

Efecto de las carboxamidas en mezclas sobre *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* en el cultivo de trigo

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

Faberi, Ariel Jesús*

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

<https://orcid.org/0000-0001-9952-1348>

Ignacio Errequerena

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Manfredi, Argentina.

<https://orcid.org/0000-0001-8835-381X>

Natalia Liliana Clemente

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

<https://orcid.org/0009-0005-0235-6355>

Manuel Alvarellos

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

<https://orcid.org/0009-0002-7737-4302>

Revista de la Facultad de Agronomía

Universidad Nacional de La Plata, Argentina

ISSN: 1669-9513

Periodicidad: Continua

vol. 124, 2025

redaccion.revista@agro.unlp.edu.ar

Recepción: 19 agosto 2024

Aprobación: 5 noviembre 2024

Publicación: octubre 2025

URL: <https://portalderevistas.unlp.edu.ar/sumarc/>

DOI: <https://doi.org/10.24215/16699513e151>

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

Resumen

Los fungicidas foliares son la principal estrategia de manejo en variedades de trigo susceptibles a *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* roya estriada (RE). El objetivo fue evaluar el aporte de las carboxamidas en mezclas de fungicidas para control de RE. El ensayo se realizó en un lote de trigo variedad Algarrobo con un diseño en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió en parcelas de 3x8 m. Los tratamientos con fungicidas se aplicaron con el cultivo en un nudo (promedio RE: 3,3 %): T1) testigo, T2) piraclostrobina + epoxiconazol 0,75 L/ha, T3) piraclostrobina + epoxiconazol + fluxapirroxad 1,20 L/ha, T4) trifloxistrobina + prothioconazol 0,70 L/ha y T5) trifloxistrobina + prothioconazol + bixafen 0,70 L/ha. Se determinó la incidencia y severidad de RE a los 15, 32 y 57 días después de la aplicación y el rendimiento a la madurez y se analizaron mediante modelos mixtos. La severidad promedio en hoja (SPH) en el testigo en Z39 (9,5 %) y en Z60 (10,1 %) fue mayor respecto a los tratamientos químicos. En Z72 la SPH en T3 (1,2 %) fue menor que en T2 (11,8 %) y en T5 (2,1 %) que en T4 (5,7 %). Todos los tratamientos rindieron más que el testigo. La incorporación de fluxapirroxad tuvo un aporte en el rendimiento. Las carboxamidas aportan a reducir los niveles de RE y pueden aportar al rendimiento en el cultivo de trigo.

Palabras clave: fungicidas, triazoles, estrobilurinas, roya amarilla, roya estriada.

Abstract

Foliar fungicides are the main management strategy to striped rust (SR) by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* on susceptible wheat varieties. The objective was to evaluate the contribution of carboxamides in fungicide mixtures for SR control. The trial was carried out in a Algarrobo variety wheat crop with a randomized complete block design with four replications. The experimental unit consisted of 3x8 m plots. The fungicide treatments were applied with the crop in a node (average SR: 3.3%): T1) control, T2) pyraclostrobin + epoxiconazole 0.75 L/ha, T3) pyraclostrobin + epoxiconazole + fluxapyroxad 1.20 L/ha, T4) trifloxystrobin + prothioconazole 0.70 L/ha and T5) trifloxystrobin + prothioconazole + bixafen 0.70 L/ha. The incidence and severity of SR were determined at 15, 32 and 57 days after application and the yield at maturity, there were analyzed by mixed models. The average leaf severity (ALS) in control at Z39 (9.5%) and at Z60 (10.1%) was higher than to the chemical treatments. The ALS at Z72 was lower in T3 (1.2%) than in T2 (11.8%) and in T5 (2.1%) than in T4 (5.7%). All treatments performed better than the control. The incorporation of fluxapyroxad had a contribution to performance. Carboxamides contribute to reducing SR levels and can contribute to yield in wheat crops.

Keywords: fungicides, triazoles, strobirulins, yellow rust, stripe rust.

INTRODUCCIÓN

Puccinia striiformis f. sp. *tritici* Westend, es el agente causal de la roya estriada o amarilla del trigo. Este patógeno ocasiona 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, fue considerada una enfermedad esporádica (Campos, 2017), pero se ha convertido en una enfermedad prevalente en los últimos ciclos agrícolas a partir de la epifitía de 2017, cuando aparecieron nuevas razas (Campos et al., 2016; Abbate et al., 2017a; Campos, 2021).

El trigo en Argentina ha sido el principal cultivo de invierno (Abbate et al., 2017b), e históricamente ha ocupado uno de los 10 primeros puestos en la producción mundial. El cultivo tiene una participación importante en cuanto a superficie sembrada, con 5,4 millones de hectáreas y producción, con 13,5 millones de toneladas (SISA, 2023). La provincia de Buenos Aires es una de las principales productoras de trigo y tiene una participación relativa elevada respecto de la superficie sembrada en Argentina (SISA, 2023). En la provincia de Buenos Aires se siembran 2,07 millones de hectáreas, lo cual representó el 43.47 % del total. En general, si bien existen numerosas variedades de trigo, los productores optan por la siembra de un acotado número de ellas, representando 10 variedades el 54 % del total de superficie sembrada con trigo en Argentina (SISA, 2023).

