



Manejo integrado de la roya amarilla causada por *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*¹

Integrated management of yellow rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in wheat

M. Lavilla², A. Peper³

- ¹ Recepción: 4 de agosto, 2022. Aceptación: 6 de diciembre, 2022. Este trabajo formó parte de un convenio entre la empresa Bayer® y la Universidad Nacional del Noroeste de la provincia de Buenos Aires (UNNOBA).
- ² Universidad Nacional del Noroeste de la provincia de Buenos Aires, Monteagudo 2772 (2700), Pergamino, Buenos Aires, Argentina. miguellavillapergamino@gmail.com (autor para correspondencia <https://orcid.org/0000-0002-7282-4696>).
- ³ Bayer®, Italia 285 (2700), Pergamino, Buenos Aires, Argentina. alberto.peper@bayer.com (<https://orcid.org/0000-0003-1398-4013>).

Resumen

Introducción. La roya amarilla causada por *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, es actualmente la principal enfermedad del cultivo de trigo (*Triticum aestivum*) en el norte de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Ha llegado a causar pérdidas en rendimiento cercanas al 20 %. **Objetivo.** Evaluar el efecto de diferentes sistemas de manejo agronómico sobre el rendimiento en trigo e incidencia de la roya amarilla. **Materiales y métodos.** El ensayo se llevó a cabo en la localidad de Pergamino, Buenos Aires, Argentina, durante los años 2019, 2020 y 2021. El diseño experimental fue en parcelas subdivididas, la parcela mayor fue con y sin cultivo de cobertura, la subparcela fue manejo agronómico y la sub-subparcela la aplicación de fungicida foliar en diferentes estados fenológicos del cultivo de trigo. **Resultados.** Con la utilización de fungicidas foliares en etapas cercanas a la elongación del tallo y de un cultivar resistente a la enfermedad, se redujo el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) en 62,50 %, lo cual se tradujo en incrementos significativos del rendimiento de grano de 29,52 %. La aplicación de fungicida foliar produjo un aumento del 16,94 % del rendimiento en el cultivo de trigo. La implementación de un sistema de manejo integrado sustentable generó aumentos de rendimiento del 29,52 %. **Conclusiones.** El uso de un cultivar resistente y la aplicación de un fungicida foliar en etapas tempranas, y con niveles bajos de la enfermedad, redujeron significativamente el ABCPE de la roya amarilla y aumentaron el rendimiento en el cultivo de trigo en parcelas experimentales.

Palabras claves: intensificación ecológica, cultivos de servicio, fungicidas foliares, resisitencia, enfermedad.

Abstract

Introduction. Yellow rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, is currently the main disease of wheat (*Triticum aestivum*) in the north of the province of Buenos Aires, Argentina. It has caused yield losses close to 20 %. **Objective.** To evaluate the effect of different agronomic management systems on wheat yield and incidence of yellow rust. **Materials and methods.** The trial was carried out in the town of Pergamino, Buenos Aires, Argentina, during the years 2019, 2020, and 2021. The experimental design was in subdivided plots, the largest plot was with and without cover crop, the subplot was agronomic management, and the sub-subplot the application was foliar fungicide



at different phenological stages of the wheat crop. **Results.** With the use of foliar fungicides in stages close to stem elongation and the use of a cultivar resistant to the disease produced a reduction in the area under the disease progress curve (AUCPE) by 62.50 %, which translated into significant grain yield increases of 29.52 %. Foliar fungicide application resulted in a 16.94 % increase in wheat yield. The implementation of a sustainable integrated management system generated yield increases of 29.52 %. **Conclusions.** The use of a resistant cultivar and the application of a foliar fungicide at early stages and with low levels of the disease, significantly reduced the AUCPE of yellow rust and increased the wheat yield in experimental plots.

Keywords: ecological intensification, service crops, foliar fungicides, resistance, disease.

