

Efecto del epoxiconazol en mezclas sobre *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* en el cultivo de trigo

Effect of epoxiconazole in mixtures on *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in wheat crop

Faberi Ariel Jesús*

Unidad Integrada Balcarce, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

Ignacio Erreguerena

Estación Experimental Agropecuaria Manfredi, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (EEA Manfredi-INTA), Córdoba, Argentina.

Natalia Liliana Clemente

Unidad Integrada Balcarce, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

Matías Carlón

Unidad Integrada Balcarce, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

Revista de la Facultad de Agronomía

Universidad Nacional de La Plata, Argentina

ISSN: 1669-9513

Periodicidad: Continua

vol. 122, 2023

redaccion.revista@agro.unlp.edu.ar

Recepción: 11 Mayo 2022

Aprobación: 16 Septiembre 2022

Publicación: Septiembre 2023

URL: <http://portal.amelica>

DOI: <https://doi.org/10.24215/16699513e123>

Autor de correspondencia: faberi.ariel@inta.gob.ar

Resumen

Los fungicidas son la principal estrategia de manejo de roya estriada por *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* en trigo. El objetivo fue evaluar el aporte del epoxiconazol sobre el control de roya estriada. El ensayo se realizó en un lote de trigo (Algarrobo, Don Mario) (37°53'46.70"S; 58°13'16.49"O) bajo diseño en bloques completos aleatorizados, cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió en parcelas de 3 x 8 m. Los tratamientos fueron: testigo; 0,45 L.ha⁻¹ pyraclostrobina (P)/ boscalid (B); 0,23 L.ha⁻¹ P/B + 0,75 L.ha⁻¹ epoxiconazol (E); 0,45 L.ha⁻¹ P/B + 0,75 L.ha⁻¹ E y 0,75 L.ha⁻¹ P/B + 0,75 L.ha⁻¹ E, y se aplicaron en Z31 (roya estriada: 35 % incidencia en hoja, 3,3 % severidad). Se determinó incidencia y severidad a los 15, 32, 57 días después de la aplicación (DDA) y el rendimiento. Las variables se analizaron mediante modelos mixtos. La incidencia en hoja bandera y en las tres inferiores fue menor en los tratamientos con epoxiconazol respecto a la doble mezcla PB y al testigo a los 15 y 32 DDA. A los 15, 32 y 57 DDA la severidad en los tratamientos con epoxiconazol fue menor al testigo y al de doble mezcla. Hubo un aporte significativo de 1438 Kg.ha⁻¹ en el rendimiento del tratamiento de doble mezcla. En los tratamientos con epoxiconazol el incremento en el rendimiento fue superior a 4000 Kg.ha⁻¹. Se concluye que la incorporación de epoxiconazol a la mezcla mostró resultados promisorios desde los puntos de vista sanitario y productivo del cultivo.

Palabras clave: fungicidas, triazoles, carboxamidas, estrobilurinas, roya amarilla

Abstract

Fungicides are the main management strategy for stripe rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in wheat. The aim was to evaluate the contribution of epoxiconazole over control of striped rust. The trial was carried out on a wheat field (Algarrobo, Don Mario) (37°53'46.70"S; 58°13'16.49"W) under a randomized complete block design with four replications. Plots of 3 x 8 m were used as experimental unit. The treatments were: control; 0.45 L.ha⁻¹ pyraclostrobin (P)/ boscalid (B); 0.23 L.ha⁻¹ P/B + 0.75 L.ha⁻¹ epoxiconazole (E); 0.45 L.ha⁻¹ P/B + 0.75 L.ha⁻¹ E and 0.75 L.ha⁻¹ P/B + 0.75 L.ha⁻¹ E, applied in Z31 (striated rust: 35 % of incidence and 3.3 % severity). Incidence and severity were determined at 15, 32, 57 days after application (DAA) and yield. These variables were analyzed using mixed models. At 15 and 32 DAA, incidence in flag leaf and in the three lower leaves was lower in the treatments with epoxiconazole compared to the double mixture PB and control. At 15, 32 and 57 DAA, severity was lower in the epoxiconazole treatments than in control and double mixture. There was a significant contribution of 1438 Kg.ha⁻¹ in the performance of the double mix treatment. The yield increase was greater than 4000 Kg.ha⁻¹ in the treatments with epoxiconazole. The incorporation of epoxiconazole to the mixture showed promising results in the crop health and productivity.

Keywords: fungicides, triazoles, carboxamides, strobirulins, yellow rust

INTRODUCCIÓN

El cultivo de trigo representa una de las producciones agrícolas más destacadas a nivel mundial y es uno de los principales alimentos en cuanto a fuente de energía y proteínas (Abbate et al., 2017a). En Argentina ha sido el principal cultivo de invierno y, si bien tuvo una disminución en superficie sembrada entre 2003 – 2014 (BCBA, 2016), en los últimos años la superficie destinada a este cultivo se ha incrementado (MAGyP, 2022).

La roya estriada o amarilla del trigo es causada por el hongo *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* Westend. Es una enfermedad policíclica que con condiciones ambientales propicias genera epidemias en periodos cortos de tiempo, pudiendo ocasionar entre un 10 y 70 % de disminución de rendimiento en variedades de trigo susceptibles (Chen, 2005; Khanfri et al., 2018). En Argentina, la roya estriada fue considerada esporádica (Campos, 2017). Sin embargo, en los últimos ciclos agrícolas se han generado epifitias debido a la aparición de nuevas razas (Campos et al., 2016; Abbate et al., 2017b; Campos, 2021).