Para el manejo de la roya estriada se utiliza la combinación de resistencia genética y fungicidas (Chen, 2014; Ayele et al., 2019; Mueller et al. 2020). En general, el perfil sanitario de las variedades más sembradas presenta niveles de resistencia escasos frente a roya estriada (Alberione et al., 2020; Campos, 2021). En por ello, que el uso de fungicidas representa una de las principales tácticas de manejo de la enfermedad (Castellarin et al., 2004; Chen, 2005, 2014; Chen et al., 2014; Castilla Bonete et al., 2013; Chaudhary et al., 2015; Alberione et al., 2016; INIA, 2017). En general, a nivel comercial se utilizan formulaciones que incluyen dos o tres principios activos, con el propósito de ampliar el espectro de control, interferir en diferentes etapas del proceso infeccioso, prolongar la persistencia fungitóxica y reducir los riesgos de aparición de resistencia (Carmona y Sautua, 2017). En general, las mezclas de formulaciones comerciales incluyen dos ingredientes activos, aunque actualmente existen mezclas triples (CASAFA, 2024). Los triazoles, estrobilurinas han sido los principales grupos químicos utilizados para el control de enfermedades en trigo, siendo las carboxamidas de incorporación más reciente (CASAFA, 2024).

Los carboxamidas constituyen el grupo con mayor desarrollo e incorporación de ingredientes activos (Luo y Ning, 2022; Xiong et al., 2015). Su modo de acción se basa en la inhibición de la respiración mitocondrial mediante la unión a la succinato deshidrogenasa. Dentro de las carboxamidas se encuentran diferentes grupos químicos, entre ellos las pirazole-4-carboxamidas. Estas han tenido mayor desarrollo debido a su elevada acción fungicida y su amplio espectro de control. Entre los ingredientes activos que se encuentran en este grupo se encuentran bixafen y fluxapiraxad. Ambos activos, aplicados al follaje, se absorben a la cera de la cutícula y luego van penetrando lentamente o moderadamente, respectivamente, para ser movilizados por el xilema (Allen-Stevens, 2017, Suty-Heinze et al., 2011). El modo de acción y la movilidad en la planta le otorgan una función protectora y antiesporulante en el proceso infeccioso. En consecuencia, por su efectividad sobre roya estriada y su movilidad en la planta, las carboxamidas pueden aportar con un efecto protector prolongado sobre roya estriada en trigo.

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 cuatro 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 por Puccinia striiformis f.sp. tritici.

Tratamiento	Producto	Dosis (L/ha)	Ingrediente Activo	Concentración i.a.
1	TESTIGO	-	-	-
2	Formulado 1	0,75	Piraclostrobina	13.3
			Epoxiconazol	5.0
3	Formulado 2	1,2	Piraclostrobina	8.1
			Epoxiconazol	5.0
			Fluxapiraxad	5.0
4	Formulado 3	0,70	Protioconazol	17.5
			Trifloxistrobina	15.0
5	Formulado 4	0,70	Protioconazol	17.5
			Trifloxistrobina	15.0
			Bixafen	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 promedio de toda la planta (HB a HB-3) de cada tratamiento 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 ($\alpha=0,05$). Se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables patométricas y el rendimiento. Los análisis previamente mencionados se realizaron con el programa R 3.2.3 (R Development Core Team, 2017).

RESULTADOS

En las Figuras 1 a 4 se muestra la incidencia y la severidad de roya estriada en el cultivo de trigo desde los estratos inferiores (hoja bandera -3 (HB-3)) hasta el estrato superior (hoja bandera (HB)) en diferentes evaluaciones, estadios Zadoks, Z39, Z60 y Z72.