Introducción

Los sistemas de producción enfrentan un doble desafío, por un lado incrementar y estabilizar la productividad, como así también eficientizar el uso de recursos frente a un incremento constante en la demanda de alimento por parte de la humanidad. Por otro, la sociedad reclama que los nuevos sistemas productivos presenten menor impacto ambiental. La aplicación de los conocimientos y tecnologías disponibles, expresados en el concepto de “intensificación ecológica”, no solo permitirían dar respuesta positiva a estos requerimientos, sino transformar la agricultura a través de su capacidad de captura de carbono (C) en el suelo y una mayor eficiencia en el uso del agua.

El trigo es uno de los principales cultivos de la Argentina con alrededor de siete millones de hectáreas (Bolsa de Cereales, s.f.). La emisión de gases de efecto invernadero producidos en la cadena de valor del trigo en Argentina se encuentra por debajo de los valores promedio a nivel internacional (Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 2021). La incorporación de trigo en las rotaciones mejora el balance de C, tanto por la calidad de sus rastrojos como por su cantidad. El sistema radicular del trigo mejora la estructura de los suelos.

En estos sistemas intensificados, es fundamental la correcta elección del genotipo, de la estructura del cultivo, la estrategia de fertilización y el manejo integrado de los factores bióticos (malezas, artrópodos y enfermedades). El uso combinado de estas estrategias y el concepto de tecnologías de procesos, maximiza el rendimiento en los cultivos, con un menor impacto ambiental.

Dentro del conjunto de los factores bióticos, el cultivo de trigo es afectado por diferentes patógenos biotróficos y necrotrofos. Entre los organismos biotróficos los causantes de las royas son los más importantes por su potencial destructivo. En cultivares susceptibles (Lavilla, 2022), la roya amarilla (RA) causada por *Puccinia striiformis f. sp. tritici* se ha convertido en una enfermedad endémica en el norte de la provincia de Buenos Aires, Argentina, y causa importantes pérdidas en el rendimiento de grano valor promedio de 14,4 % si no es controlada a tiempo (Lavilla, 2022). La aparición de nuevas razas de RA, adaptadas a ambientes con temperaturas más elevadas, ha incrementado esta problemática (Feodorova-Fedotova & Bankina, 2018), que se manifiesta en el norte de la provincia de Buenos Aires.

Si bien en la región existen cultivares con buen comportamiento frente a la RA, como Lapacho, SY 211, BIO 1006 y Minerva (Lavilla, 2022), su empleo permite reducir significativamente (valores cercanos a 0) la magnitud de la enfermedad. Sin embargo, el 60% de los productores de trigo en la Argentina, deciden sembrar cultivares que presentan buena calidad industrial y productividad, aunque sean susceptibles a la RA, como es el caso de los cultivares Algarrobo o Ceibo (Bolsa de Cereales, s.f.).

El uso de cultivares resistentes a la enfermedad no solo reduce el efecto del impacto ambiental causado por los fungicidas foliares, sino que a su vez quiebra el triángulo de la enfermedad y disminuye su evolución dentro del patosistema *Triticum aestivum* – *Puccinia striiformis* (Carmona et al., 2019; Lavilla, 2022; Naseri & Sharif, 2019; Shewaye & Mohammed, 2021). Diversos autores reafirman esta idea que las enfermedades deben ser manejadas mediante el mejoramiento genético (Gudero Mengesha, 2020).

Se ha comprobado que el uso combinado de fungicidas foliares y de cultivares de buen comportamiento reducen el progreso en el tiempo de la RA en el cultivo de trigo (Gudero Mengesha, 2020). Además, el uso excesivo de fungicidas, más aún los aplicados durante la etapa de llenado de granos, pueden ser perjudiciales para los consumidores de trigo (Gad et al., 2020), si no se cumplen las recomendaciones de marbete sobre el período de carencia.

Los agroecosistemas por naturaleza son inestables y para mantener su estabilidad hay que aplicarles energía. Los patógenos causantes de las royas, son especies que pueden mutar con facilidad y generar nuevos biotipos o nuevas razas, las cuales pueden volverse resistentes a los fungicidas foliares o romper la resistencia genética.