El manejo de la roya estriada se basa en la combinación de resistencia genética y fungicidas (Chen, 2014; Ayele et al., 2019; Mueller et al. 2020). En la actualidad, y con las razas presentes, los materiales resistentes a esta roya son escasos (Alberione et al., 2020; Campos, 2021). En este contexto, el manejo depende principalmente de la aplicación de fungicidas foliares (Castellarin et al., 2004; Chen, 2005, 2014; Castilla Bonete et al., 2013; Chaudhary & Chaudhary, 2013; Alberione et al., 2016; INIA, 2017). La evolución del uso de fungicidas para el control de enfermedades foliares en trigo ha llevado a la utilización de mezclas de ingredientes activos. Éstas buscan ampliar el espectro de control, interferir en diferentes etapas del proceso infeccioso y prolongar la persistencia fungitóxicas del tratamiento (Carmona & Sautua, 2017). Además, la utilización de mezclas reduce los riesgos de aparición de resistencia de los patógenos a los fungicidas. Es por ello, que las mezclas incluyen moléculas pertenecientes a diferentes mecanismos de acción. En general, las mezclas de formulaciones comerciales incluyen dos ingredientes activos, aunque actualmente existen mezclas triples (CASAFE, 2022). El mercado de fungicidas para el control de royas en trigo se encuentra bastante limitado a tres grupos químicos, triazoles, estrobilurinas y carboxamidas (CASAFE, 2022) y existen pocos formulados registrados específicamente para esta enfermedad.

Los triazoles constituyen el grupo más grande de fungicidas en términos de cantidad de ingredientes activos y de ventas (Oliver & Hewitt, 2014). Su modo de acción se basa en la inhibición de la biosíntesis de ergosterol, interfiriendo en la C14-demetilasa. El epoxiconazol es una molécula sistémica que se distribuye relativamente rápido en los tejidos de las plantas de trigo (Akers et al., 1990). Si bien es un fungicida considerado de amplio espectro, presenta mayor actividad fúngica sobre roya estriada (Castilla Bonete et al., 2013; AHDB, 2017). Debido a su modo de acción y su movilidad, su función preponderante es fungistática (curativa) en el proceso infeccioso. Por su parte, las carboxamidas y las estrobilurinas, de menor movilidad y con un modo de acción de inhibición de la respiración celular, presentan función mayormente protectora. En consecuencia, por su efectividad sobre roya estriada y su movilidad en la planta, el epoxiconazol podría aportar con un efecto curativo sobre roya estriada en trigo, permitiendo reducir la dosis de estrobilurina y carboxamida en la mezcla.

METODOLOGÍA

El ensayo se realizó en un lote de producción de trigo, con antecesor soja, cultivado en siembra directa durante el ciclo agrícola 2017-18 en el partido de Balcarce, Buenos Aires, Argentina (37°53'46.70"S; 58°13'16.49"O). El cultivo se sembró el 22 de julio con una densidad de semillas de 140 Kg.ha⁻¹, utilizando una sembradora con una distancia entre surcos de 20 cm. Se utilizó la variedad de trigo Algarrobo (Don Mario, Argentina), susceptible a roya estriada. El cultivo se fertilizó a la siembra con 90 Kg.ha⁻¹ fosfato diamónico (18-46-0) y con 106 Kg.ha⁻¹ de N aplicados como líquido nitro-azufrado (29-0-0-3,9) divididos en dos momentos, inicio macollaje (Z21) e inicio de encañazón (Z31). El control de malezas se realizó mediante la aplicación de prosulfuron (10 g.ha⁻¹ de formulado), triasulfuron (10 g.ha⁻¹ de formulado y Dicamba (150 cm³.ha⁻¹) en el estado Z22 del cultivo.

El ensayo se realizó con un diseño en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue una parcela de 24 m², 8 m de largo y 3 m de ancho (2,5 m con aplicación de fungicidas + 0,5 m sin aplicación de fungicidas (testigo apareado)). Se evaluaron cinco tratamientos de fungicidas y un testigo sin fungicida (Tabla 1). La aplicación de los fungicidas se realizó el 6 de octubre, en Z31 del cultivo y con incidencia en hoja y severidad promedio de roya estriada del 35 % y 3,3 %, respectivamente. Para la aplicación de los diferentes tratamientos se utilizó una mochila de

presión constante (23,4 lb.pulg⁻¹, fuente de presión CO₂), que arroja un caudal de 100 L.ha⁻¹ (Schachtner, Alemania) con una barra de ancho de labor de 2,5 m.

TABLA 1
Tratamientos fungicidas aplicados en el cultivo de trigo (var. Algarrobo) para el control de roya estriada.

| Tratamiento | Ingredientes activos | Dosis (L.ha ⁻¹) | Concentración i.a. (%) |
|---------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|
| T1 (Testigo) | Sin fungicida | - | - |
| T2 (PB45) | Piraclostrobina+Boscalid | 0,45 | 12,8 + 25,2 |
| T3 (PB23 + E) | Piraclostrobina+Boscalid | 0,23 | 12,8 + 25,2 |
| | Epoxiconazol | 0,75 | 12,5 |
| T4 (PB45 + E) | Piraclostrobina+Boscalid | 0,45 | 12,8 + 25,2 |
| | Epoxiconazol | 0,75 | 12,5 |
| T5 (PB75 + E) | Piraclostrobina+Boscalid | 0,75 | 12,8+25,2 |
| | Epoxiconazol | 0,75 | 12,5 |

A los 15, 32 y 57 días después de la aplicación (DDA) se evaluó la incidencia y severidad de roya estriada. En cada evaluación, se seleccionaron un mínimo de 10 plantas al azar a lo largo de la zona aplicada de cada parcela. En cada planta se revisaron las hojas no senescentes (número variable de hojas de acuerdo con el estadio del trigo) y se observó la presencia/ausencia de pústulas.