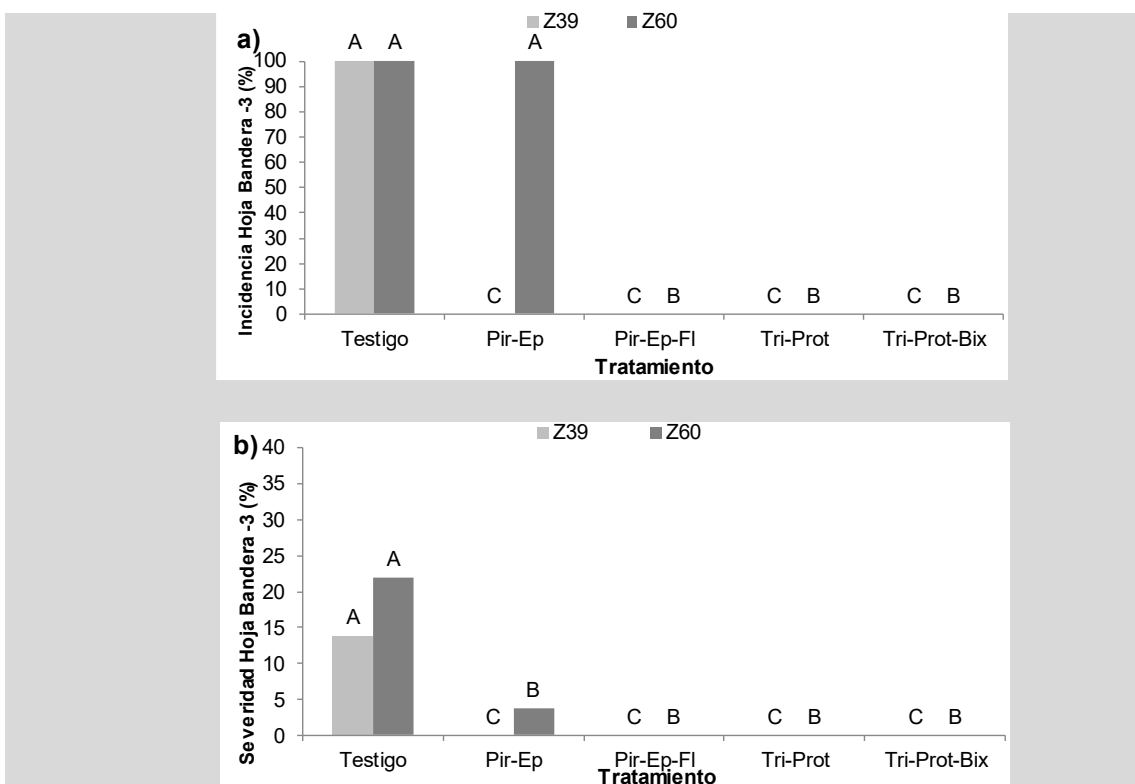


FIGURA 1

Promedios de incidencia (a) y severidad (b) en hoja bandera -3 de roya estriada por *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* en trigo en diferentes tratamientos en dos fechas de evaluación, días después de la aplicación (DDA). Testigo: sin aplicación de fungicida. Pir: piraclostrobina; E: epoxiconazol, Fl: fluxapiraxad, Tri: trifloxistrobina, Prot: protioconazol, Bix: bixafen. Letras iguales entre columnas indican diferencias no significativas entre tratamientos en cada fecha de evaluación ($\alpha=0,05$).

En HB-3 y HB-2, tanto la incidencia como la severidad mostraron diferencias similares entre los tratamientos (Figura 1 y 2, respectivamente). El testigo presentó mayor incidencia y severidad

respecto a los tratamientos químicos en Z39 ($p<0,05$). En Z60 los tratamientos con carboxamidas y el tratamiento con trifloxistrobina y protioconazol permanecieron sin síntomas visibles de roya estriada, diferenciándose de los demás tratamientos ($p<0,05$). En estos últimos, la incidencia y severidad se incrementó respecto de la evaluación realizada en Z39. La HB-2 permaneció con niveles de severidad bajos en todos los tratamientos con respecto al testigo hasta Z60 ($p<0,05$).

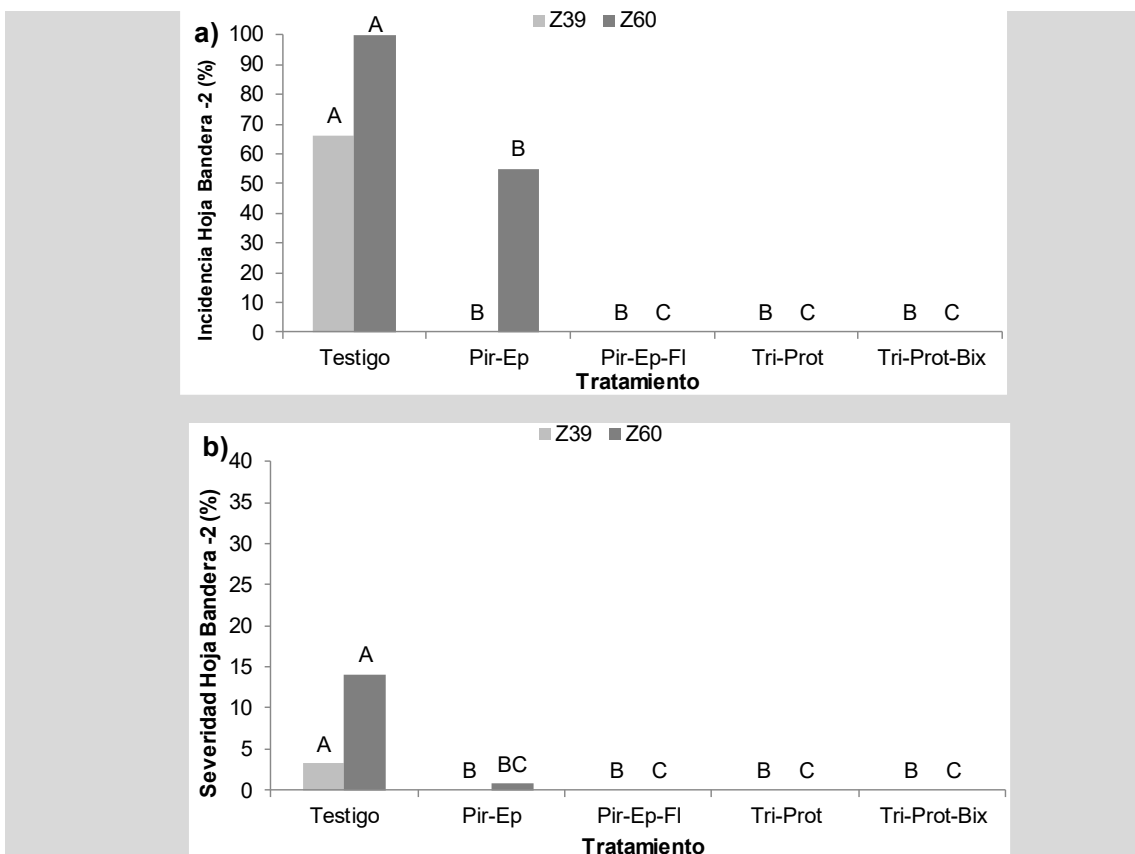
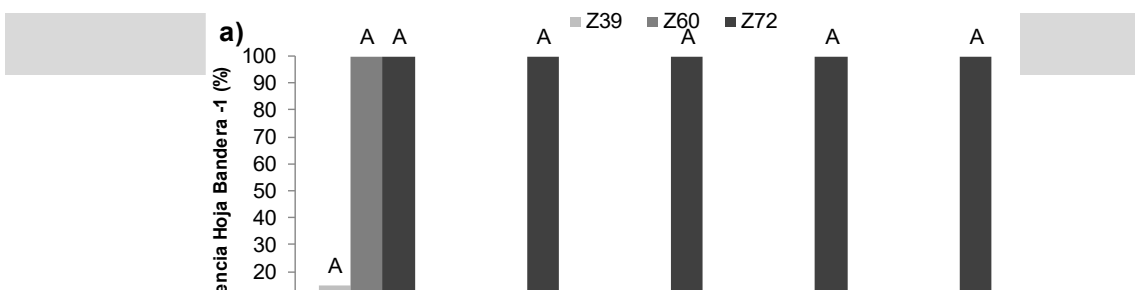


