la zona geográfica y el cultivo (Xu y Nicholson, 2009; Qu *et al.*, 2008). En México, las especies predominantes son *F. graminearum* y *F. boothii*, así como también *F. culmorum*, *F. equiseti*, *F. avenaceum* y *F. tricinctum* (Cerón-Bustamante *et al.*, 2018; Leyva-Mir *et al.*, 2017; Osman *et al.*, 2015; Ireta y Gilchrist, 1994). El tizón de la espiga es una enfermedad difícil de controlar, debido a su naturaleza agresiva. No obstante, el uso de variedades resistentes es determinante en la planeación y ejecución de un manejo integral, por ser considerado el método más económico, efectivo y sostenible para su manejo (Gilbert y Fernando, 2004; McMullen *et al.*, 1997).

Las pocas investigaciones realizadas en triticale reportan una amplia variación en la resistencia al tizón de la espiga. Góral y Arseniuk (2003) indicaron que existe una variación significativa entre genotipos de triticale para resistencia a *Fusarium*. Según Oettler y Wahle (2001) y Góral *et al.* (2021), el triticale es menos susceptible al tizón de la espiga que el trigo. En un estudio comparativo que realizó Góral (2009) encontró que

las líneas de triticales de invierno infectadas por *F. culmorum* presentaron dos veces menos severidad de síntomas que las líneas de trigo.

En la actualidad, en México, no se tienen investigaciones acerca de los niveles de resistencia que tiene el tritical al tizón de la espiga. Lo anterior refleja la necesidad de realizar estudios de caracterización de la resistencia de las variedades de este cereal lo que también permitirá detectar nuevas fuentes de resistencia que puedan introducirse en los programas de mejoramiento. El objetivo de la investigación fue evaluar el nivel de resistencia bajo condiciones de invernadero de siete variedades de triticales a la infección causada por *F. graminearum*, *F. boothii* y *F. camptoceras*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Ubicación del experimento.** El experimento se estableció durante los años 2018 y 2019, en el Laboratorio Nacional de Royas y otras Enfermedades de Cereales (LANAREC), perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) localizado a 19° 29' LN y 98° 54' LO a una altitud de 2 260 msnm.

**Variedades.** Se evaluaron siete variedades de triticales que se han sembrado en México: Caborca TCL79, Eronga TCL83, Secano TCL96 e Impulso TCL2016 liberadas por el INIFAP; Pollmer y Siglo TCL21 variedades del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y Bicentenario TCL08 liberada por el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal (ICAMEX).

**Inóculo.** Se evaluaron tres especies: *F. graminearum*, *F. boothii* y *F. camptoceras*, que fueron proporcionados por la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México. Dichas especies se incrementaron por medio de cultivos monospóricos en medio de cultivo agar-agua con hoja de clavel (CLA) en el Laboratorio de Micología del Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. El medio CLA consistió en agar-agua al 2 % (20 g de agar en 1 L de agua) más 10 a 12 trozos estériles de hoja de clavel de 5 mm, colocados en las cajas Petri. Esto se realizó con el propósito de que las colonias de *Fusarium* formaran macroconidios uniformes en tamaño y forma (Leslie y Summerell, 2007).

**Diseño experimental.** Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo de parcelas divididas, donde la parcela grande fueron las especies de *Fusarium* y las parcelas chicas las variedades de triticales. Se formaron 21 tratamientos (siete variedades × tres especies de *Fusarium*) con tres repeticiones más los testigos.

**Siembra y manejo agronómico de las plantas.** Bajo condiciones de invernadero, las siete variedades se sembraron en macetas de plástico de siete pulgadas, las cuales contenían sustrato (60 % tierra y 40 % Peat-Moss) previamente esterilizado. Se colocaron cinco semillas por maceta que luego se ralearon dejando las tres plantas más vigorosas por maceta. Obteniendo un total de 12 macetas por variedad (tres macetas por repetición).

La fertilización se realizó con urea (46-00-00) y Tricel-20 (fertilizante foliar) teniendo en cuenta los requerimientos nutricionales del cultivo.