Se calculó la incidencia en hoja (en porcentaje) como el número de hojas con pústulas sobre el total de hojas de cada planta. La incidencia en hoja promedio contempló las hojas con más de 50 % de área verde en cada momento de evaluación. Se determinó la incidencia en hoja por estrato: hoja bandera (HB) y las tres inferiores (HB-1, HB-2, HB-3). Se estimó la severidad determinando visualmente el área de tejido vegetal enfermo, en porcentaje, utilizando la escala diagramática de Peterson et al. (1948). A los 80 DDA, cuando el cultivo alcanzó madurez, se cosecharon manualmente las espigas de 1 m² de cada parcela. Las espigas se trillaron mecánicamente utilizando una cosechadora de ensayos (Wintersteiger, modelo Classic, Alemania). Con los datos de severidad se calculó el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) como:

$$ABCPE = \sum [(S_{i+1} + S_i)/2] * [t_{i+1} - t_i]$$

Donde:

(S_{i+1} + S_i)/2: promedio de severidad entre dos evaluaciones sucesivas.

(t_{i+1} - t_i): intervalo de tiempo en días entre dos evaluaciones sucesivas.

Para comparar los datos de incidencia y severidad se ajustaron modelos lineales mixtos, donde se consideraron los efectos de los tratamientos, las fechas y la interacción entre ambos. En caso de hallar efectos significativos se realizaron contrastes de medias de a pares a través de la prueba lsmeans. El efecto de los tratamientos sobre el ABCPE y el rendimiento se analizó a través de análisis de la varianza previa validación del supuesto de homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene ($\alpha=0,05$). En caso de hallarse efectos significativos, los promedios se compararon mediante la prueba de mínimas diferencias significativas ($\alpha=0,05$). Los análisis previamente mencionados se realizaron con el programa R 3.2.3 (R Development Core Team, 2017).

RESULTADOS

La incidencia promedio en hoja de roya estriada en el testigo se incrementó en las evaluaciones consecutivas desde 35 % (0 DDA) al 100 % (57 DDA). Algo similar se observó en el tratamiento doble mezcla PB, mientras en los tratamientos con epoxiconazol la incidencia a los 15 y 32 DDA se redujo a cero al observarse pústulas de roya estriada secas.

La incidencia promedio en hoja de roya estriada presentó efecto de interacción entre fecha de evaluación y tratamiento ($p < 0,0001$) (Figura 1). Se observó alta incidencia en el testigo a los 15 y 32 DDA, siendo mayor respecto de los tratamientos con fungicidas ($p < 0,05$). En ambas fechas de evaluación, la incidencia en el tratamiento con piraclostrobina y boscalid fue mayor respecto a los que incorporaron epoxiconazol ($p < 0,05$). En la última fecha de evaluación (57 DDA) la incidencia se incrementó en todos los tratamientos, alcanzando el 100 %.

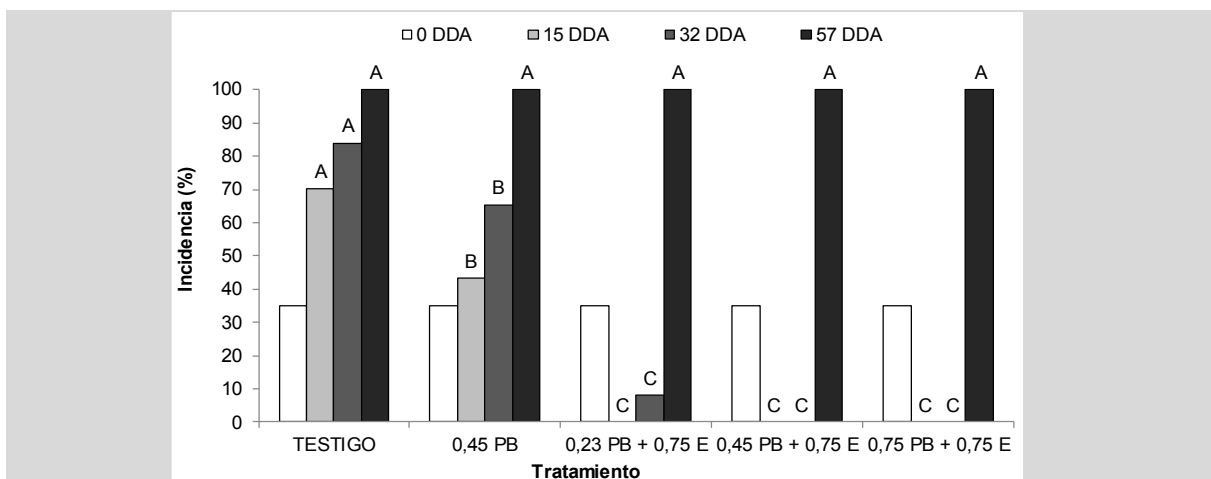


FIGURA 1

Incidenca en hoja de roya estriada del trigo (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) en diferentes tratamientos en cuatro fechas de evaluación (días después de la aplicación, DDA). Testigo: sin aplicación de fungicida. P: piraclostrobina; B: boscalid; E: epoxiconazol. Los valores en cada tratamiento corresponden a la dosis de ingrediente activo ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$). Letras iguales entre columnas indican diferencias no significativas entre tratamientos en cada fecha de evaluación ($\alpha = 0,05$).

La incidencia en HB a los 32 DDA fue relativamente baja en el testigo (36 %), pero mayor que en los tratamientos con fungicidas, en los cuales no se observó enfermedad ($p < 0,05$) (Tabla 2). En HB-1 se encontró efecto de interacción entre fecha de evaluación y tratamiento ($p < 0,0001$). Mientras que a los 15 DDA no se observaron diferencias entre tratamientos, a los 32 DDA la incidencia fue menor en los tratamientos con epoxiconazol respecto del testigo y al tratamiento con piraclostrobina y boscalid ($p < 0,05$) (Tabla 2). Finalmente, la incidencia se incrementó en todos los tratamientos, alcanzando el 100 % a los 57 DDA. Como se observa en la Tabla 2, hubo efecto de interacción en incidencia en HB-2 ($p < 0,01$). A los 15 DDA, los tratamientos químicos se diferenciaron del testigo, mientras que a los 32 DDA se observaron diferencias entre los tratamientos con epoxiconazol con el testigo y el tratamiento con la mezcla de dos ingredientes activos. Resultados similares se observaron en HB-3.