FIGURA 2

Promedios de Incidencia (a) y severidad (b) en hoja bandera -2 de roya estriada por *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* en trigo en diferentes tratamientos en dos fechas de evaluación, días después de la aplicación (DDA). Testigo: sin aplicación de fungicida. Pir: piraclostrobina; E: epoxiconazol, Fl: fluxapiroxad, Tri: trifloxistrobina, Prot: protioconazol, Bix: bixafen. Letras iguales entre columnas indican diferencias no significativas entre tratamientos en cada fecha de evaluación ($\alpha=0,05$).

En Z39 se comenzaron a observar las primeras pústulas en HB-1 del testigo, pero no se observaron diferencias con los tratamientos químicos ($p>0,05$) (Figura 3). En Z60, la incidencia de roya estriada alcanzó el 100 % en el testigo, siendo significativamente mayor a todos los tratamientos químicos, en los cuales fue prácticamente nula ($p<0,05$). En Z72, la incidencia fue del 100 % en todos los tratamientos y se hallaron diferencias en la severidad. La mayoría de los tratamientos presentó menor severidad respecto del testigo ($p<0,05$). Los tratamientos con carboxamidas (fluxapiroxad y bixafen), presentaron menor severidad que los tratamientos sin carboxamidas ($p<0,05$).



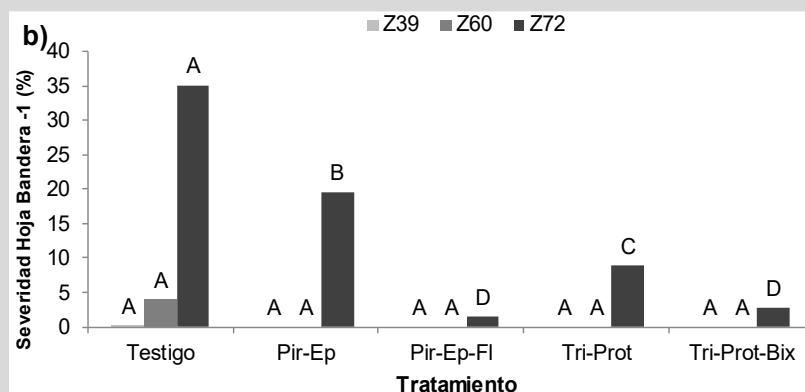


FIGURA 3

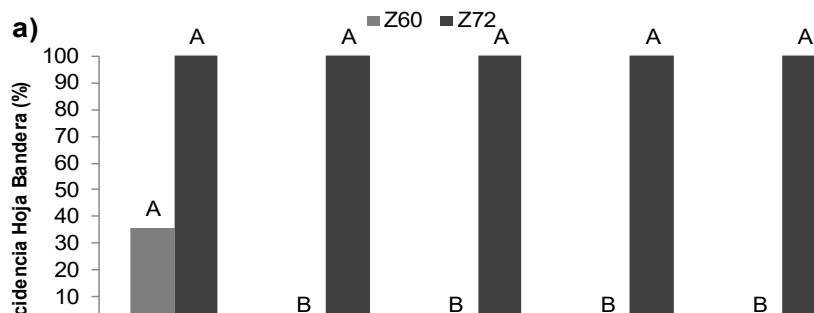
Promedios de Incidencia (a) y severidad (b) en hoja bandera -1 de roya estriada por *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* en trigo en diferentes tratamientos en dos fechas de evaluación, días después de la aplicación (DDA). Testigo: sin aplicación de fungicida. Pir: piraclostrobina; E: epoxiconazol, Fl: fluxapiroxad, Tri: trifloxistrobina, Prot: protioconazol, Bix: bixafen. Letras iguales entre columnas indican diferencias no significativas entre tratamientos en cada fecha de evaluación ($\alpha=0,05$).

En HB (Figura 4) en estadio Z60, no se observaron síntomas en ningún tratamiento químico, siendo la incidencia menor respecto del testigo ($p<0,05$). En Z72 la incidencia alcanzó el 100 % en todos los tratamientos. No obstante, la severidad de roya estriada en HB en Z72 fue menor en la mayoría de los tratamientos respecto al testigo ($p<0,05$). En HB solo se observó efecto de protección del ingrediente fluxapiroxad en la mezcla, pero no del ingrediente bixafen.

El ABCPE presentó diferencias significativas entre tratamientos (Figura 5) ($p<0,05$). Como puede observarse el testigo acumuló mayor cantidad de enfermedad a lo largo del ciclo respecto de los tratamientos con fungicidas. La incorporación de fluxapiroxad redujo el ABCPE respecto del formulado equivalente sin carboxamida ($p<0,05$). Sin embargo, no se observó diferencia entre el formulado con bixafen y su equivalente sin dicho ingrediente activo.

