



Estrategias para reducir pérdidas por tizón de la espiga causado por *Fusarium graminearum* en trigo harinero

Víctor Manuel Arzola-Mora¹, Héctor Eduardo Villaseñor-Mir², Salvador Carranza-González^{*3}, Carlos Sánchez-Abarca¹, René Hortelano-Santa-Rosa², Julio Huerta-Espino², María Elsa Rodríguez-Contreras², Pawan Kumar Singh⁴, Xinyao He⁴. ¹Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, C. P. 56230. ²Campo Experimental Valle de México - INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco 9, km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56250. ³Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas-Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. ⁴International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Apdo, Postal 6-641, 06600 CDMX, México.

* Autor de correspondencia
Salvador Carranza-González
carranza.salvador@colpos.mx

Sección:
Edición periódica

Recibido:
14 Octubre, 2025
Aceptado:
13 Febrero, 2026
Publicado:
02 Marzo, 2026

Cita:
Arzola-Mora VM, Villaseñor-Mir HE, Carranza-González S, Sánchez-Abarca C, Hortelano-Santa-Rosa R, et al. 2026. Estrategias para reducir pérdidas por tizón de la espiga causado por *Fusarium graminearum* en trigo harinero. Revista Mexicana de Fitopatología 44(2): 116. <https://doi.org/10.18781/R.ME.X.FIT.2510-3>

RESUMEN

Antecedentes/Objetivo. El tizón de la espiga (fusariosis), ocasionado por *Fusarium graminearum* en trigo harinero, reduce el rendimiento del cultivo y contamina el grano con micotoxinas como el deoxinivalenol (DON), lo que afecta la calidad e inocuidad del producto. Su severidad ha aumentado en zonas cálidas y húmedas durante la floración, lo que destaca la necesidad de contar con estrategias de manejo integrado. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la interacción entre tres genotipos de trigo (Heilo, Falcin y Ocoroni F86) y tres fungicidas (Tilt® 250 EC (propiconazol al 25 %), Nativo® 300 SC [trifloxistrobin (20 %) + tebuconazol (10 %)] y Folicur® 250 EW (tebuconazol (25 %)), con el fin de reducir la severidad de *F. graminearum* y mejorar el rendimiento bajo condiciones de campo durante dos ciclos de producción.

Desarrollo experimental. El experimento se realizó en el Campo Experimental Valle de México del INIFAP durante los ciclos primavera-verano 2022 y 2023, se utilizó un diseño de parcelas divididas con tres repeticiones. Se registraron variables agronómicas como días a floración (DF), días a madurez (DM), altura de planta (ALT), rendimiento de grano (REND) y severidad de *F. graminearum* en la espiga (FEsp). El análisis estadístico se llevó a cabo mediante ANOVA, prueba de Duncan ($p < 0.05$) y correlaciones de Pearson.

Resultados. La variedad Heilo, cuando se aplicó propiconazol (25 %) o trifloxistrobin (20 %) + tebuconazol (10 %), mostró el mayor rendimiento ($> 4\,000\text{ kg ha}^{-1}$) y la menor severidad de fusariosis ($\text{FEsp} \leq 1.5$). En contraste, Ocoroni F86 fue susceptible, incluso bajo tratamiento químico. Las condiciones climáticas tuvieron un efecto significativo en la severidad de la enfermedad.

Conclusión. El uso combinado de variedades con resistencia genética y fungicidas triazoles componen una estrategia agronómica factible para mitigar la fusariosis. Se recomienda validar estos resultados en distintos ambientes para ampliar su aplicabilidad.