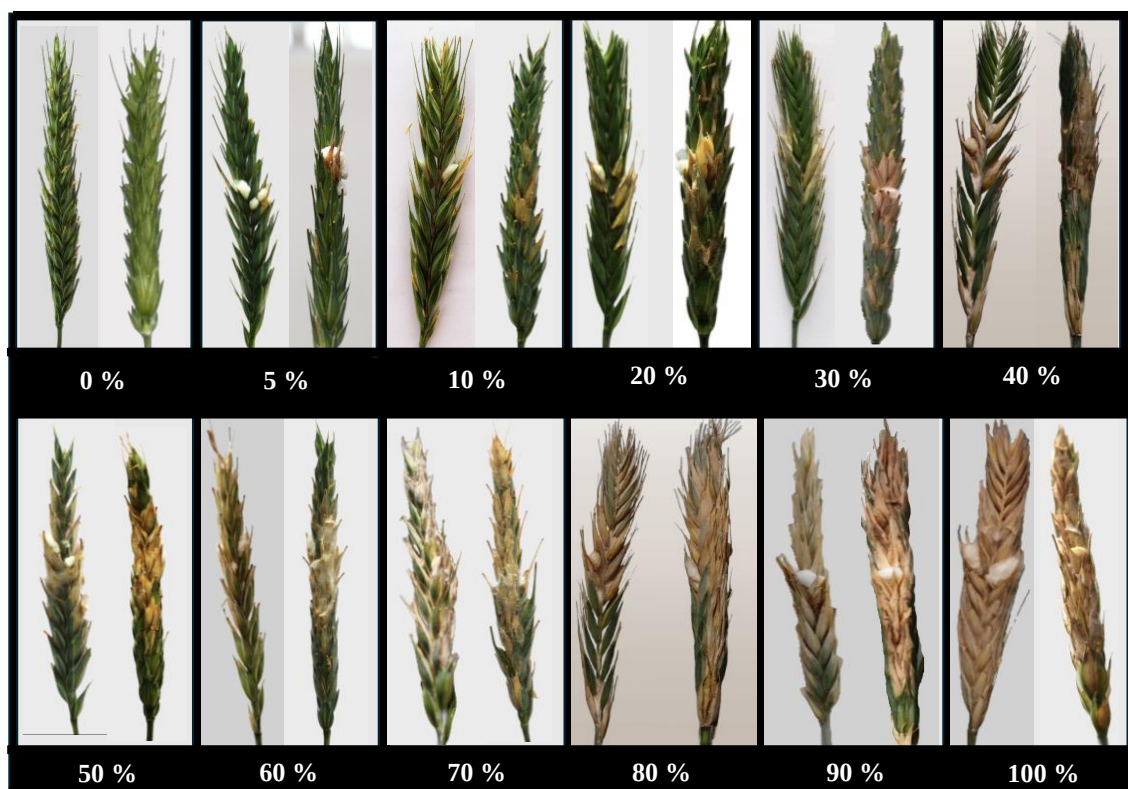
**Inoculación.** Las plantas se inocularon en la etapa de antesis (+- 65 días después de la siembra). Se preparó una suspensión a una concentración de  $1 \times 10^6$  conidios  $\text{mL}^{-1}$ , el método utilizado fue inoculación puntual mediante la técnica de algodón. Se seleccionaron tres espigas por maceta previamente marcadas y el método consistió en colocar dos copetes de algodón de 20 mg de peso embebidos con la solución de esporas bajo las glumas en el punto medio de la espiga; luego se cubrieron las espigas inoculadas con bolsas de papel glassine, metodología descrita por Gilchrist-Saavedra *et al.* (2005) e Imathiu *et al.* (2014). El testigo de cada uno de los genotipos, fue inoculado con agua destilada estéril y utilizando la misma técnica.

Una vez inoculadas las espigas con las especies de *Fusarium*, las plantas se colocaron en una cámara de incubación durante 96 horas con una temperatura media de  $25 \pm 10$  °C, un fotoperiodo de 12 horas, así como ocho horas de producción de rocío durante las primeras 24 horas y cuatro horas de rocío las siguientes 72 horas, con el fin de mantener la humedad relativa < 95 %. Posteriormente, las plantas se trasladaron a un invernadero donde se mantuvieron a una temperatura promedio de  $25 \pm 10$  °C hasta presentar síntomas.

**Evaluaciones.** Se realizaron cinco evaluaciones de la severidad de la enfermedad de cada tratamiento a los 4, 9, 14, 19 y 26 días después de la inoculación (DDI), utilizando la escala visual del tizón de la espiga de triticales (Figura 1), ajustada a la investigación para evaluar la severidad bajo condiciones de invernadero. Para realizar dicha escala, se tomó como referencia la escala visual para estimar la severidad de *Fusarium* en la espiga de trigo propuesta por Stack y McMullen (1998). Con base al porcentaje de severidad promedio obtenida, las variedades de triticales se clasificaron en: Resistente (0 a 10), Susceptible (20-40) y Muy Susceptible (41-100).

**Variables.** Las variables evaluadas fueron: a) severidad de la enfermedad (SE): porcentaje de la espiga con infección de *Fusarium*; b) peso de grano (PG): peso del grano obtenido de cada espiga inoculada, una vez que llegaron a punto de cosecha; c) Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE): calculada con las lecturas de SE (cinco) tomadas en intervalos de tiempo.

**Análisis estadístico.** Los datos de las variables obtenidas fueron analizados estadísticamente de manera conjunta con el programa SAS 9.4 (SAS, 2018) y se realizaron comparaciones de medias para las variedades en estudio mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).



**Figura 1.** Escala visual para determinar el porcentaje de severidad del tizón en la espiga de triticale, bajo condiciones de invernadero.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Análisis de varianza.** El análisis de varianza mostró diferencias significativas en las evaluaciones expresadas en días después de la inoculación (DDI), variedades y la interacción; por consiguiente, al menos una de las variedades mostró un comportamiento diferente en los niveles de severidad a través de las cinco evaluaciones de cada especie de *Fusarium*. En la variable Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE), no hubo significancia entre especies; sin embargo, las fuentes de variación variedades y la interacción entre variedades  $\times$  especies mostraron diferencias significativas, esto indica que las variedades presentaron diferentes niveles de desarrollo de la enfermedad a través de las especies. Por otra parte, para el peso del grano por espiga (PG) se encontró significancia entre especies, variedades y en las interacciones variedades  $\times$  especies, esto indica que el valor promedio del PG entre especies y entre variedades fue diferente.