3.3. RENDIMIENTO

Todos los tratamientos presentaron un rendimiento mayor respecto del testigo ($p<0,001$), con respuestas entre 2700 y 4600 kg/ha (Figura 6). La menor respuesta se observó con la mezcla de piraclostrobina y epoxiconazol, significativamente menor a la observada con los otros tratamientos ($p<0,05$). Las formulaciones con carboxamidas lograron los rendimientos mayores y no se observaron diferencias significativas ambos tratamientos ($p<0,05$, Figura 6). No obstante, solo se observó aporte de fluxapiroxad (1828 kg/ha) respecto al formulado de piraclostrobina y epoxiconazol ($p<0,05$) pero no se observó efecto de bixafen respecto del formulado con trifloxistrobina y protioconazol ($p>0,05$) (aporte de 575 kg/ha).



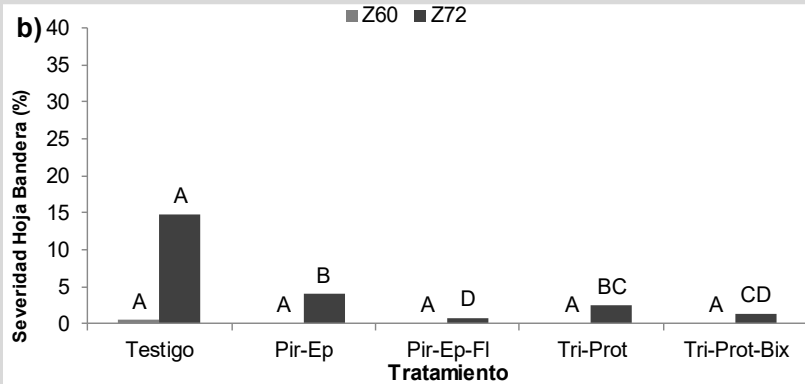


FIGURA 4.

Promedios de Incidencia (a) y severidad (b) en hoja bandera de roya estriada por *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* en trigo en diferentes tratamientos en dos fechas de evaluación, días después de la aplicación (DDA). Testigo: sin aplicación de fungicida. Pir: piraclostrobina; E: epoxiconazol, Fl: fluxapiroxad, Tri: trifloxistrobina, Prot: protioconazol, Bix: bixafen. Letras iguales entre columnas indican diferencias no significativas entre tratamientos en cada fecha de evaluación ($\alpha=0,05$).

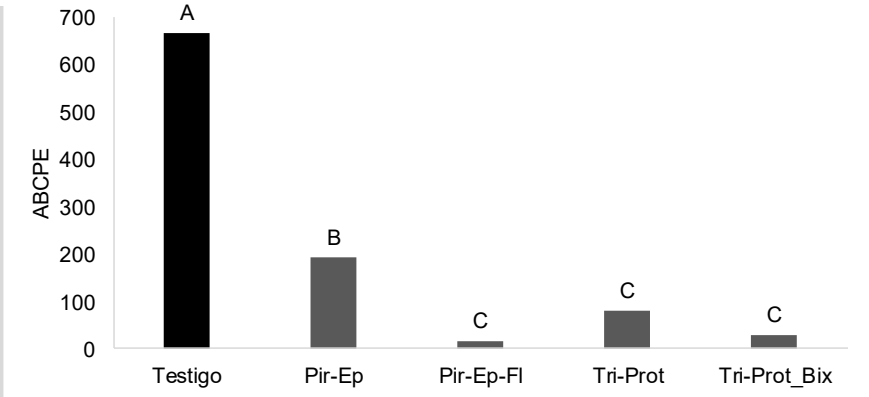


FIGURA 5

Área bajo la curva de progreso de la enfermedad, roya estriada por *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, en trigo en diferentes tratamientos. Testigo: sin aplicación de fungicida. Pir: piraclostrobina; E: epoxiconazol, Fl: fluxapiroxad, Tri: trifloxistrobina, Prot: protioconazol, Bix: bixafen. Letras iguales entre columnas indican diferencias no significativas entre tratamientos en cada fecha de evaluación ($\alpha=0,05$).

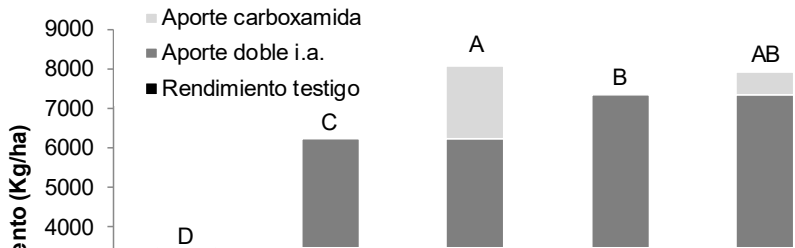


FIGURA 6

Rendimiento del cultivo de trigo en diferentes tratamientos para el control de roya estriada por *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* y diferencia respecto del rendimiento promedio del testigo. Testigo: sin aplicación de fungicida. Pir: piraclostrobina; E: epoxiconazol, Fl: fluxapiroxad, Tri: trifloxistrobina, Prot: protioconazol, Bix: bixafen. i.a.: Ingrediente activo. Letras iguales entre columnas indican diferencias no significativas entre tratamientos en cada fecha de evaluación ($\alpha=0,05$).

Los coeficientes de correlación de Pearson entre el rendimiento y las diferentes variables sanitarias mostraron una correlación negativa y significativa ($p<0,05$). Es decir que, a mayor incidencia o severidad de roya estriada, menor rendimiento obtenido. Los mayores coeficientes de correlación se observaron entre el rendimiento y la severidad e incidencia en Z60, $r = -0,93$, para ambos casos. La menor correlación, coeficiente de $-0,57$, se observó entre la severidad en HB-1 en Z39 y el rendimiento.