Palabras clave: Fusariosis, Triazoles, Rendimiento, Variedades resistentes, Enfermedades



INTRODUCCIÓN

El trigo harinero (*Triticum aestivum*) es uno de los principales cultivos a nivel mundial por su importancia nutricional y económica, así como su papel estratégico en la seguridad alimentaria global. Sin embargo, su producción se enfrenta a enfermedades fúngicas, de entre las cuales destaca el tizón de la espiga o fusariosis, causada por *Fusarium graminearum*. Esta enfermedad reduce el rendimiento del cultivo, deteriora la calidad del grano y lo contamina con micotoxinas como el deoxinivalenol (DON), las cuales representan un riesgo para la salud humana y animal (Alisaac y Mahlein, 2023; Haile *et al.*, 2019). La fusariosis ha incrementado su severidad en diversas regiones del mundo, incluso en México, como resultado de prácticas agrícolas intensivas y condiciones climáticas húmedas y cálidas durante la etapa de floración (Beres *et al.*, 2018). En este contexto, el manejo integrado del cultivo que combine resistencia genética, prácticas agronómicas adecuadas y el uso responsable de fungicidas es fundamental para el manejo de la enfermedad. Diversos estudios demuestran que los fungicidas triazoles como el propiconazol y tebuconazol pueden reducir la severidad de la fusariosis y las concentraciones de DON en el grano (Klix *et al.*, 2007; Wegulo *et al.*, 2011), efecto que mejora en variedades con cierto nivel de resistencia genética (He *et al.*, 2013).

Pese a lo anterior, la efectividad de los fungicidas puede ser afectada por las condiciones ambientales de la región de producción, el momento de su aplicación y la interacción con el genotipo. Por lo tanto, resulta necesario generar información bajo condiciones propias que permitan optimizar las estrategias de control de la fusariosis. En este estudio se planteó la hipótesis de que el uso combinado de variedades resistentes y fungicidas reduce la severidad de la fusariosis y evita pérdidas de rendimiento en el trigo. Por lo tanto, el objetivo fue evaluar el efecto de tres fungicidas en tres genotipos de trigo harinero (Heilo, Falcin y Ocoroni F86), durante dos ciclos de producción, para identificar interacciones eficaces en el control de fusariosis.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Establecimiento del experimento. El estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Texcoco, Estado de México, durante los ciclos agrícolas primavera-verano de 2022 y 2023. El sitio se encuentra a una altitud de 2 250 m, con coordenadas geográficas 19°26'40.86"N y 98°53'19.49"O. El clima de la región es templado subhúmedo con lluvias en verano y una temperatura media anual de 16 °C.

Se utilizaron dos variedades de trigo harinero: Heilo, variedad con 60 días a floración (DF), 110 días a madurez (DM) y de porte intermedio; Ocoroni F86 variedad con 55 DF, 105 DM y un porte bajo; y la línea avanzada Falcin con 55 DF, 105 DM y de porte alto, seleccionadas por su variabilidad en respuesta al tizón de la espiga.

Los tratamientos consistieron en la aplicación foliar de tres fungicidas de fácil acceso en la zona: Tilt® 250 EC (propiconazol al 25 %; dosis de 0.5 L ha⁻¹), Nativo® 300 SC (trifloxistrobin (20 %) + tebuconazol (10 %); dosis de 0.2 kg ha⁻¹) y Folicur® 250 EW (tebuconazol (25 %); dosis de 0.6 L ha⁻¹), más un testigo sin aplicación. Se hizo una aplicación en el estado fenológico de antesis, momento crítico para la infección por *F. graminearum*, el cual se inoculó durante la etapa de amacollamiento esparciendo semilla de maíz infectada en las parcelas experimentales que se obtuvo con base en la metodología de Lozano (2020), la cepa se obtuvo de los programas de fitopatología del Centro

Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) con base a los protocolos de He *et al.* (2013). Se realizaron labores agronómicas convencionales para el cultivo de trigo, la fertilización se realizó con la fórmula 80-40-00 de N-P-K en la siembra y en la etapa de amacollamiento, se hizo un riego después de la siembra, el control de malezas y monitoreo sanitario según las recomendaciones del programa de trigo del INIFAP-CEVAMEX.