**Respuesta de las variedades.** En la Figura 2 se observa el patrón de desarrollo de la enfermedad en las siete variedades durante las cinco evaluaciones para la especie *F. boothii*; se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $p < 0.0001$ ) en la evaluación final a los 26 DDI. Es decir, el porcentaje severidad fue significativamente menor en las variedades Bicentenario TCL08 y Siglo TCL21, con valores menores al 20 %, con respecto a Secano TCL96, Impulso TCL2016, Caborca TCL79 y Eronga TCL83, siendo estos los que presentaron un mayor desarrollo de la enfermedad.

Para la especie *F. camptoceras*, se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $p<0.0001$ ) (Figura 3). La severidad del tizón de la espiga fue significativamente mayor en las variedades Caborca TCL79 e Impulso TCL2016, al obtener valores superiores al 80 % a los 26 DDI, mientras que Bicentenario TCL08 y Siglo TCL21 tuvieron severidades significativamente menores de 13.6 y 16.7 %, respectivamente.

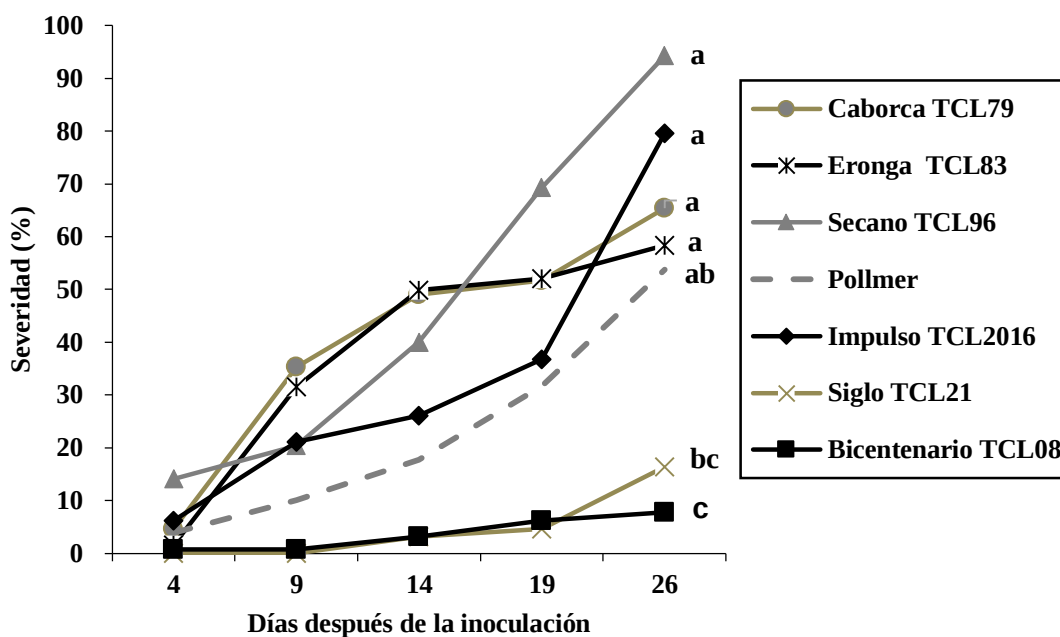


Figura 2. Comportamiento de las variedades inoculadas con *F. boothii* durante las cinco evaluaciones.