Las buenas prácticas agrícolas como el manejo cultural, el uso racional y la rotación de principios activos de fungicidas (Chen, 2005), la utilización de cultivares resistentes a la enfermedad (Martínez-Moreno et al., 2022) y la detección temprana de la enfermedad con imágenes satelitales (Heidarian Dehkordi et al., 2020; Ren et al., 2021; Zhang et al., 2022), es fundamental para evitar la aparición de nuevos biotipos del patógeno causante de la RA (Khanfri et al., 2018) y que esta enfermedad ocasione disminución en el rendimiento en granos en el cultivo de trigo.

En Rusia, *P. striiformis* presenta una elevada variabilidad genética, la cual le confiere la capacidad de formar nuevas razas, que con facilidad quiebran la resistencia genética o generan biotipos resistentes a fungicidas (Volkova et al., 2021).

En siembras comerciales en donde se utilizan cultivares susceptibles a la RA, es fundamental monitorear con frecuencia el cultivo y, en caso que el mismo supere el umbral de acción para la RA (1 % de severidad y un 30 % de incidencia; entre Z3.0 y Z7.0; Zadoks et al., 1974), se deben realizar aplicaciones de fungicidas foliares con principios activos que controlen al patógeno y mitiguen la evolución de la enfermedad (Lavilla, 2022). Es importante estudiar la interacción entre las diferentes prácticas de manejo integrado, como las culturales, las químicas y las genéticas en su conjunto, para manejar con éxito a la RA, con la menor irrupción posible en el ecosistema. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes sistemas de manejo agronómico sobre el rendimiento en trigo e incidencia de la roya amarilla.

Materiales y métodos

Ubicación del ensayo

El ensayo se llevó a cabo durante tres años consecutivos (2019, 2020, 2021) en el campo de entrenamiento de Bayer®, ubicado en la localidad de Pergamino, Buenos Aires, Argentina (-33.871244N; -60.679426W). Se consideró al año como una repetición adicional, debido a que la enfermedad fue endémica en todos los años y sus niveles superaron al umbral de acción, por ende, en todos los años se tuvo que aplicar fungicida foliar para el control de la enfermedad (Lavilla, 2022).

Datos generales del ensayo

La fecha de siembra del ensayo se realizó entre finales de mayo y mediados de junio. El ensayo tuvo una densidad de 250 plantas/m², el distanciamiento entre hileras fue de 17 cm. La unidad experimental fue de 3 m de ancho por 6 m de largo, para un área de 18 m². La fertilización se realizó con el criterio de suficiencia para los manejos aplicados por el productor (MAP) y de reposición para el manejo integrado sustentable (MIS) (Hisse et al., 2022). La aplicación del fungicida foliar se realizó en Z3.0 (finales de septiembre), Z5.0 (mediados de octubre) y Z3.0 + Z5.0 (Zadoks et al., 1974). La cosecha se realizó de manera mecánica a finales del mes de diciembre.

Diseño experimental del ensayo y datos generales de los tratamientos evaluados

El diseño experimental fue el de parcelas sub-subdivididas. En donde se realizaron bloques completos y aleatorizados con tres repeticiones. Cada bloque fue dividido en tres parcelas principales. En cada parcela principal se asignaron al azar dos modelos de cobertura (con cultivo de cobertura [*Visia sativa* + \times Triticosecale], sin cultivo de cobertura). Luego estas parcelas fueron divididas en dos subparcelas, MIS y MAP. En la subparcela MIS se empleó el cultivar de trigo Basilio, resistente a la roya amarilla (RA). En la subparcela MAP se utilizó el cultivar Algarrobo susceptible a la RA. Cada una de las subparcelas fue dividida en tres sub-subparcelas y en ellas, se asignaron al azar tres tipos de momentos de aplicación foliar en Z3, Z5, Z3+Z5 y testigo. La enfermedad, bajo infecciones naturales, se monitoreó cada semana desde la emergencia del cultivo hasta el estado de Z7. Cuando los tratamientos MAP presentaron un 30 % de incidencia y un 1 % de severidad de RA en la parcela, se realizaron las aplicaciones de fungicida foliar sobre el cultivo de trigo. El fungicida foliar utilizado Cripton Xpro, tiene los principios activos bixafen (familia química: carboxamidas) al 12,5 %, protioconazole (familia química: triazoles) al 17,5 % y trifloxistrobin (familia química: estrobilurina) al 15 %. La dosis aplicada por hectárea fue de 700 mL del producto formulado.