Diseño del experimento y análisis estadístico. El experimento se realizó bajo un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones con arreglo de tratamientos de parcelas divididas, donde el fungicida se consideró como parcela grande y la variedad como parcela chica. Cada unidad experimental consistió en cuatro surcos de 5 m de longitud y 0.3 m de separación. Se evaluaron las siguientes variables agronómicas: días a floración (DF), días a madurez fisiológica (DM), altura de planta (ALT en cm), rendimiento de grano (REND en kg ha⁻¹) y severidad de *F. graminearum* en la espiga (FEsp) (Figura 1), que se determinó modificando la escala propuesta de Stack y McMullen (1998). En este caso, la escala consideró que cada espiguilla infectada representó 7 %; en consecuencia, la categoría 1–4 correspondió de una espiguilla hasta un tercio de las espiguillas afectadas, la categoría 5–7 corresponde aproximadamente la mitad de la espiga infectada y para la categoría 8–9 corresponde a 2/3 o más de espiga afectada. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un modelo de parcelas divididas. Las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$), y se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables evaluadas. Todos los análisis fueron realizados con el software SAS® versión 9.4 (SAS Institute Inc, 2009).

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre años para ALT, REND y FEsp, y un efecto estadístico mayor para DF. Para fungicidas, se detectaron diferencias significativas para DM y altamente significativas para REND y FEsp, y para las variedades se detectaron diferencias altamente significativas en todas las variables. Se observaron interacciones importantes altamente significativas para REND con años $\times$ fungicidas y años $\times$ variedad (Cuadro 1). El factor años influyó de manera significativa en los días a floración (DF), altura (ALT) y rendimiento (REND), lo que sugiere que las condiciones ambientales entre ciclos afectaron el desarrollo fenológico y productivo del cultivo.



Figura 1. Escala visual modificada de Stack y McMullen (1998), utilizada para evaluar la severidad de *F. graminearum* en las espigas, modificada. A) Severidad baja: espigas similares obtuvieron valores en la escala de 1-4; B) Severidad media: espigas similares obtuvieron valores en la escala de 5-7; C) Severidad alta: espigas similares obtuvieron una escala del 8-9.

Cuadro 1. Análisis de varianza (ANOVA) y significancia estadística entre las interacciones de tres variedades de trigo harinero y tres fungicidas en dos ciclos de producción.

FV	GL	DF	DM	ALT	REND	FEsp
Años	1	147 **	13.4 ns	501.3 *	31 574 755 *	2.7 *
Rep (Años)	4	1 ns	4.3 **	78.4 ns	497 154 ns	0.1 ns
Fungicida	3	0.4 ns	18.5 *	34.8 ns	2 178 090 **	7.1 **
Años x Fungicida	3	0.1 ns	2.7 ns	9.4 ns	480 944 **	0.2 ns
Rep x Fungicida (Años)	12	0.9 ns	0.8 ns	53.3 ns	22 124 ns	0.2 ns
Var	2	392 **	243.8 **	4344.6 **	10 982 662 **	160.6 **
Años x Var	2	5 **	976 **	30.1 ns	2 299 417 **	11.1 **
Fungicida x Variedad	6	0.1 ns	0.2 ns	23.1 ns	114 461 ns	0.6 *
Años x Fung x Var	6	0.4 ns	1.9 *	29.6 ns	172 587 *	0.3 ns
Error	39	0.5	0.6	37.9	189 515	0.1
Total	71					
R ²		0.98	0.97	0.90	0.92	0.99
CV (%)		1.30	0.74	7.17	11.33	8.72
Media		58.0	109.9	85.9	3842	4.1

FV= fuente de variación, GL= grados de libertad, DF= días a floración, DM= días de madurez, ALT= altura de planta en cm, REND= rendimiento en kg ha⁻¹, FEsp= *F. graminearum* en la espiga, Rep= repeticiones dentro de cada año, Fung= fungicida, Var= variedad, R²= coeficiente de determinación, CV= coeficiente de variación, **= significancia estadística a p ≤ 0.001, *= significancia estadística a p ≤ 0.05, ns= no significativo.