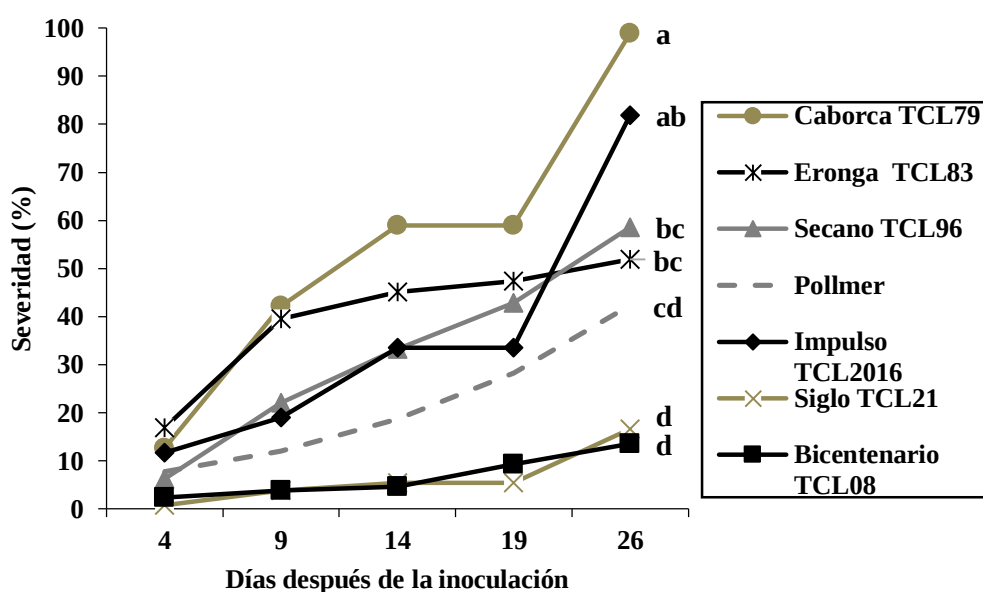
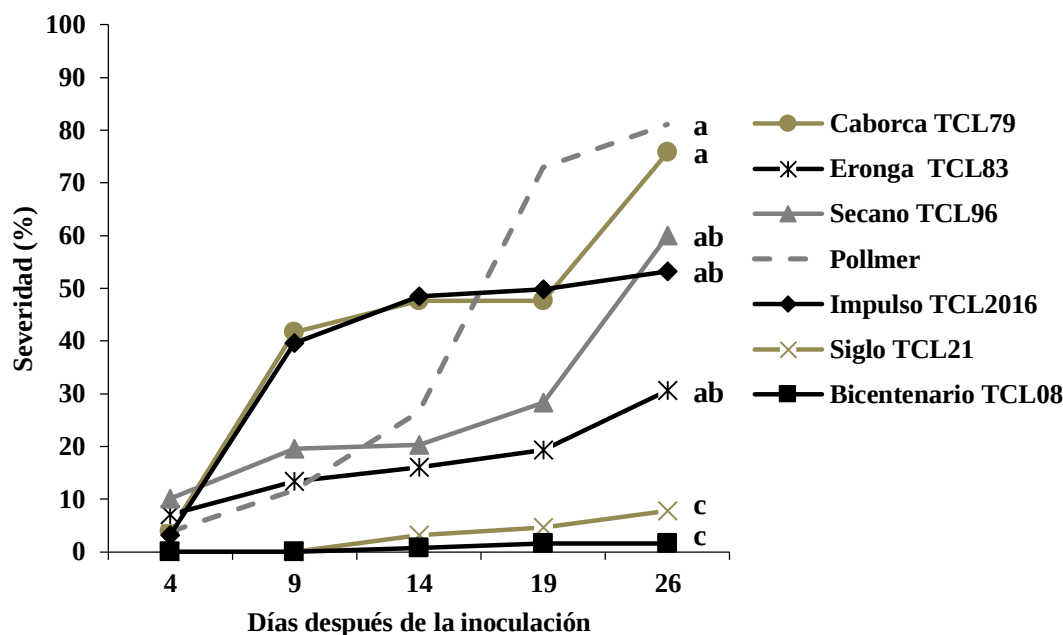


Figura 3. Comportamiento de las variedades inoculadas con *F. camptoceras* durante las cinco evaluaciones.

En cuanto a la severidad de la enfermedad causada por *F. graminearum*, los valores más bajos de severidad final fueron observados en Siglo TCL21 (1.56 %) y Bicentenario TCL08 (7.78 %), siendo estos valores significativamente diferentes ( $p < 0.0001$ ) a los de las demás variedades. Las mayores severidades fueron observadas en Pollmer (81.11 %) y Caborca TCL79 (75.78 %) (Figura 4).



**Figura 4.** Comportamiento de las variedades inoculadas con *F. graminearum* durante las cinco evaluaciones.

La mayoría de las variedades presentaron síntomas característicos de la enfermedad a partir de los cuatro días después de la inoculación (DDI) de cada especie del hongo. Sin embargo, Bicentenario TCL08 comenzó a mostrar síntomas a partir de los 14 DDI para *F. graminearum* y la variedad Siglo TCL21 para *F. boothii* y *F. graminearum*, de igual forma, mostraron porcentajes de severidad menores al 17 % para las tres especies de *Fusarium*; dicho comportamiento puede deberse, como lo indican Bai y Shaner (2004), Imathiu *et al.* (2014), Shroeder y Christensen (1963), a que el hongo penetró los tejidos de la planta pero no hubo una propagación de este a través de la espiga por lo que no hubo síntomas de la enfermedad; es decir, las hifas de *Fusarium* no lograron invadir las células adyacentes al punto de infección ya que probablemente dichas variedades poseen características genéticas que no permitieron esta invasión o avance del hongo.

**Respuesta de las variedades combinadas a través de las cinco evaluaciones.** En el Cuadro 1 se muestran las comparaciones de medias entre variedades para la variable porcentaje de severidad promedio en cada uno de las especies de *Fusarium*.