La severidad promedio en hoja se incrementó en las evaluaciones sucesivas respecto del día de la aplicación (0 DDA) en el testigo y en tratamiento con mezcla doble (Tabla 3). En los tratamientos que triple mezcla la severidad se redujo, observando pústulas secas, indicando efecto antiesporulante de los tratamientos. No se presentó efecto de interacción entre tratamientos y fecha de evaluación ($p = 0,286$) así como tampoco efecto de tratamientos ($p = 0,192$).

Se observaron efectos de interacción al considerar HB, HB-1, HB-2 y HB-3 por separado, ($p < 0,05$) (Tabla 3). La severidad en HB fue nula a los 32 DDA en todos los tratamientos con fungicidas y no presentaron diferencias con el testigo ($p > 0,05$). A los 57 DDA se observaron diferencias entre tratamientos, siendo aquellos con epoxiconazol los que presentaron la menor severidad respecto del testigo y del tratamiento sin epoxiconazol. En HB-1 y HB-2, no se observaron diferencias entre tratamientos en la primera evaluación, mientras que, en la segunda y tercera fecha los que incluyeron epoxiconazol mostraron menor severidad de enfermedad con respecto al testigo. En HB-3 a los 15 DDA todos los tratamientos químicos presentaron menor severidad respecto del testigo. En la segunda evaluación sólo los tratamientos con epoxiconazol lograron mantener una severidad baja y menor al testigo.

TABLA 2

Incidencia de roya estriada del trigo (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) en hoja bandera (HB) y las tres inferiores (HB-1, HB-2 y HB-3) en diferentes tratamientos en tres fechas de evaluación (días después de la aplicación: DDA). Testigo: sin aplicación de fungicida. P: piraclostrobina; B: boscalid; E: epoxiconazol. Los valores en cada tratamiento corresponden a la dosis de ingrediente activo ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$). Letras iguales en la misma fila indican diferencias no significativas entre tratamientos en cada fecha de evaluación ($\alpha=0,05$).

| Hoja | DDA | Testigo | 0,45PB | 0,23PB + 0,75E | 0,45PB + 0,75E | 0,75PB + 0,75E |
|------|-----|---------|--------|----------------|----------------|----------------|
| HB | 15 | - | - | - | - | - |
| | 32 | 36 A | 0 B | 0 B | 0 B | 0 B |
| | 57 | 100 A | 100 A | 100 A | 100 A | 100 A |
| HB-1 | 15 | 15 A | 0 A | 0 A | 0 A | 0 A |
| | 32 | 100 A | 61 B | 12 C | 0 C | 0 C |
| | 57 | 100 A | 100 A | 100 A | 100 A | 100 A |
| HB-2 | 15 | 66 A | 0 B | 0 B | 0 B | 0 B |
| | 32 | 100 A | 100 A | 0 B | 0 B | 0 B |
| | 57 | - | - | - | - | - |
| HB-3 | 15 | 100 A | 73 A | 0 B | 0 B | B |
| | 32 | 100 A | 100 A | 21 B | 0 B | 0 B |
| | 57 | - | - | - | - | - |

TABLA 3

Severidad (porcentaje) de roya estriada del trigo (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) en hoja bandera (HB) y las tres inferiores (HB-1, HB-2 y HB-3) y el promedio en diferentes tratamientos en tres fechas de evaluación (días después de la aplicación: DDA). En el promedio se incluye la evaluación inicial (0 DDA). Testigo: sin aplicación de fungicida. P: piraclostrobina; B: boscalid; E: epoxiconazol. Los valores en cada tratamiento corresponden a la dosis de ingrediente activo ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$). Letras iguales en la misma fila indican diferencias no significativas entre tratamientos en cada fecha de evaluación ($\alpha=0,05$).

| Hoja | DDA | Testigo | 0,45P | 0,23PB + 0,75E | 0,45PB + 0,75E | 0,75PB + 0,75E |
|----------|-----|---------|--------|----------------|----------------|----------------|
| HB | 15 | - | - | - | - | - |
| | 32 | 0,23 A | 0 A | 0 A | 0 A | 0 A |
| | 57 | 14,7 A | 9,7 A | 1,7 B | 0,9 B | 0,8 B |
| HB-1 | 15 | 0,6 A | 0 A | 0 A | 0 A | 0 A |
| | 32 | 4 A | 1,4 B | 0,3 B | 0 B | 0 B |
| | 57 | 35,1 A | 33,0 A | 4,5 B | 1,8 B | 2,4 B |
| HB-2 | 15 | 3,3 A | 0 A | 0 A | 0 A | 0 A |
| | 32 | 14,1 A | 5,9 B | 0 C | 0 C | 0 C |
| | 57 | - | - | - | - | - |
| HB-3 | 15 | 13,9 A | 4,9 B | 0 B | 0 B | 0 B |
| | 32 | 21,9 A | 15,0 A | 0,8 B | 0 B | 0 B |
| | 57 | - | - | - | - | - |
| Promedio | 0 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 |
| | 15 | 9,2 | 5,8 | 0 | 0 | 0 |
| | 32 | 10,1 | 5,5 | 0,3 | 0 | 0 |
| | 57 | 24,9 | 21,4 | 3,1 | 1,33 | 1,58 |

En la Figura 2, puede observarse que los tratamientos con epoxiconazol se logró mantener bajos los niveles de enfermedad acumulada (i.e. ABCPE). En estos tratamientos el ABCPE fue significativamente menor al tratamiento con boscalid y piraclostrobina y al testigo absoluto. Considerando los valores promedios de ABCPE de cada tratamiento, el porcentaje de control fue del 29 % para el tratamiento con dos activos y entre el 92 y 97 % para los tratamientos con epoxiconazol.