El Cuadro 2 muestra la comparación de medias para las variables agronómicas DF, ALT y REND en dos ciclos de producción. En el año 1, los valores promedio de DF fueron mayores (59.5 días) respecto al año 2 (56.6 días). En DM no hubo diferencias significativas en los dos años, por lo que la madurez fue igual. Para la variable ALT, los valores también fueron superiores en el año 1 (88.6 cm) en comparación con el año 2 (83.3 cm). En contraste, el rendimiento (REND) fue menor en el año 2 (3 179 kg ha⁻¹) en comparación con el año 1 (4 504 kg ha⁻¹). En el primer año, la variable FEsp presentó valores superiores (4.4) respecto al año 2 (3.0), lo que señala una mayor severidad del patógeno durante ese ciclo.

Cuadro 2. Comparación de medias de las variables evaluadas en tres variedades de trigo en dos ciclos de producción.

Años	DF	DM	ALT	REND	FEsp
1	59.5 a	109.9 a	88.6 a	4504 a	4.4 a
2	56.6 b	110.5 a	83.3 b	3179 b	3.0 b

DF= días a floración, DM= días de madurez, ALT= altura de planta en cm, REND= rendimiento en kg ha⁻¹, FEsp= *F. graminearum* en la espiga. Valores con la misma letra no difieren entre sí (Duncan, 0.05).

En el Cuadro 3, los tratamientos con fungicidas propiconazol (25 %), trifloxistrobin (20 %) + tebuconazol (10 %) y tebuconazol (25 %) mostraron para DM valores similares entre ellos y superiores al testigo sin aplicación (110.3 a 110.6 contra 108.4 días), lo que sugiere que el uso de fungicidas se asoció con una extensión del ciclo de madurez del cultivo, atribuible a la reducción del estrés causado por fusariosis. Los tratamientos con los fungicidas trifloxistrobin (20 %) + tebuconazol (10 %) y tebuconazol (25 %) presentaron los mayores rendimientos (4 092 y 3 998 kg ha⁻¹, respectivamente), seguidos de propiconazol (25 %) (3 949 kg ha⁻¹); por otro lado, el testigo sin fungicida presentó el rendimiento más bajo (3 327 kg ha⁻¹), corroborando el efecto negativo de la enfermedad al

no utilizarse fungicidas. Con propiconazol (25 %), trifloxistrobin (20 %) + tebuconazol (10 %) y tebuconazol (25 %) se observaron niveles de severidad de fusariosis significativamente menores (3.8), en comparación con el testigo (5.1).

Cuadro 3. Comparación de medias de las variables evaluadas para tres fungicidas y tres variedades de trigo harinero durante dos ciclos de producción.

Fungicida	DM	REND	FEsp
Tilt®	110.6 a	3 949 a	3.8 b
Nativo®	110.4 a	4 092 a	3.8 b
Folicur®	110.3 a	3 998 a	3.8 b
Testigo	108.4 b	3 327 b	5.1 a

DM= días de madurez, REND= Rendimiento en kg ha⁻¹, FEsp= *F. graminearum* en la Espiga. Valores con la misma letra no difieren entre sí (Duncan, 0.05).

En el Cuadro 4, se observan los valores medios para cada una de las variedades evaluadas, la variedad Heilo destacó con el valor más alto para la variable REND (4 241 kg ha⁻¹); seguido de Falcin. La variedad Ocoroni F86 obtuvo el menor rendimiento. De la misma forma, la variedad Heilo obtuvo el valor más bajo para la variable FEsp, lo que indicó menor severidad de la enfermedad en este genotipo. Por otro lado, la variedad Ocoroni F86 presentó los valores más bajos en todas las variables evaluadas excepto en FEsp en donde obtuvo el valor más alto, esto indicó que la enfermedad afectó más en este genotipo respecto a los demás. La línea Falcin, con un rendimiento de 4 223 kg ha⁻¹ y una severidad baja a la fusariosis (4.0), presentó una combinación aceptable de rendimiento y tolerancia a la enfermedad, lo que la convierte en una alternativa viable en ambientes donde los niveles de incidencia y severidad de *F. graminearum* sean bajos. De la misma forma, la variedad Heilo sería una alternativa para ambientes donde la incidencia de la enfermedad sea alta.

Cuadro 4. Comparación de medias de las variables evaluadas en dos ciclos de producción en tres variedades de trigo harinero.