VARIABLES ANALIZADAS

Las variables cuantitativas analizadas fueron rendimiento (R) en kg por hectárea (kg/ha), peso de mil granos (PMG) en gramos y área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE). El R fue el resultado del peso de los granos cosechados en 2 m² por parcela y por repetición. El PMG se determinó en una balanza de precisión de 0,1 g. Para calcular el ABCPE se consideraron seis mediciones, una en cada una de las siguientes etapas: Z2,5, Z3,0, Z4,0, Z5,0, Z6,0 y Z7,0. La variable patométrica para calcular el ABCPE fue la intensidad de la enfermedad (Lavilla, 2022).

El ABCPE se calculó con la ecuación 1 de Lavilla (2022). Tanto el R como el PMG se calcularon a humedad constante (14 %).

$$ABCPE = \Sigma [(Y_0 + Y_i * (t_i - t_0)] / 2 \quad (1)$$

Donde Y_i es la incidencia o severidad de la enfermedad y t es el período de evaluación en días después. En este caso las unidades fueron porcentajes (%) y días. Además, este método de análisis epidémico considera la variación de la epidemia en el tiempo, para los análisis comparativos visuales que pudieran requerirse.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS

Los datos cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza, por lo que se realizó un análisis de la varianza (ANAVA) y prueba de comparación de medias DGC (Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves; Di-Rienzo et al., 2011).

DIAGNÓSTICO DE LA ENFERMEDAD

El diagnóstico de la presencia de la RA se realizó en campo y fue confirmado en laboratorio mediante técnicas de clínica vegetal clásicas, análisis morfológico de las esporas de RA en microscópico óptico y comparación de los resultados obtenidos con la información publicada para la especie (Lavilla, 2022).

Resultados

La roya amarilla (RA; Figura 1) causó pérdidas significativas en el R (kg ha⁻¹) en el cultivo de trigo. Además, la evolución de la misma fue diferente entre los sistemas agronómicos evaluados (Cuadro 1; $p < 0,0001$); se observaron efectos por la aplicación de fungicidas foliares en diferentes momentos (Cuadro 1; $p = 0,006$). El peso de mil granos (PMG) no fue modificado de manera significativa por ninguna de las prácticas de manejo evaluadas ($p < 0,05$, Cuadro 1). El área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) fue la única característica que presentó interacción estadísticamente significativa para sistemas agronómicos (MIS y MAP), por el momento de aplicación del fungicida foliar.