En la Figura 3 se observa que todos los tratamientos químicos presentaron un rendimiento mayor respecto del testigo ($p<0,001$), variando la respuesta entre los 1438 y los 4377 $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. La menor respuesta se observó en el tratamiento con dos ingredientes activos en la formulación. En los tratamientos donde se incorporó epoxiconazol, la respuesta se incrementó aproximadamente 2.800

Kg.ha⁻¹ por sobre el tratamiento con dos activos ($p < 0,05$). Se observó que los tratamientos con aplicación de epoxiconazol lograron los rendimientos mayores y no se observaron diferencias significativas entre los mismos ($p > 0,05$).

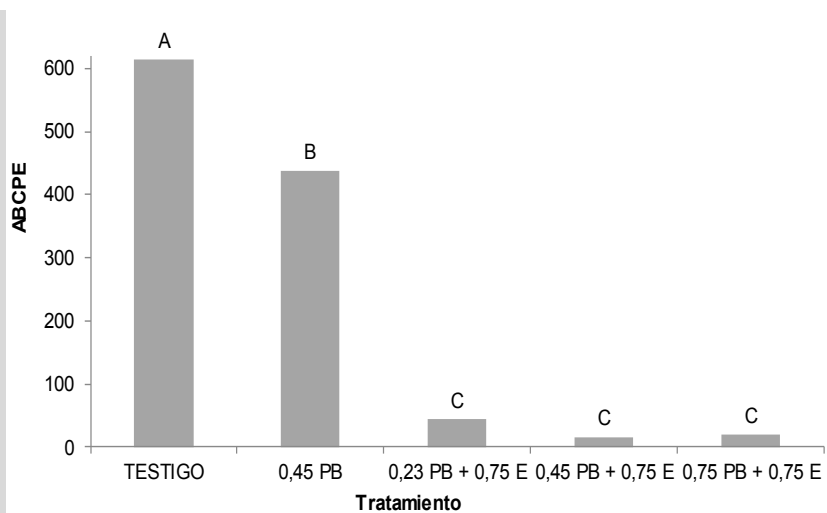


FIGURA 2

Área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) de roya estriada del trigo por *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* para diferentes tratamientos con y sin fungicida (Testigo). P: piraclostrobina; B: boscalid; E: epoxiconazol. Los valores en cada tratamiento corresponden a la dosis de ingrediente activo (g.ha⁻¹). Letras iguales sobre cada columna indican diferencias no significativas entre tratamientos ($\alpha = 0,05$).

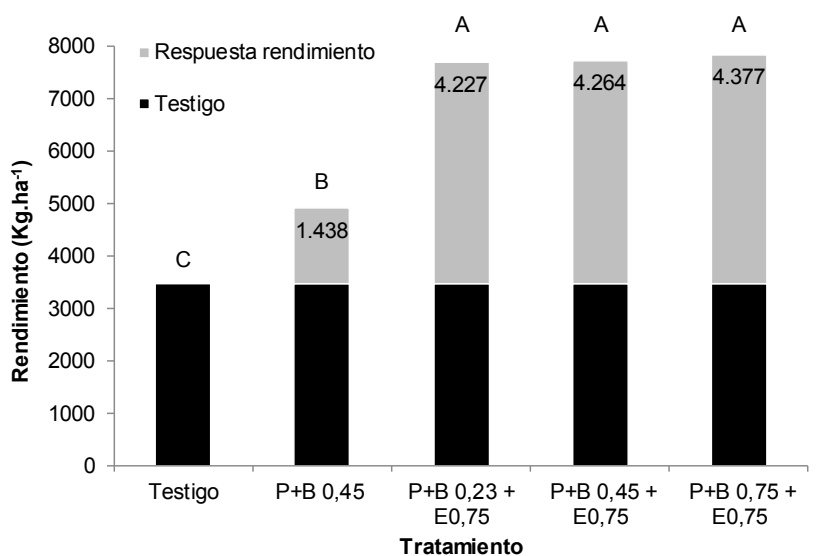


FIGURA 3

Rendimiento del cultivo de trigo sin fungicida (Testigo, en negro) y respuesta en rendimiento con aplicación de tratamientos con fungicidas (en gris). P: piraclostrobina; B: boscalid; E: epoxiconazol. Los valores en cada tratamiento corresponden a la dosis de ingrediente activo (g.ha⁻¹). Letras iguales entre columnas indican diferencias no significativas de rendimiento entre tratamientos ($\alpha = 0,05$).

DISCUSIÓN

El control químico de roya estriada representa una de las principales herramientas ante la escasez de variedades resistentes (Alberione et al., 2020). Debido a que la roya estriada no fue prevalente durante muchos años, existen relativamente pocos formulados registrados para su control (SENASA, 2021; CASAFE, 2022). El epoxiconazol es un fungicida que según la junta de desarrollo de agricultura y horticultura de Inglaterra presenta mayor actividad frente a roya estriada entre los triazoles (AHDB, 2017; 2020). Esta categorización coincide con los estudios realizados por Castilla Bonete et al. (2013) quienes hallaron los mejores niveles de control con el epoxiconazol. Jorgensen et al. (2018) destacan el mejor desempeño del epoxiconazol entre cuatro triazoles probados en el control de roya estriada. No obstante, en Argentina la información de formulados que incluyen epoxiconazol para el control de roya estriada es nula. En el presente estudio se demostró que la incorporación de epoxiconazol a la mezcla con boscalid + piraclostrobina, es una alternativa efectiva para el control de las razas de royas prevalentes en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. Si bien la piraclostrobina posee un nivel de efectividad relativamente elevado, según la clasificación de la AHDB (2017), presenta baja absorción por las hojas (Bartlett et al., 2002). Algo similar ocurre con boscalid que presenta escasa movilidad en la planta. En consecuencia, el efecto de estos activos es principalmente la protección de las hojas en las que se aplican. El epoxiconazol es una molécula sistémica de distribución rápida en los tejidos de las plantas de trigo (Akers et al., 1990), permitiéndole ejercer un efecto fungistático, controlando las infecciones y reduciendo la producción de inóculo secundario (i.e. antiesporulante).