Variedad	DF	DM	ALT	REND	FEsp
Heilo	62.7 a	113.1 a	87.1 b	4 241 a	1.6 c
Falcin	55.7 b	109.9 b	98.7 a	4 223 a	4.0 b
Ocoroni F86	55.7 b	106.7 c	71.9 c	3 061 b	6.8 a

DF= días a floración, DM= días de madurez, ALT = altura de planta en cm, REND= rendimiento en kg ha⁻¹, FEsp= *Fusarium* en la espiga. Valores con la misma letra no difieren entre sí (Duncan, 0.05).

Comparación de tratamientos en las variedades. Las combinaciones Heilo + propiconazol (25 %) / trifloxistrobin (20 %) + tebuconazol (10 %) obtuvieron los mayores rendimientos (>4 300 kg ha⁻¹) y la menor severidad de fusariosis (FEsp = 1.5). En contraste, con Ocoroni F86, incluso con aplicación de fungicidas, no superó los 3 232 kg ha⁻¹ de rendimiento y mostró altos niveles de infección (FEsp > 6.1).

En la Figura 2 se muestra la variación del rendimiento del trigo según la combinación de tres fungicidas [propiconazol (25 %), trifloxistrobin (20 %) + tebuconazol (10 %) y tebuconazol (25 %)] y tres variedades de trigo harinero (Falcin, Heilo y Ocoroni), comparado con un testigo (sin fungicida).

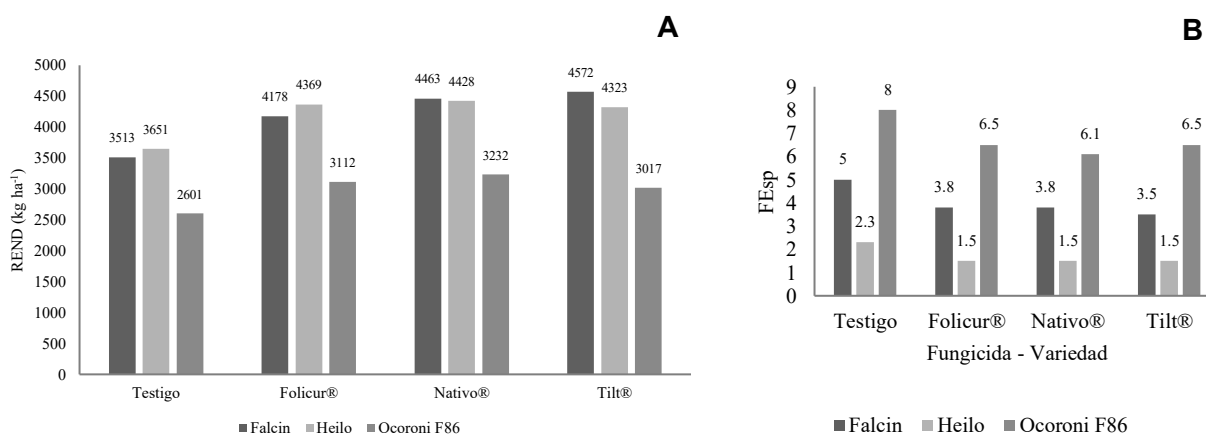


Figura 2. Medias del rendimiento (A) y severidad de *F. graminearum* (B) en la espiga (FEsp) para la interacción de tres variedades de trigo harinero y tres fungicidas.

Los resultados de la Figura 2 muestran una correlación entre la severidad de *F. graminearum* en la espiga y rendimiento del trigo. Las combinaciones más efectivas [Heilo con propiconazol (25 %) o trifloxistrobin (20 %) + tebuconazol (10 %)] redujeron la severidad de *F. graminearum*, Heilo mostró el mayor rendimiento y nivel de resistencia, la enfermedad afectó su productividad en 15 % aproximadamente. Los coeficientes de correlación obtenidos para las variables DM y FEsp mostraron una relación negativa de alta significancia (-0.856) lo que señala una asociación inversa entre ambas variables, donde los genotipos con mayor duración del periodo de madurez presentaron una menor severidad de fusariosis.