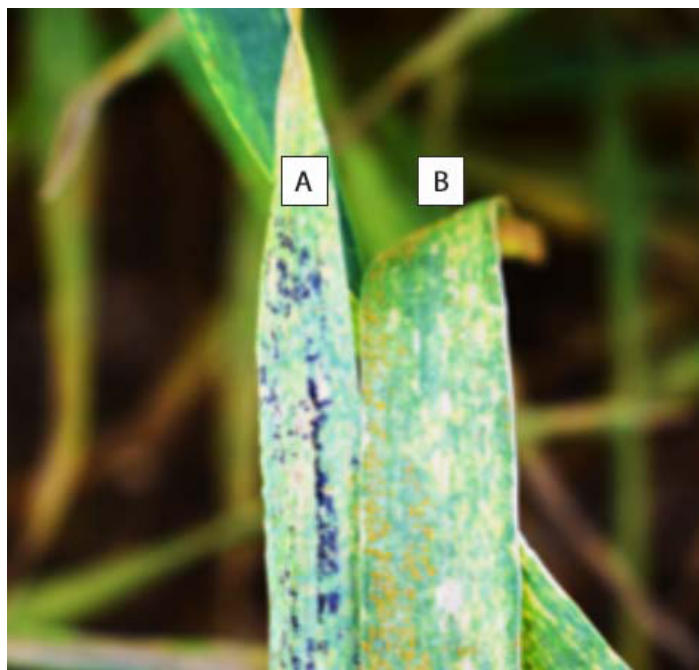


Figura 1. Síntomas y signos en trigo (*Triticum aestivum*) de la roya amarilla causada por *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. A. Telios con teliosporas (teleomorfo) y B. Uredinios con urediniosporas (anamorfo). Pergamino, Buenos Aires, Argentina, 2019, 2020 y 2021.

Figure 1. Symptoms and signs of yellow rust in wheat (*Triticum aestivum*) caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. A. Telios with teliospores (teleomorph) and B. Uredinia with urediniospores (anamorph). Pergamino, Buenos Aires, Argentina, 2019, 2020 and 2021.

Se encontraron diferencias estadísticas significativas para rendimiento y ABCPE, el sistema MIS fue el más eficiente, ya que tuvo un incremento en el rendimiento del 29,52 % en comparación con el sistema MAP. Los tratamientos MAP tuvieron en promedio menores R y mayor ABCPE de RA que los MIS (Cuadro 2). Esto se debe a que el cultivar Algarrobo es muy sensible a la RA y las infecciones naturales que ocurren en el norte de la provincia de Buenos Aires pueden provocar pérdidas de más del 30 % en la producción del cultivo.

El uso de fungicida foliar aumentó significativamente el R en las aplicaciones de Z3 o en la doble aplicación Z3 + Z5, se obtuvo una ganancia de 16,94 % y 16,32 %, respectivamente, en comparación con el tratamiento testigo (Cuadro 3). La aplicación en Z5 no presentó diferencias estadísticas respecto al testigo (Cuadro 3), sin embargo, sí se incrementó el rendimiento de grano en un 8,10 %. No hubo diferencias estadísticas entre la aplicación en Z3.0 y

Cuadro 1. Rendimiento de trigo (*Triticum aestivum*) en kg/ha, peso de mil granos en gramos y área bajo la curva de progreso de la enfermedad (roya amarilla causada por *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*). Pergamino, Buenos Aires, Argentina. 2019, 2020 y 2021.

Table 1. Wheat (*Triticum aestivum*) yield in kg/ha, weight of a thousand grains in grams, and area under the disease progress curve (yellow rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*). Pergamino, Buenos Aires Argentina. 2019, 2020, and 2021.

Fuente de variación	R	PMG	ABCPE
Modelo	<0,0001*	0,8953	0,3798
Repetición	0,1363	0,4004	0,5681
Cultivo de cobertura	0,9356	0,983	0,2374
Repetición*cultivo de cobertura	0,6553	0,3383	0,5388
Manejo	<0,0001	0,7905	0,0455
Manejo*cultivo de cobertura	0,0689	0,2017	0,2055
Cultivo de cobertura >manejo*repetición	0,9792	0,9236	0,589
Fungicida	0,006	0,1827	0,963
Fungicida*manejo	0,4318	0,6274	0,0475
Fungicida*cultivo de cobertura	0,6408	0,9665	0,8216
Fungicida*manejo*cultivo de cobertura	0,7815	0,8557	0,7398

R: rendimiento en kg/ha; PMG: el peso de mil granos en gramos; ABCPE: el área bajo la curva de progreso de la enfermedad. *p-valor. Aquellos valores con un $p \leq 0,05$ tienen diferencias estadísticamente significativas (valores en rojo) / R: yield in kg/ha; PMG: weight of a thousand grains in grams; ABCPE: area under the disease progress curve. *p-value. Those values with a $p \leq 0,05$ have statistically significant differences (values in red).