En general, los estudios vinculados a los efectos de fungicidas sobre roya estriada no incluyen a la incidencia en hoja entre las variables determinadas (Ayele et al., 2019; Abbate et al., 2021; Samoiloff et al., 2021). En este estudio, se observó menor incidencia en hoja en todos los tratamientos con epoxiconazol hasta los 32 DDA. Inclusive la aplicación de triple mezcla logró ejercer un efecto antiesporulante, observándose pústulas secas en las hojas sobre las que se aplicaron los tratamientos. Similarmente, Bekana (2019) reportó menor incidencia cuando se aplicó un formulado con epoxiconazol respecto del testigo. Alberione et al. (2017) encontraron menor incidencia de roya estriada con la aplicación de fungicidas con diferentes triazoles y estrobilurinas aún en estadios avanzados del cultivo. Esto demuestra que estos tratamientos lograron retrasar el avance de la enfermedad. En el presente estudio la enfermedad estaba presente en el cultivo al momento de la aplicación con un 35 % de incidencia y un 3,3 % de severidad. Por lo tanto, el epoxiconazol a través de su efecto fungistático y antiesporulante pudo reducir la cantidad de inóculo secundario, traduciéndose en un retraso en el avance de la enfermedad, con menor cantidad de hojas enfermas (i.e. incidencia) luego de la aplicación y aquellas que se enfermaron presentaron menor severidad.

Las hojas con mayor aporte al rendimiento de trigo son la HB y la inferior (Sanchez-Bragado et al., 2014). A los 32 DDA, momento en el que el cultivo estaba en su período crítico, la severidad se mantuvo prácticamente nula en ambas hojas con los tratamientos con epoxiconazol. Estas hojas, si bien alcanzaron un 100 % de incidencia en todos los tratamientos a los 57 DDA (aproximadamente en el estadio Z67/69), la severidad fue muy baja en aquellos que incluyeron epoxiconazol. Esto indica que, si bien las hojas no recibieron aplicación, la cantidad de inóculo se redujo evitando los altos niveles de severidad alcanzados en el testigo. Resultados similares fueron hallados por Basandrai et al. (2020), Castilla Bonete et al. (2013) y Sharma et al., (2016), quienes reportan menor severidad con los tratamientos con epoxiconazol respecto del testigo y de otros ingredientes activos. En pruebas con diferentes formulados, Bekana (2019) halló que el formulado con epoxiconazol redujo significativamente la severidad de roya estriada.

Los potenciales efectos protectores y/o fungistáticos de cada ingrediente activo en un formulado pueden verse alterados de acuerdo al estado fenológico del cultivo y al nivel de enfermedad al momento de la aplicación. Castilla Bonete et al. (2013) realizando la aplicación en Z39 observaron variaciones en la severidad final entre formulados, presentando baja severidad aquellos con epoxiconazol. Alberione et al. (2017) al realizar aplicaciones en estado Z70 del trigo encontraron que la severidad de roya estriada era baja aún a los 32 DDA, no hallando diferencias entre mezclas dobles y triple de ingredientes activos. Estos últimos autores concluyen que “se observó alta eficacia de control y extendida acción de los ingredientes activos, independientemente de los productos fungicidas empleados”. Por su parte, Samioloff et al. (2021), hallaron que los tratamientos aplicados en Z39 presentaron mejor nivel de control que los aplicados en Z31, independientemente del formulado. Similarmente, Mueller et al. (2020) hallaron mayor eficacia con aplicaciones en Z37 o Z41 respecto a las realizadas en Z31. Sin embargo, en el presente estudio se halló que la aplicación de epoxiconazol más boscalid y piraclostrobina en Z31, ejerció elevado control. En infecciones tempranas, como las registradas en este trabajo, la elección de la combinación de ingredientes activos puede tener un papel importante en el avance de la enfermedad.

El ABCPE es una de las herramientas más representativas en el análisis de epidemiología cuando se comparan estrategias de control (Lopez, 2000; Pedroza et al., 2009). En Estados Unidos se ha demostrado que el uso de fungicidas reduce más del 80 % el ABCPE de roya estriada en trigo (Chen, 2014). En el presente trabajo pudo observarse que el ABCPE fue mucho menor en los tratamientos con epoxiconazol respecto del control e inclusive de la mezcla doble. Similarmente, en el trabajo realizado por Bekana (2019), se observó que el tratamiento con epoxiconazol logró reducir el ABCPE en un 83,5 % respecto del testigo. Por su parte, Jorgensen et al. (2018) ubican al epoxiconazol, junto al tebuconazol, como los de mayor control entre los triazoles probados. Ayele et al. (2019) observaron que la aplicación de formulados con epoxiconazol fueron los que mayor reducción del ABCPE tuvieron respecto del testigo en variedades susceptibles y moderadamente susceptibles. Estos autores indican que la aplicación ante los primeros síntomas de roya estriada, como se realizó en el presente trabajo, es necesaria para lograr la mayor efectividad del tratamiento. La incorporación del epoxiconazol en la aplicación con un nivel de severidad de 3,3 % (que permitió la generación de una epidemia en el testigo sin fungicida) permitió reducir el progreso de la enfermedad, traduciéndose en un mayor rendimiento.