DISCUSIÓN

Las carboxamidas han representado en los últimos años el grupo de fungicidas con mayor cantidad de investigación y desarrollo (Luo y Ning, 2022). Las mismas se han incorporado a diferentes formulaciones para el control de diversos patógenos en varios cultivos. En la actualidad, son incluidas en las aplicaciones de fungicidas en trigo. Fluxapyroxad y bixafen son dos principios activos de este grupo que desde sus inicios han sido recomendados por su acción fungicida contra las enfermedades foliares en trigo (Semar et al., 2010; Suty-Heinze et al., 2011). Conocer su aporte en la eficiencia en el control de roya estriada del trigo en Argentina resulta necesario.

Las carboxamidas inhiben principalmente la germinación de esporas o el crecimiento del tubo germinativo o formación de apresorio en los estados tempranos del proceso de infección (Zhang et al., 2007; de Miccolis Angelini et al., 2010; Veloukas y Karaoglanidis, 2012). El efecto de los inhibidores de la succinato deshidrogenasa sobre la germinación de esporas está asociado a que las esporas respiran activamente (Allen, 1965) y en consecuencia es el estado de mayor demanda energética (Veloukas y Karaoglanidis, 2012). La afinidad con los compuestos lipídicos les facilita la unión con la succinato dehidrogenasa de los hongos (He et al., 2017). Por su lipofilicidad permanecen sobre las ceras en la capa superficial de las hojas. Por todas estas características se les atribuye acción preventiva. En el presente estudio, la aplicación se realizó en estadios tempranos, Z31 y con la enfermedad presente en el cultivo. El ingrediente activo fluxapiroxad aplicado en esta condición logró aportar a la sanidad del cultivo. Los efectos se observaron desde las hojas inferiores, que si bien tienen una importancia relativamente menor en la determinación del rendimiento (AHDB, 2020), se mantuvieron con baja presión de enfermedad hasta avanzado el desarrollo del cultivo. En los tratamientos con carboxamidas, principalmente fluxapiroxad, la roya estriada tuvo un progreso relativamente lento, y no alcanzó niveles de daño en las hojas superiores. Posiblemente esto se deba al período prolongado de protección que tuvieron las hojas sobre las que se aplicaron los tratamientos.

Fluxapirroxad, en este estudio, logró mayor aporte de protección de roya amarilla en trigo. Bixafen tuvo un aporte sanitario relativamente menor. Estudios a nivel internacional han demostrado que el fluxapirroxad tiene una efectividad alta en el control de roya estriada (AHDB, 2020). En el mismo estudio se menciona que el formulado con bixafen en mezcla con otros activos, si bien tiene control adecuado de roya estriada, no es el de mayor eficacia respecto de otros fungicidas. Similarmente, las pruebas de eficacia de fungicidas en Uruguay clasifican al formulado con fluxapirroxad como de eficacia de control alta contra roya estriada, mientras que bixafen como alta/intermedia (Pereyra y González, 2024). En estudios realizaron por Alberione et al. (2017), la aplicación con el formulado con fluxapirroxad redujo la cantidad de pústulas de roya estriada, pero sin diferencias significativas respecto de aquellos con mezclas de triazol y estrobirulina. Los autores realizaron una aplicación relativamente tardía y los niveles de enfermedad fueron mayores respecto al presente estudio. Bekana (2019) reportaron menor incidencia y severidad cuando se aplicó un formulado con bixafen respecto del testigo, hallando con dicho tratamiento la menor ABCPE de roya estriada respecto de otros tratamientos y del testigo. El momento de aplicación, el nivel de enfermedad al momento de aplicación y los principios activos que acompañan a cada carboxamida en una mezcla, son algunos factores que inciden sobre la eficacia de cada tratamiento.

En el presente trabajo, la formulación con fluxapirroxad estuvo acompañada de epoxiconazol. Este es uno de los triazoles con mayor actividad frente a roya estriada, de acuerdo a la Junta de Desarrollo de Agricultura y Horticultura de Inglaterra, quién lo califica con un valor 5, en una escala de 1 a 5 (AHDB, 2017; 2020, 2024). 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. Resultados similares fueron hallados por Basandrai et al. (2020) 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) hallaron que el formulado con epoxiconazol redujo significativamente la severidad de roya estriada. Faberi et al. (2023), en un estudio similar al presente trabajo, hallaron un aporte de la incorporación de epoxiconazol en las formulaciones. No obstante, y a pesar del nivel de efectividad elevado que presenta el epoxiconazol, la incorporación de fluxapirroxad en la mezcla en el presente estudio, logró un aporte a la protección del cultivo de trigo frente a roya amarilla. En el caso de bixafen, el mismo estuvo en mezcla con el protioconazol, una triazolintiona con elevada eficacia frente a roya estriada (AHDB, 2024). La AHDB califica la eficacia de control del protioconazol sobre roya estriada con 4 (escala 1 a 5). No obstante, el bixafen no logró generar un aporte importante en la protección de trigo contra roya estriada.

En todos los tratamientos químicos se observó mayor rendimiento respecto del testigo. Esta respuesta indica que *P. striiformis* f. sp. *tritici* ejerció un efecto adverso en la potencialidad de rendimiento del cultivo. Las condiciones ambientales durante el período de ensayo fueron propicias para el desarrollo de la enfermedad, con 310 mm de precipitaciones acumulados. 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 y Rosenqvist, 2010). La sanidad del cultivo en este estudio se correlacionó con la productividad lograda para cada tratamiento. Se observó aporte de fluxapirroxad al rendimiento de trigo, pero no se observó aporte con bixafen. Alberione et al. (2017), si bien halló diferencias en rendimiento entre testigo y dobles y triples mezcla, no halló diferencias productivas entre estos últimos, similarmente a lo registrado con bixafen en este estudio. Samoiloff et al. (2021) no observaron efecto de dosis y hallaron respuestas entre 1700 y 2400 con dos aplicaciones de formulados que incluyeron al fluxapirroxad.