**Cuadro 1.** Comparaciones de medias del promedio de severidad (%) de cada variedad de triticale, en el análisis combinado a través de las cinco evaluaciones de cada especie de *Fusarium*.

| Variedad           | <i>F. boothii</i>   | <i>F. camptoceras</i> | <i>F. graminearum</i> | Reacción        |
|--------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| Caborca TCL79      | 41.2 a <sup>z</sup> | 54.3 a                | 43.3 a                | Muy Susceptible |
| Eronga TCL83       | 38.7 a              | 40.2 b                | 17.2 cd               | Susceptible     |
| Secano TCL96       | 47.6 a              | 32.6 bc               | 27.7 bc               | Susceptible     |
| Pollmer            | 23.4 b              | 21.8 c                | 39.2 ab               | Susceptible     |
| Impulso TCL2016    | 34.0 ab             | 35.9 b                | 38.8 ab               | Susceptible     |
| Siglo TCL21        | 4.8 c               | 6.4 d                 | 3.1 de                | Resistente      |
| Bicentenario TCL08 | 3.7 c               | 6.8 d                 | 0.8 e                 | Resistente      |
| DSH                | 14.04               | 12.17                 | 14.42                 |                 |

<sup>z</sup>Medias por columna, con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha=0.05$ ), DSH= Diferencia Significativa Honesta.

Para *F. boothii* se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $p<0.0001$ ), donde Bicentenario TCL08 (3.7 %) y Siglo TCL21 (4.8 %) fueron estadísticamente diferentes a Secano TCL96 (47.6 %), Caborca TCL79 (41.2 %) y Eronga TCL83 (38.7 %), obteniendo los porcentajes de severidad más bajos. En el caso de *F. camptoceras*, al igual que *F. boothii*, se observaron diferencias significativas entre variedades ( $p<0.0001$ ), donde Siglo TCL21 y Bicentenario TCL08 presentaron los valores más bajos con 6.4 y 6.8 % respectivamente, en tanto que Caborca TCL79 con 54.3 %, mostró la mayor severidad. Por último, para *F. graminearum*, se observaron diferencias significativas para variedades ( $p<0.0001$ ), donde Bicentenario TCL08 con 0.8 % fue significativamente menor y Caborca TCL79 con 43.3 % fue significativamente mayor. Los resultados mostraron que la severidad promedio en las variedades varió de 3.7 a 47.6 % en *F. boothii*, de 6.4 a 54.3 % en *F. camptoceras* y de 0.8 a 43.3 % en *F. graminearum*.

La severidad de la enfermedad varió ampliamente por las diferentes relaciones que se establecen entre el patógeno y hospedante. Estas variaciones se presentaron en las siete variedades inoculadas con las tres especies de *Fusarium* donde se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de severidad promedio ( $p<0.0001$ ), destacando que las variedades Siglo TCL21 y Bicentenario TCL08 obtuvieron valores significativamente menores para las tres especies del hongo; es decir mostraron resistencia, mientras que las demás variedades presentaron susceptibilidad, siendo Caborca TCL79 la más susceptible. Por lo tanto, existe un amplio rango de niveles de resistencia en las variedades evaluadas lo que coincide con Oettler y Wahle (2001), quienes encontraron una variación en los niveles de resistencia a *F. culmorum* en 100 genotipos de triticale a pesar de la presión de la infección. De igual forma, Kalih *et al.* (2014) observaron una amplia variación de la resistencia al tizón de la espiga en líneas enanas de triticale explicado por la presencia de QTLs que confieren resistencia al tizón de la espiga a pesar de la presencia del gen *Ddw1* que disminuye la altura de la planta. Góral y Arseniuk (2003) determinaron que existe una variación significativa en los grados de resistencia al tizón de la espiga entre los genotipos parentales de triticale.

**Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE).** Para la variable ABCPE hubo diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ) entre variedades para las tres especies (Cuadro 2). Se observó que las variedades Siglo TCL21 y Bicentenario TCL08 fueron estadísticamente diferentes a las demás variedades, con valores bajos en el desarrollo de la enfermedad para *F. boothii*, *F. camptoceras* y *F. graminearum*. Mientras que la variedad Secano TCL96, con un área de 1111.9 unidades (u), mostró el mayor desarrollo de la enfermedad causado por *F. boothii*; mientras que para *F. camptoceras* y *F. graminearum* fue la variedad Caborca TCL79, con 1262.2 u y 1015.4 u, respectivamente. Entre las variedades, el ABCPE varió de 87.5 u a 1111.9 u en *F. boothii*, de 141.2 u a 1262.2 u en *F. camptoceras* y de 18.7 u a 1015.4 u para *F. graminearum*.

**Cuadro 2.** Comparaciones de medias del Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE) de cada variedad de triticale, en el análisis combinado a través de las cinco evaluaciones de cada especie del *Fusarium*.

| Variedad           | <i>F. boothii</i>    | <i>F. camptoceras</i> | <i>F. graminearum</i> |
|--------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Caborca TCL79      | 981.7 a <sup>z</sup> | 1262.2 a              | 1015.4 a              |
| Eranga TCL83       | 930.4 a              | 964.9 ab              | 401.1 ab              |
| Secano TCL96       | 1111.9 a             | 766.9 ab              | 624.9 ab              |
| Pollmer            | 535.2 ab             | 506.5 bc              | 929.8 a               |
| Impulso TCL2016    | 763.2 ab             | 803.2 ab              | 938.9 a               |
| Siglo TCL21        | 101.1 b              | 141.2 c               | 70.8 b                |
| Bicentenario TCL08 | 87.5 b               | 156.7 c               | 18.7 b                |
| DSH                | 697.33               | 545.18                | 688.48                |

<sup>z</sup>Medias por columna, con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha=0.05$ ), DSH= Diferencia Significativa Honesta.