En Argentina las respuestas en rendimiento por el uso de fungicidas se ha incrementado en los últimos años (615 Kg.ha⁻¹ en 2017-2020) respecto de años anteriores (337 Kg.ha⁻¹ en 2010-2016) (Abbate et al., 2021). Los autores adjudican estas respuestas mayores a la aparición de nuevas razas más virulentas de roya estriada en 2016/17. Similarmente, la respuesta a una sola aplicación de fungicidas en trigo ha sido mayor en el período 1995-2007 respecto de años previos (i.e. 1983-1994) (Wiik & Rosenqvist, 2010). En particular, la aplicación de diferentes azoles ha producido respuestas en rendimiento en numerosos ensayos donde prevaleció roya estriada (Jorgensen et al., 2018). Según los resultados de estos autores, la aplicación de epoxiconazol ocasionó incrementos en rendimiento similares a aplicaciones con mezcla de dos azoles (entre 19 y 32 % mayor respecto del testigo). En los ensayos realizados por Castilla Bonette et al. (2013) la respuesta de la aplicación de epoxiconazol fue del orden de los 1000 Kg.ha⁻¹, ubicándose entre los mejores tratamientos. Similarmente a los resultados de este estudio, Samoiloff et al. (2021) no observaron efecto de dosis y hallaron respuestas entre 1700 y 2400 con aplicaciones de formulados triple mezcla con epoxiconazol. No obstante, en dicho estudio se necesitaron dos aplicaciones para lograr dichas respuestas. Las dos aplicaciones con formulados con epoxiconazol han demostrado incrementos en rendimiento en otros estudios (Sharma et al., 2016; Ayele et al., 2019; Bekana, 2019; Basandrai et al. 2020). En estos estudios los tratamientos que incluyeron epoxiconazol, se ubicaron entre los de mayor respuesta en rendimiento. En el presente estudio, con condiciones propicias para el desarrollo de la enfermedad, una sola aplicación de los tratamientos con epoxiconazol permitió que la variedad de trigo expresara su potencial.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio demuestran la elevada eficacia que presenta el epoxiconazol sobre las razas de roya estriada en el cultivo de trigo en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. El agregado de este ingrediente activo permite la reducción de la dosis de boscalid y piraclostrobina en la mezcla. De esta manera se logra una elevada eficacia de control, con un aporte importante al rendimiento.

El momento de aplicación de la/s estrategia/s de control químico dependerán de las condiciones de cada cultivo y cada ciclo agrícola. Es de destacar que la aplicación ante la aparición de los primeros síntomas es recomendable, permitiendo que el epoxiconazol ejerza su efecto curativo sobre las infecciones establecidas asintomáticas. Esto reduce la cantidad de inóculo secundario y retrasa el desarrollo de la epidemia, manteniendo el cultivo más sano por mayor tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbate, P., Cardos, M. y Campaña L.** (2017a). El trigo, su difusión, importancia como alimento y consumo. En: A. Divito y F.O. García (Eds.), *Manual del cultivo de trigo* (pp. 7-19). Instituto Internacional de Nutrición de Plantas Programa Latinoamérica Cono Sur (IPNI).
- Abbate, P., Farias C., Toledo J. y Muñoz M.** (2017b). *Severidad a la roya amarilla en INTA Balcarce durante la campaña 2017/18*. Red de ensayos comparativos de variedades de trigo pan (RET-INASE), INTA Balcarce.

- Abbate, P.E., Di Pane, F., Villafañe, M., Gieco, L.C. y Lanzillota, J.J.** (2021). Respuesta a la aplicación de fungicida en los cultivares de trigo más rendidores, en las principales subregiones trigueras argentinas. *IX Congreso Nacional de Trigo*. Argentina.
- Agriculture and Horticulture Development Board (AHDB).** (2017). *Fungicide activity and performance in wheat*.
<https://projectblue.blob.core.windows.net/media/Default/Imported%20Publication%20Docs/IS63%20Fungicide%20activity%20and%20performance%20in%20wheat.pdf>.
- Agriculture and Horticulture Development Board (AHDB).** (2020). *Fungicide performance update for wheat, barley and oilseed rape 2020*.
[https://projectblue.blob.core.windows.net/media/Default/Imported%20Publication%20Docs/AHDB%20Cereals%20&%20Oilseeds/Disease/Fungicide%20performance/2020/Fungicide%20performance%202020%20\(17.12.20\).pdf](https://projectblue.blob.core.windows.net/media/Default/Imported%20Publication%20Docs/AHDB%20Cereals%20&%20Oilseeds/Disease/Fungicide%20performance/2020/Fungicide%20performance%202020%20(17.12.20).pdf)
- Akers, A., Koe, H.H. y Gold, R.E.** (1990). Uptake, transport and mode of action of BAS 480 F, a new triazole fungicide. *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference* (pp. 837-845) Farnham.
- Alberione, E., Donaïre, G., Cossavella, F., Miloc P., Conde, B. y Juárez, I.E.M.** (2016). Eficiencia en el control químico de roya de la hoja (*Puccinia triticina*) y roya del tallo (*Puccinia graminis*) en cultivares de trigo pan (*Triticum aestivum* L.). INTA.
- Alberione, E., Donaïre, G., Salines, N., Conde, B. y Mir, L.** (2017). Control químico de roya amarilla (*Puccinia striiformis*) en trigo. En: *Trigo 2017 Informe de Actualización Técnica* N° 7. INTA Marcos Juárez. (pp. 55-59). https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_mj_publicaciontrigo2017.pdf
- Alberione, E., Campos, P., Couretot, L. y Schutt, L.** (2020). Comportamiento sanitario de variedades de trigo Campaña 2019-20. INTA.
- Ayele, A., Chala, A. y Shikur, E.** (2019). Effect of Varieties, Fungicides and Application Frequencies to Wheat Yellow Rust Disease (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) Management in Arsi Highlands of Ethiopia. *American Journal of BioScience*, 7(6), 113-122.
<http://dx.doi.org/10.11648/j.ajbio.20190706.15>
- Bartlett, D.W., Clough, J.M., Godwin, J.R., Hall, A.A., Hamer, M. y Parr-Dobrzanski, B.** (2002). The strobilurin fungicides. *Pest management science*, 58(7), 649-662.
- Basandrai, A.K., Mehta, A., Rathee, V.K., Basandrai, D. y Sharma, B.K.** (2020). Efficacy of fungicides in managing yellow rust of wheat. *Journal of Cereal Research*, 12(2), 103-108. <http://doi.org/10.25174/2582-2675/2020/100849>
- Bekana, N.B.** (2019). Efficacy evaluation of different foliar fungicides for the management of wheat strip rust (*Puccinia striiformis*) in West Shoa Zone, Oromia, Ethiopia. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 23(11), 1977-1983. <https://dx.doi.org/10.4314/jasem.v23i11.11>
- Bolsa de Cereales de Buenos Aires (BCBA)** (2016). *Número estadístico 2015-2016*, pp. 10-11. <http://bibliotecadigital.bolsadecereales.com.ar/greenstone/collect/pubper/index/assoc/HASH8b3e.dir/Numero%20estadistico%202015-2016.pdf>.
- Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizante (CASAFE)** (2022). *Guía de productos fitosanitarios*.
- Campos, P.E.** (2017). *Identificación de razas exóticas de roya amarilla en región triguera argentina*. INTA.
- Campos, P.E.** (2021). Dinámica de las royas de trigo. *IX Congreso Nacional de Trigo*. Argentina. pp. 144-148.
- Campos, P., Formento, N., Couretot, L. y Alberione, E.** (2016). *Aparición epifítica de roya amarilla del trigo en la región pampeana argentina*. INTA.
- Carmona, M. y Sautua, F.** (2017). *Roya amarilla del trigo, nuevas razas en el mundo, monitoreo y uso de fungicidas*. Herbario virtua de fitopatología, FAUBA. <https://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/>
- Castellari, J., Pedrol, H., Gonzáles, M., Incremona, M., Salvagiotti, F. y Rosso, O.** (2004). Control de enfermedades foliares en trigo: momento de aplicación y tipo de molécula fungicida. *VI Congreso Nacional de Trigo. Bahía Blanca*. pp. 201-202.
- Castilla Bonete, J., Catedra Ceron, M., Delgado Casas, M. y Domínguez Jiménez, M.** (2013). *Resultados de ensayos de variedades de trigo duro y trigo blando de alto potencial en Andalucía. Campaña 2012/2013*. Junta de Andalucía.
- Chaudhary, R.F. y Chaudhary, G.** (2013). Effects of fungicides and plant extracts on uredospores germination of *Puccinia recondita* f.sp. *tritici*. *Bioscan* 8(1), 59-62.
- Chen, X.M.** (2005). Epidemiology and control of stripe rust (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*) on wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology* 27: 314-337. <https://doi.org/10.1080/07060660509507230>