La incorporación de carboxamidas es una alternativa promisorio en el control de roya estriada en las condiciones del sudeste bonaerense. Se requiere de mayor cantidad de pruebas para poder definir cuál y en qué momento es conveniente su aplicación. Independientemente de la efectividad de cada activo y formulación, es necesario mencionar la importancia que reviste su incorporación desde el punto de vista de riesgo de generación de resistencia. Si bien FRAC (2019) clasifica a *Puccinia* spp. como un género de bajo riesgo de generación de resistencia (valor riesgo 1), en Sudamérica existen registros de *P. tritici* resistente a inhibidores de síntesis de ergosterol (Arduini et al., 2012). Las carboxamidas son clasificadas por FRAC como de

alto/medio riesgo de generación de resistencia, pero incluidas en una mezcla con otros mecanismos de acción reducen el riesgo agronómico y por lo tanto se produce una reducción del riesgo de generación de resistencia total.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio demuestran la elevada eficacia que presenta el fluxapiroxad 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 piraclostrobina. De esta manera se logra una elevada eficacia de control, con un aporte al rendimiento. El formulado con bixafen, tuvo efecto de protección, pero su inclusión en la mezcla no logró un aporte significativo. En las condiciones de este ensayo, el aporte de la inclusión de carboxamidas dependió del principio activo seleccionado. Es necesario realizar experiencias en mayor cantidad de condiciones para definir la eficacia y el aporte de este grupo con principios activos que varían en cuanto a actividad fungicida, persistencia y movilidad en la planta de los diferentes.

Contribución de los autores

Referencias. 1-administración del proyecto, 2-adquisición de fondos, 3-análisis formal, 4-conceptualización, 5-curaduría de datos, 6-escritura, revisión y edición, 7-investigación, 8-metodología, 9-recursos, 10-redacción, borrador original, 11-software, 12-supervisión, 13-validación, 14-visualización.

	Colaboración académica													
Nombre del autor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Faberi Ariel Jesus	X		X	X		X	X	X	X	X		X	X	X
Erreguerena Ignacio			X	X		X	X	X	X			X		
Clemente Natalia Liliana			X		X				X		X			
Alvarellos Manuel	X	X			X	X	X	X	X	X				

REFERENCIAS

Abbate, P., Farias, C., Toledo, J. y Muñoz M. (2017a). Red de ensayos comparativos de variedades de trigo pan (RET-INASE): Severidad a la roya amarilla en INTA Balcarce durante la campaña 2017/18. Recuperado el 1 de noviembre de 2024 de <http://hdl.handle.net/20.500.12123/19948>

Abbate, P., Cardos, M. y Campaña, L. (2017b). El trigo, su difusión, importancia como alimento y consumo. En A. Divito y F. O. García (Comp.), *Manual del cultivo de trigo* (pp. 7-19). Instituto Internacional de Nutrición de Plantas Programa Latinoamérica Cono Sur (IPNI).

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*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/9619>

Agriculture and Horticulture Development Board. (2017). *Fungicide activity and performance in wheat*.

Agriculture and Horticulture Development Board. (2020). *Fungicide performance update for wheat, barley and oilseed rape (2020)*.

Agriculture and Horticulture Development Board. (2024). *Fungicide performance in wheat, barley and oilseed rape*.

Alberione, E., Donaire, 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.)*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Alberione, E., Donaire, G., Salines, N., Conde, B. y Mir, L. (2017). Control químico de roya amarilla (*Puccinia striiformis*) en trigo. Trigo 2017 Informe de Actualización Técnica N° 7. INTA Marcos Juárez, 55-59. <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/17394>