Comparación entre ciclos. Las condiciones ambientales pudieron influir la severidad de la enfermedad durante el año 1, lo cual se ha documentado en estudios previos (Paul *et al.*, 2007; Wegulo *et al.*, 2015). La severidad más alta de fusariosis en el año 1 puede asociarse a condiciones climáticas más favorables para el desarrollo del patógeno, como humedad elevada y temperaturas cálidas durante la floración, como lo reportan Beres *et al.* (2018). La menor severidad en el año 2 sugiere que las condiciones fueron menos propicias. Durante el año 1, la mayor severidad de fusariosis podría estar relacionada con el tiempo de floración y madurez, ya que ciclos más cortos pueden limitar la capacidad de la planta para responder al estrés biótico (Vaughan *et al.*, 2016).

Efecto del fungicida sobre el rendimiento y severidad de fusariosis. El presente estudio coincide con reportes donde se demuestra que los triazoles son efectivos para el control de fusariosis y la productividad del cultivo. Klix *et al.* (2007), reportan el efecto del propiconazol (25 %) (Tilt®) y el trifloxistrobin (20 %) + tebuconazol (10 %) (Nativo®), en la reducción de la severidad de *F. graminearum* al inhibir la síntesis de ergosterol en las membranas celulares del hongo, lo que previene su crecimiento y reproducción. Así mismo, de acuerdo con Lux *et al.* (2023), los fungicidas a base de triazoles como propiconazol y tebuconazol han demostrado ser efectivos en la reducción de la severidad de fusariosis y en una menor acumulación de DON (deoxinivalenol). Para este caso, Heilo destacó por presentar un mayor rendimiento (4 241 kg ha⁻¹) y una menor severidad de la enfermedad, lo cual coincide con investigaciones previas que mencionan la resistencia genética de Heilo a *F. graminearum* (He *et al.*, 2013). Los resultados del presente estudio coinciden en la importancia de la resistencia genética para minimizar el impacto de la fusariosis sobre el rendimiento del trigo (Mesterházy *et al.*, 2003). Como se ha mencionado antes, la variedad

Heilo, con su mejor rendimiento y menor severidad de fusariosis, destaca como una opción preferente para regiones donde la severidad de la enfermedad sea alta. Las variedades con ciclos fenológicos más largos, como Heilo, suelen tener mayor capacidad de tolerancia al estrés biótico, como lo señala Wu *et al.* (2022). Esto puede estar relacionado con su mayor acumulación de reservas y un desarrollo más uniforme en condiciones adversas.

Comportamiento de las variedades y uso de fungicidas. La combinación de la variedad Heilo + propiconazol (25 %) / trifloxistrobin (20 %) + tebuconazol (10 %) presentaron los mayores rendimientos y menor severidad de la fusariosis coincidente con lo reportado por He *et al.* (2013), quienes afirman que las variedades con resistencia genética como Heilo pueden optimizar la eficacia de los fungicidas al reducir la severidad de la enfermedad y mejorar la estabilidad del rendimiento. Además, Wegulo *et al.* (2011) recalcan que la resistencia genética, cuando se combina con el tratamiento químico adecuado, resulta en menores pérdidas de rendimiento.

La asociación negativa de las variables DM con FEsp sugieren que las variedades de ciclo largo pueden impedir en cierta medida, el establecimiento *F. graminearum* (Ponte *et al.*, 2007). El comportamiento de la variedad Ocoroni F86 que mostró alta susceptibilidad a *F. graminearum*, con valores de FEsp entre 6.5 y 8.0, incluso con el uso de fungicidas como propiconazol (25 %) y trifloxistrobin (20 %) + tebuconazol (10 %), resalta la importancia de evitar la siembra de variedades susceptibles en zonas con alta severidad de fusariosis, ya que no solo esta enfermedad reduce el rendimiento, sino que también incrementan el riesgo de acumulación de micotoxinas. Estos resultados coinciden con los reportados por Mesterházy *et al.* (2003), quienes enfatizan que las variedades susceptibles tienen un menor aprovechamiento de los fungicidas y presentan menor calidad del grano.