- Chen, X.M.** (2014). Integration of cultivar resistance and fungicide application for control of wheat stripe rust, *Canadian Journal of Plant Pathology* 36(3), 311-326. <https://doi.org/10.1080/07060661.2014.924560>
- Chen, W., Wellings, C., Kang, Z. y Liu, T.** (2014). Wheat stripe (yellow) rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *Molecular Plant Pathology*, 15(5), 433-446. <https://doi.org/10.1111/mpp.12116>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA).** (2017). *Actualización sanitaria para trigo y aspectos a tener en cuenta para el manejo*. https://images.engormix.com/externalFiles/6_Trigo-alerta-oct2017.pdf.
- Jorgensen, L.N., Matzen, N., Hansen, J.G., Semaskiene, R., Korbas, M., Danielewicz, J. y Treikale, O.** (2018). Four azoles' profile in the control of *Septoria*, yellow rust and brown rust in wheat across Europe. *Crop Protection* 105: 16-27. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.10.018>
- Khanfri, S., Boulif, M. y Lahlali, R.** (2018). Yellow rust (*Puccinia striiformis*): a serious threat to wheat production worldwide. *Notulae Scientia Biologicae*, 10(3), 410-423. <http://dx.doi.org/10.15835/nsb10310287>
- López, H.A.** (2000). Descripción cuantitativa de las epidemias de las plantas. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, Medellín, 53(1), 941-968.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP).** (2022). *Estimaciones agrícolas*.
- Mueller, B.D., Groves, C.L., Conley, S.P., Chapman, S.A., Kabbage, M. y Smith, D.L.** (2020). Integrated management of stripe rust and overwintering of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in Wisconsin. *Plant Health Progress*, 21(3), 205-211.
- Oliver, R. y Hewitt, H.** (2014). *Fungicides in crop protection*. CABI.
- Pedroza, S.A., Samaniego, G.J.A., Martínez, B., Rojas, L. S. y Pacheco, R.P.** (2009). Análisis del área bajo la curva del progreso de las enfermedades (ABPE) en patosistemas agrícolas. En: *Tópicos selectos de estadística aplicados a la fitosanidad*. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, México, 179-189.
- R Development Core Team** (2017). *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, <http://www.R-project.org>.
- Samoiloff, A., Pastore, M., Couretot, L., Maldonado, C., Di Costanzo, M.P., Bies, V. y Chiminelli, S.** (2021). Umbrales de control de enfermedades foliares en trigo. 5° Congreso Argentino de Fitopatología y 59° Reunión de la División Caribe de la APS. p. 353.
- Sanchez-Bragado, R., Elazab, A., Zhou, B., Serret, M.D., Bort, J., Nieto, T.M.T. y Araus, J.L.** (2014). Contribution of the Ear and the Flag Leaf to Grain Filling in Durum Wheat Inferred from the Carbon Isotope signature: Genotypic and Growing Conditions Effects. *Journal of integrative plant biology*, 56(5), 444-454.
- Servicio Nacional de Calidad Agroalimentaria (SENASA)** (2021). *Productos inscriptos*. Recuperado en abril de 2022 en: <https://www.argentina.gob.ar/files/productosformuladosoctubre2021.xls>.
- Sharma, R.C., Nazari, K., Amanov, A., Ziyaev, Z. y Jalilov, A.U.** (2016). Reduction of winter wheat yield losses caused by stripe rust through fungicide management. *Journal of Phytopathology*, 164(9), 671-677. <https://doi.org/10.1111/jph.12490>
- Wiik, L., y Rosenqvist, H.** (2010). The economics of fungicide use in winter wheat in southern Sweden. *Crop Protection*, 29(1), 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.09.008>.