**Peso de grano por espiga.** En el Cuadro 3, se muestran los pesos promedios de grano por espiga de las variedades evaluadas con cada especie del hongo y el testigo. Se observó una variabilidad en el peso del grano por espiga de las variedades de triticale en respuesta a las especies del hongo.

Para *F. boothii*, se encontraron diferencias significativas entre variedades ( $p < 0.0002$ ), donde Siglo TCL21 con 0.73 g presentó el mayor peso de grano por espiga, en cambio para *F. camptoceras* no hubo diferencias estadísticas significativas entre variedades ( $p < 0.0652$ ), por lo tanto, el daño ocasionado en los granos de las diferentes variedades fue similar para esta especie. Por otro lado, para *F. graminearum* se observaron diferencias significativas ( $p < 0.0046$ ) entre la variedad Bicentenario TCL08 con respecto a Caborca TCL08 y Secano TCL86, donde Bicentenario TCL08 con 0.7 g presentó el mayor peso de grano.

Todas las variedades evaluadas mostraron menor peso de grano por espiga cuando se inocularon con *F. boothii*, *F. camptoceras* y *F. graminearum* en relación con el testigo. Esto se debió a que los granos de triticale infectados con *Fusarium* presentaron daños en el peritocio, sufrieron cambios estructurales en el endospermo y cambios morfológicos en el almidón, provocando que el grano se deformara y tuviera bajo peso, como lo indican Packa *et al.* (2008).

En esta investigación, la variedad Bicentenario TCL08 fue la que presentó resistencia y la que obtuvo mayor peso de grano, mientras que Secano TCL96 fue la más susceptible lo que se reflejó en la reducción del peso de grano hasta un 90 % (Cuadro 3). En contraste, Oettler y Wahle (2001) mencionan que la infección por *F. culmorum* causó una reducción del 48 % del peso promedio de los granos por espiga en genotipos de triticales. Aun cuando se puede obtener grano de plantas con tizón de la espiga, es necesario realizar estudios sobre los niveles de micotoxinas que contienen los granos dañados, ya que, en una investigación realizada por Góral *et al.* (2016) encontraron que el grano de este cereal puede acumular más micotoxinas tricotecenos que el trigo. Es por esto que se debe evitar sembrar genotipos que presenten niveles altos de severidad de la enfermedad y alta acumulación de este tipo de micotoxinas.

**Cuadro 3.** Comparaciones de medias del peso de grano (gramos) por espiga de cada variedad de triticales en las cinco evaluaciones.

| Variedad           | <i>F. boothii</i>    | <i>F. camptoceras</i> | <i>F. graminearum</i> | Testigo |
|--------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------|
| Caborca TCL79      | 0.22 bc <sup>z</sup> | 0.23 a                | 0.19 b                | 0.65 c  |
| Eranga TCL83       | 0.36 abc             | 0.50 a                | 0.58 ab               | 0.78 c  |
| Secano TCL86       | 0.13 c               | 0.36 a                | 0.21 b                | 1.34 ab |
| Pollmer            | 0.42 abc             | 0.57 a                | 0.37 ab               | 0.75 c  |
| Impulso TCL2016    | 0.59 ab              | 0.42 a                | 0.50 ab               | 1.36 ab |
| Siglo TCL21        | 0.73 a               | 0.55 a                | 0.56 ab               | 1.44 a  |
| Bicentenario TCL08 | 0.61 ab              | 0.60 a                | 0.70 a                | 0.98 bc |
| DSH                | 0.41                 | 0.39                  | 0.44                  | 0.44    |

<sup>z</sup>Medias por columna con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha=0.05$ ), DSH= Diferencia Significativa Honesta.

A pesar de que hay pocas investigaciones que discuten la resistencia al tizón de la espiga comparado con otros cereales, el triticales puede ser más o igual de resistente que el trigo y menos resistente que el centeno a dicha enfermedad como lo mencionaron Gaikpa *et al.* (2019); Góral *et al.* (2016); Góral (2009); Miedaner *et al.* (2004); Miedaner *et al.* (2001). Sin embargo, debido a que en México no hay investigaciones sobre los niveles de resistencia que tienen las variedades de triticales al tizón de la espiga, esta investigación permitió encontrar variación media en los niveles de resistencia que existe entre variedades y esta información puede ser útil en los programas de mejoramiento genético del triticales en México para desarrollar nuevas variedades de triticales con resistencia a esta enfermedad.