- Alberione, E.; Campos, P., Couretot, L. y Schutt, L.** (2020). Comportamiento sanitario de variedades de trigo Campaña 2019-20. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/17356>
- Allen, P. J.** (1965). Metabolic aspects of spore germination in fungi. *Annual Review of Phytopathology*, 3, 313–342. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.03.090165.001525>
- Allen-Stevens, T.** (2017). Sub-surface search for SDHI secrets. *Crop Production Magazine*. <https://www.cpm-magazine.co.uk/2017/12/15/sub-surface-search-sdhi-secrets/>
- Arduim, G. D. S., Reis, E. M., Barcellos, A. L., y Turra, C.** (2012). In vivo sensitivity reduction of *Puccinia triticina* races, causal agent of wheat leaf rust, to DMI and QoI fungicides. *Summa Phytopathologica*, 38(4), 306-311. <https://doi.org/10.1590/S0100-54052012000400006>
- 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. <https://doi.org/10.11648/j.ajbio.20190706.15>
- 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.
- 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://doi.org/10.4314/jasem.v23i11.11>
- Campos, P. E., Formento, A. N., Couretot, L. A. y Alberione, E. J.** (2016). Aparición epifítica de roya amarilla del trigo en la región pampeana argentina. *Guía Media*. <https://www.guiamedia.com.ar/aparicion-epifitica-de-roya-amarilla-del-trigo-en-la-region-pampeana-argentina/2016/>
- Campos, P. E.** (2017). Identificación de razas exóticas de roya amarilla en región triguera argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Campos, P.E.** (29 y 30 de septiembre de 2021). *Dinámica de las royas de trigo*. [Conferencia] IX Congreso Nacional de Trigo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Tres Arroyos, Argentina.
- Carmona, M. y Sautua, F.** (2017). *Roya amarilla del trigo. Nuevas razas en el mundo, monitoreo y uso de fungicidas*. Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. <https://www.aapresid.org.ar/blog/roya-amarilla-del-trigo>
- Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizante.** (2024). *Guía de productos fitosanitarios*. https://www.casafe.org/publicaciones/guia-de-productos-fitosanitarios/?qclid=Cj0KCQjwplmTBhCmARIsAKr58cycvpMxpXVe_8q-IE8d7GGySPIQk1SAXiE2aenD4EOqgQV51qY5awaAipVEALw_wcB
- Castellarin, J., Pedrol, H., Gonzáles, M., Incremona, M., Salvagiotti, F. y Rosso, O.** (20, 21 y 22 de octubre de 2004). *Control de enfermedades foliares en trigo: momento de aplicación y tipo de molécula fungicida*. [Conferencia]. VI Congreso Nacional de Trigo. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.
- 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*. Red Andaluza de Experimentación Agraria. <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/7dea5ae0-21e8-48d8-bbf2-415f57a106ed>
- Chaudhary, R. F., Sandipan Prashant, Prajapati, V. P., Chaudhary, F. K. y Chaudhari, M. G.** (2015). Antifungal activity of plant extracts on uredospores germination of leaf rust of wheat. *Trends in Biosciences*, 8(11), 2739- 2742.
- 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>
- Chen, X. M.** (2005). Epidemiology and control of stripe rust (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*) on wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 27(3), 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>
- de Miccolis Angelini, R. M., Habib, W., Rotolo, C., Pollastro, S. y Faretra, F.** (2010). Selection, characterization and genetic analysis of laboratory mutants of *Botryotinia*

- fuckeliana* (*Botrytis cinerea*) resistant to the fungicide boscalid. *European Journal of Plant Pathology*, 128, 185–199. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9643-8>
- Faberi, A. J., Erreguerena, I., Clemente, N. L. y Carlón, M. (2023). Efecto del epoxiconazol en mezclas sobre *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* en el cultivo de trigo. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 122(1), 123. <https://doi.org/10.24215/16699513e123>
- Fungicide Resistance Action Committee (2019). FRAC Pathogen risk list.
- He, L. M., Cui, K. D., Ma, D. C., Shen, R. P., Huang, X. P., Jiang, J. G. y Liu, F. (2017). Activity, translocation, and persistence of isopyrazam for controlling cucumber powdery mildew. *Plant disease*, 101(7), 1139-1144. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-16-0981-RE>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2017). *Actualización sanitaria para trigo y aspectos a tener en cuenta para el manejo*. Uruguay.
- 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. <https://doi.org/10.15835/nsb10310287>
- Luo, B. y Ning, Y. (2022). Comprehensive overview of carboxamide derivatives as succinate dehydrogenase inhibitors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(4), 957-975. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c06654>
- 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. <https://doi.org/10.1094/PHP-04-20-0027-RS>
- Pereyra, S. y González, N. (2024). Eficiencia de fungicidas para enfermedades en trigo y cebada. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay.
- Peterson, R., Campbell, A. y Hannah, A. (1948). A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. *Canadian Journal of Research*, 26(5), 496-500. <https://doi.org/10.1139/cjr48c-033>
- R Development Core Team (2017). R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>
- Samoiloff, A., Pastore, M., Couretot, L., Maldonado, C., Di Costanzo, M. P., Bies, V. y Chiminelli, S. (22 y 23 de septiembre de 2021). *Umbral de control de enfermedades foliares en trigo* [Póster] 5° Congreso Argentino de Fitopatología. Corrientes, Argentina.
- Semar, D., Strobel, S., Strathmann, U. y Groeger. (25 al 29 de abril de 2010). *Xemium® – the BASF Fungicide Innovation*. [Conferencia]. Modern fungicides and antifungal compounds VI. Friedrichroda, Alemania.
- 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>
- Sistema de Información Simplificado Agrícola. (2023). *Trigo 2022-2023*. INASE.
- Suty-Heinze, A., Dunkel, R., Krieg, U. y Rieck, H. (2011). Bixafen-the new cereal fungicide with yield boosting effects. En H. W. Dehne, H. B. Deising, U. Gisi, K. H. Kuck, P. E. Russell y H. Lyr (Comp.), *Modern fungicides and antifungal compounds VI* (pp. 69-74). DPG Spectrum Phytomedizin. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20153047673>
- Veloukas, T. y Karaoglanidis, G. S. (2012). Biological activity of the succinate dehydrogenase inhibitor fluopyram against *Botrytis cinerea* and fungal baseline sensitivity. *Pest management science*, 68(6), 858-864. <https://doi.org/10.1002/ps.3241>
- 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>
- Xiong, L., Shen, Y. Q., Jiang, L. N., Zhu, X. L., Yang, W. C., Huang, W. y Yang, G. F. (2015). Succinate dehydrogenase: an ideal target for fungicide discovery. En P. Maierfisch y T. M. Stevenson (Comp.), *Discovery and synthesis of crop protection products*. ACS Symposium Series 1204. <https://doi.org/10.1021/bk-2015-1204.ch013>
- Zhang, C. Q., Yuan, S. K., Sun, H. Y., Qi, Z. Q., Zhou, M. G. y Zhu, G. N. (2007). Sensitivity of *Botrytis cinerea* from vegetable greenhouses to boscalid. *Plant Pathology*, 56(4), 646–653. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01611.x>