La menor severidad de la enfermedad en la variedad Heilo sugiere que las variedades resistentes y/o tolerantes no solo limitan la propagación del patógeno, sino que también optimizan la eficacia de los tratamientos químicos (Shude *et al.*, 2020). Esto coincide con el objetivo de desarrollar estrategias de manejo que integren la resistencia genética con el control químico, tal como lo proponen para esta variedad He *et al.* (2013). El ciclo fenológico más largo de la variedad Heilo, caracterizado por mayores días a floración y madurez, podría estar asociado a una mayor capacidad de la planta para tolerar el estrés biótico y maximizar el llenado de grano, lo que incrementa el rendimiento.

En general, los resultados del presente estudio resaltan la importancia de sembrar variedades resistentes para lograr un manejo integral más efectivo de *F. graminearum*. Además, la elección de fungicidas específicos como el propiconazol (25 %) o trifloxistrobin (20 %) + tebuconazol (10 %), que demostraron ser los más efectivos en esta investigación, asegura un control químico adecuado cuando se utilizan en conjunto con las variedades resistentes. Esta estrategia combinada, no solo reduce la severidad de *F. graminearum*, sino que también contribuyen a la sostenibilidad de los sistemas de producción de trigo en regiones vulnerables a esta enfermedad, así como en la reducción del inóculo estacional del patógeno.

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que la variedad Heilo, en combinación con propiconazol (25 %) o trifloxistrobin (20 %) + tebuconazol (10 %), presentó un desempeño favorable en términos de rendimiento ($>4\ 000\ \text{kg ha}^{-1}$) y menor severidad del patógeno ($\text{FEsp} \leq 1.5$), lo

que resalta la importancia de emplear estrategias integradas que ayuden a mermar las pérdidas por fusariosis en ambientes con condiciones óptimas para a su desarrollo.

Limitaciones. Este estudio, aunque relevante, presenta ciertas limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. La investigación se desarrolló en condiciones del Campo Experimental Valle de México, por lo que sus resultados se pueden extrapolar solo en entornos de producción similares. Se evaluó un número limitado de variedades y fungicidas, lo que restringe la generalización a otros genotipos o ingredientes activos. La severidad de la enfermedad fusariosis se estimó mediante evaluación visual, lo cual, aunque validado, puede incorporar cierto sesgo subjetivo. Además, el patógeno se dispersó de manera artificial, lo que no representa por completo la dinámica natural de infección en campo. Finalmente, al basarse en dos ciclos de producción, se recomienda replicar este enfoque en más ambientes y años para validar la estabilidad de los resultados.

Conflicto de interés. Ninguno de los autores tiene conflicto de interés con el presente trabajo.

Financiamiento. Esta investigación tuvo el financiamiento del proyecto “Entendiendo y manejando el tizón de la espiga por *Fusarium* en México” CIMMYT/INIFAP.

Agradecimientos. Al proyecto del INIFAP “Programa Nacional de Mejoramiento Genético para generar variedades resistentes a royas, de alto rendimiento y alta calidad para una producción sustentable de trigo en México”. Al programa de Fitopatología de Trigo del CIMMYT.

Contribución de los autores. Establecimiento conducción y toma de notas en los experimentos: Víctor Manuel Arzola Mora, Héctor Eduardo Villaseñor Mir, Salvador Carranza González y René Hortelano Santa Rosa. Análisis de datos: Carlos Sánchez Abarca y Rene Hortelano. Interpretación y edición: Julio Huerta Espino y María Elsa Rodríguez Contreras. Gestión del financiamiento y conceptualización: Pawan K. Singh, Xinyao He y Héctor Eduardo Villaseñor Mir. Todos los autores han leído y aceptado el contenido del manuscrito.