## CONCLUSIONES

Las variedades Siglo TCL21 (3.1 a 6.4 %) y Bicentenario TCL08 (0.8 a 6.8 %) presentaron las menores severidades al tizón de la espiga ocasionado por *Fusarium*

*boothii*, *F. camptoceras* y *F. graminearum*, considerándose como resistentes. La variedad más susceptible para *F. boothii* fue Secano TCL96 (47.6 %), y para *F. camptoceras* (54.3 %) y *F. graminearum* (43.3 %) fue Caborca TCL79. El peso de grano por espiga se vio afectado hasta en un 90 % en el caso de la variedad Secano TCL96 considerada como susceptible a la enfermedad. Es importante considerar en los programas de mejoramiento genético de cereales la incorporación de resistencia a diversas especies de *Fusarium* en el cultivo de triticale en México.

## AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), antes CONAHCYT.

## REFERENCIAS

- Alisaac E and Mahlein AK. 2023. *Fusarium* Head Blight on Wheat: Biology, Modern Detection and Diagnosis and Integrated Disease Management. *Toxins* 15 (192). <https://doi.org/10.3390/toxins15030192>
- Backhouse D. 2014. Global distribution of *Fusarium graminearum*, *F. asiaticum* and *F. boothii* from wheat in relation to climate. *European Journal of Plant Pathology* 139(1):161-173. <https://doi.org/10.1007/s10658-013-0374-5>
- Bai G and Shaner G. 2004. Management and resistance in wheat and barley to *Fusarium* Head Blight. *Annual Review of Phytopathology* 42:135-161. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.42.040803.140340>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 1976. Trigo x Centeno = Triticale. *CIMMYT Hoy*. 5. 15 pp. <http://hdl.handle.net/10883/3892>
- Cerón-Bustamante M, Ward TJ, Kelly A, Vaughan MM, McCormick SP, Cowger C, Leyva-Mir SG, Villaseñor-Mir HE, Ayala-Escobar V and Nava-Díaz C. 2018. Regional differences in the composition of *Fusarium* Head Blight pathogens and mycotoxins associated with wheat in Mexico. *International Journal of Food Microbiology* 273:11-19. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.03.003>
- Dobrev S. 2016. Triticale-past and future. *Agricultural Science and Technology* 8(4):271-275. <https://doi.org/10.15547/ast.2016.04.051>
- Gaikpa DS, Lieberherr B, Maurer HP, Longin CFH and Miedaner T. 2019. Comparison of rye, triticale, durum wheat and bread wheat genotypes for *Fusarium* head blight resistance and deoxynivalenol contamination. *Plant Breeding* 139(2):251-262. <https://doi.org/10.1111/pbr.12779>
- Gilbert J and Fernando WGD. 2004. Epidemiology and biological control of *Gibberella zeae*/*Fusarium graminearum*. *Canadian Journal of Plant Pathology* 26(4):464-472. <https://doi.org/10.1080/07060660409507166>
- Gilchrist-Saavedra L, Fuentes-Dávila G, Martínez-Cano C, López-Atilano RM, Duveiller E, Singh RP, Henry M y García AI. 2005. Guía práctica para la identificación de algunas enfermedades de trigo y cebada. Segunda edición. México. D. F. CIMMYT 68 p.
- Góral T. 2009. Resistance of winter triticale cultivars to *Fusarium* head blight caused by *Fusarium culmorum*. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roslin* 254:41-50.
- Góral T and Arseniuk E. 2003. Reaction of somaclonal lines of winter triticale to *Fusarium* infection part I: *Fusarium* head blight caused by *F. culmorum* W. G. Smith (Sacc.) *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roslin* 228:117-130.
- Góral H, Stojalowski S, Warzecha T and Larsen J. 2015. The Development of Hybrid Triticale. In: Eudes F. (eds) *Triticale*. Springer, Cham. 33-66 pp. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-22551-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22551-7_3)
- Góral T, Wisniewska H, Ochodzki P and Walentyn-Góral D. 2016. Higher *Fusarium* toxin accumulation in grain of winter triticale lines inoculated with *Fusarium culmorum* as compared in grain of winter triticale lines inoculated with *Fusarium culmorum* as compared with wheat. *Toxins* 8(10):301. <https://doi.org/10.3390/toxins8100301>

- Góral T, Wisniewska H, Ochodzki P, Twardawska A and Walentyn-Góral D. 2021. Resistance to *Fusarium* Head Blight, Kernel Damage, and Concentration of *Fusarium* Mycotoxins in Grain of Winter Triticale (x *Triticosecale* Wittmack) Lines. *Agronomy* 11:16 <https://dx.doi.org/10.3390/agronomy11010016>
- Imathiu SM, Edwards SG, Ray RV and Back M. 2014. Artificial inoculum and inoculation techniques commonly used in the investigation of *Fusarium* head blight in cereals. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 49(2):129-139. <https://doi.org/10.1556/APhyt.49.2014.2.1>
- Ireta MJ y Gilchrist LS. 1994. Roña o tizón de la espiga de trigo (*Fusarium graminearum* Schwabe). Informe Especial de Trigo No. 20. CIMMYT. México, D. F. 25 p.
- Kalih RPH, Hackauf B and Miedaner T. 2014. Effect of a rye dwarfing gene on plant height, heading stage, and *Fusarium* head blight in triticale (x *Triticosecale* Wittmack). *Theoretical and Applied Genetics* 122(7):1527-1536. <https://doi.org/10.1007/s00122-014-2316-9>
- Leyva-Mir SG, Vega-Portillo HE, Villaseñor-Mir HE, Tlapal-Bolaños B, Vargas-Hernández M, Camacho-Tapia M y Tovar-Pedraza JM. 2017. Caracterización de especies de *Fusarium* causantes de pudrición de raíz del trigo en el Bajío, México. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 33(2):142-151.
- Leslie J and Summerell B. 2007. The *Fusarium* Laboratory Manual. In: Blackwell Publishing 416 p. <https://doi.org/10.1002/9780470278376>
- Magliano TMA and Chulze SN. 2013. *Fusarium* head blight in Latin America. In: Springer International Publishing 304 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7091-1>
- McMullen M, Bergstrom G, De Wolf E, Dill-Macky R, Hershman D, Shaner G and Van Sanford D. 2012. A Unified Effort to Fight an Enemy of Wheat and Barley: *Fusarium* Head Blight. *Plant Disease* 96(12):1712-1728. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-03-12-0291-FE>
- McMullen M, Jones R, Gallenberg D and America S. 1997. Scab of wheat and barley: A Re-emerging Disease of Devastating Impact. *Plant Disease* 81(12):1340-1348.
- McGoverin CM, Snyders F, Muller N, Botes W, Fox G. and Manley M. 2011. A review of triticale uses and the effect of growth environment on grain quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91(7):1155-1165. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4338>
- Mergoum M, Singh PK, Peña RJ, Lozano-del Río AJ, Cooper KV, Salmon DF and Gómez Macpherson H. 2009. Triticale. A “New” Crop with Old Challenges. In: Carena Mj (ed) *Cereals. Handbook of Plant Breeding* vol. 3. Springer, New York, 267-287 p. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-72297-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-0-387-72297-9_9)
- Miedaner T, Reinbrecht C, Lauber U, Schollenbergen M and Geiger H. 2001. Effects of genotype and genotype-environment interaction on deoxynivalenol accumulation and resistance to *Fusarium* head blight in rye, triticale, and wheat. *Plant Breeding* 120(2):97-105. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2001.00580.x>
- Miedaner T, Heinrich N, Schneider B, Oettler G, Rohde S and Rabenstein F. 2004. Estimation of deoxynivalenol (DON) content by symptom rating and exoantigen content for resistance selection in wheat and triticale estimation of deoxynivalenol (DON) content by symptom rating and exoantigen content for resistance selection in wheat. *Euphytica* 139(2):123-132. <https://doi.org/10.1007/s10681-004-2489-4>
- Oettler G and Wahle G. 2001. Genotypic and environmental variation of resistance to head blight in triticale inoculated with *Fusarium culmorum*. *Plant Breeding* 120(4):297-300. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2001.00611.x>
- Osman M, He X, Benedettelli S and Singh PK. 2015. Chemotype analysis of Mexican *Fusarium graminearum* sensu lato isolates. 13th-European *Fusarium* Seminar 1-19.
- Packa D, Jackowiak H, Góral T, Wiwart M and Perkowski J. 2008. Scanning Electron Microscopy of *Fusarium*-Infected Kernels of Winter Triticale (x *Triticosecale* Wittmack). *Seed Science and Biotechnology* 2(1):27-31.
- Qu B, Li HP, Zhang JB, Xu YB, Huang T, Wu AB, Zhao CS, Carter J, Nicholson P and Liao YC. C. 2008. Geographic distribution and genetic diversity of *Fusarium graminearum* and *F. asiaticum* on wheat spikes throughout China. *Plant Pathology* 57(1):15-24. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01711.x>
- Shroeder H and Christensen J. 1963. Factors affecting resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. *Phytopathology* 53(7): 831- 838.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2023. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (mayo 2023).

- Sobrova P, Adam V, Vasatkova A, Beklova M, Zeman L and Kizek R. 2010. Deoxynivalenol and its toxicity. *Interdisciplinary Toxicology* 3(3):94-99. <https://doi.org/10.2478/v10102-010-0019-x>
- Stack RW and McMullen MP. 1998. A Visual Scale to Estimate Severity of *Fusarium* Head Blight in Wheat. North Dakota State University. PP-1095. <https://hdl.handle.net/10365/9187>
- Statistical Analysis System (SAS). 2018. Release 9.4 for Windows. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.
- Veitch RS, Caldwell CD, Martin RA, Lada R, Salmon D, Anderson DM and Macdonald D. 2008. Susceptibility of winter and spring triticales to *Fusarium* head blight and deoxynivalenol accumulation. *Canadian Journal of Plant Science* 88(4):783-788. <https://doi.org/10.4141/CJPS07085>
- Xu X and Nicholson P. 2009. Community ecology of fungal pathogens causing wheat head blight. *Annual Review of Phytopathology* 47(1):83-103. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081737>
- Zillinsky FJ. 1984. Guía para la identificación de enfermedades en cereales de grano pequeño. *In* Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. D.F., México. 141 p.