REFERENCIAS

- Alisaac E and Mahlein AK. 2023. *Fusarium* head blight on wheat: biology, modern detection and diagnosis and integrated disease management. *Toxins* 15(3): 192. <https://doi.org/10.3390/toxins15030192>
- Beres BL, Brûlé-Babel AL, Ye Z, Graf RJ, Turkington TK, *et al.* 2018. Exploring genotype $\times$ environment $\times$ management synergies to manage *Fusarium* head blight in wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology* 40(2): 179–188. <https://doi.org/10.1080/07060661.2018.1445661>
- Haile JK, N’diaye A, Walkowiak S, Nilsen KT, Clarke JM, *et al.* 2019. *Fusarium* head blight in durum wheat: recent status, breeding directions, and future research prospects. *Phytopathology* 109(10): 1664–1676. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-03-19-0095-RVW>
- He X, Singh PK, Duveiller E, Schlang N, Dreisigacker S and Singh RP. 2013. Identification and characterization of international *Fusarium* head blight screening nurseries of wheat at CIMMYT, Mexico. *European Journal of Plant Pathology*. 136(1): 123–134. <https://doi.org/10.1007/s10658-012-0146-7>
- Klix MB, Verreet JA and Beyer M. 2007. Comparison of the declining triazole sensitivity of *Gibberella zea* and increased sensitivity achieved by advances in triazole fungicide development. *Crop Protection* 26(4): 683–690. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.06.006>
- Lozano N. 2020. CIMMYT/PR-WP-20: Increasing *Fusarium* on corn for FHB nursery inoculum. CIMMYT. México. <https://repository.cimmyt.org/>

- Lux LA, Halvorson J, Hansen B, Meyer S, Carruth D, *et al.* 2023. Effects of metconazole + prothioconazole, pydiflumetofen + propiconazole, and variety resistance on Fusarium head blight and yield in hard red spring wheat. *Plant Health Progress* 24(2): 155–161. <https://doi.org/10.1094/PHP-08-22-0070-RS>
- Mesterházy Á, Bartók T and Lamper C. 2003. Influence of wheat cultivar, species of *Fusarium*, and isolate aggressiveness on the efficacy of fungicides for control of Fusarium head blight. *Plant Disease* 87(9): 1107–1115. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.9.1107>
- Paul PA, Lipps PE, Hershman DE, McMullen MP, Draper MA, *et al.* 2007. A quantitative review of tebuconazole effect on Fusarium head blight and deoxynivalenol content in wheat. *Phytopathology* 97(2): 211–220. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-97-2-0211>
- Ponte EM, Fernandes JMC and Bergstrom GC. 2007. Influence of growth stage on *Fusarium* head blight and deoxynivalenol production in wheat. *Journal of Phytopathology* 155(10): 577–581. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2007.01281.x>
- SAS Institute Inc. 2009. SAS® 9.4. Statistical Analysis System. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. <https://www.sas.com>
- Shude SPN, Yobo KS and Mbili NC. 2020. Progress in the management of Fusarium head blight of wheat: an overview. *South African Journal of Science* 116(11/12): Art. #7854. <https://doi.org/10.17159/sajs.2020/7854>
- Stack RW and McMullen M. 1998. A visual scale to estimate severity of *Fusarium* head blight in wheat. North Dakota State University Extension Circular. Fargo, ND, USA. https://scabusa.org/pdfs/StackMcMullen_2011_pp1095.pdf
- Vaughan M, Backhouse D and Del Ponte EM. 2016. Climate change impacts on the ecology of *Fusarium graminearum* species complex and susceptibility of wheat to Fusarium head blight: a review. *World Mycotoxin Journal* 9(5): 685–700. <https://doi.org/10.3920/WMJ2016.2053>
- Wegulo SN, Baenziger PS, Hernandez Nopsa J, Bockus WW and Hallen-Adams H. 2015. Management of Fusarium head blight of wheat and barley. *Crop Protection* 73: 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.02.025>
- Wegulo SN, Bockus WW, Hernandez Nopsa J, De Wolf ED, Eskridge KM, *et al.* 2011. Effects of integrating cultivar resistance and fungicide application on Fusarium head blight and deoxynivalenol in winter wheat. *Plant Disease* 95(5): 554–560. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-10-0495>
- Wu L, He X, He Y, Jiang P, Xu K, *et al.* 2022. Genetic sources and loci for *Fusarium* head blight resistance in bread wheat. *Frontiers in Genetics* 13: 988264. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.988264>