Cuadro 2. Sistemas de manejo agronómico en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum*), para las variables rendimiento en kg/ha, peso de mil granos en gramos y área bajo la curva de progreso de la enfermedad (roya amarilla causada por *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*). Pergamino, Buenos Aires, Argentina. 2019, 2020 y 2021.

Table 2. Agronomic management systems in wheat (*Triticum aestivum*) cultivation, for the variables yield in kg/ha, weight of a thousand grains in grams, and area under the disease progress curve (yellow rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*). Pergamino, Buenos Aires, Argentina. 2019, 2020 and 2021.

Manejo agronómico	R	%I	PMG	% I	ABCPE
MAP	3304,21A	0,00	29,44A	0,000	417,71 B
MIS	4279,31 B	29,52	29,52A	0,002	261,04A

R: rendimiento en kg/ha; PMG: el peso de mil granos en gramos; ABCPE: el área bajo la curva de progreso de la enfermedad. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$). MAP: manejo aplicado por el productor; MIS: manejo integrado sustentable; %I: porcentaje de incremento. / R: Yield in kg/ha; PMG: weight of a thousand grains in grams; ABCPE: area under the disease progress curve. Different letters indicate statistically significant differences ($p \leq 0,05$). MAP: management applied by the producer; MIS: integrated sustainable management; %I: percentage of increase.

la doble aplicación. La aplicación de fungicida, se debe efectuar siempre y cuando la enfermedad llegue al umbral en Z3, para de esta manera ser más eficiente en el uso fitosanitario e irrumpir lo menos posible en el ecosistema.

El ABCPE evolucionó de manera diferente según el manejo del cultivo y el momento de aplicación del fungicida foliar. El tratamiento MIS sin fungicida foliar presentó menos ABCPE que aquellos con fungicida y/o con la estrategia de manejo MAP (Cuadro 4, Figura 2). En las parcelas MIS hubo menos ABCPE (Cuadro 4, Figura 2). Si

Cuadro 3. Aplicación del fungicida foliar Cripton Xpro, para el combate de la roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*), en diferentes estados fenológicos del cultivo de trigo (*Triticum aestivum*) y su efecto sobre el rendimiento en kg/ha. Se presenta el porcentaje de incremento del rendimiento respecto al tratamiento testigo. Pergamino, Buenos Aires, Argentina. 2019, 2020 y 2021.

Table 3. Application of the foliar fungicide Cripton Xpro for the yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) control in different phenological stages of the wheat (*Triticum aestivum*) crop and its effect on yield in kg/ha. Likewise, the percentage increase of yield compared to the control treatment is presented. Pergamino, Buenos Aires, Argentina. 2019, 2020, and 2021.

Aplicación de fungicida foliar	R	%I
Testigo	3436,36A	0,00
Z5	3714,78A	8,10
Z3+Z5	3997,33 B	16,32
Z3	4018,56 B	16,94

R: rendimiento en kg/ha; I%: porcentaje de incremento. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$). / R: yield in kg/ha; %I: increase percentage. Different letters indicate statistically significant differences ($p \leq 0,05$).

Aplicación del fungicida foliar: Z3.0 (finales de septiembre), Z5.0 (mediados de octubre). / Foliar fungicide application: Z3.0 (late September), Z5.0 (mid-October).

Cuadro 4. Área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) evaluada en los diferentes manejos agronómicos y momentos de aplicación del fungicida foliar para el combate de la roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) en trigo (*Triticum aestivum*). Pergamino, Buenos Aires, Argentina. 2019, 2020 y 2021.

Table 4. Area under the disease progress curve (ABCPE) evaluated in the different agronomic managements and moments of application of the foliar fungicide for the control of yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) in wheat (*Triticum aestivum*). Pergamino, Buenos Aires, Argentina. 2019, 2020, and 2021.

Tratamientos	Manejo	ABCPE
Testigo	MIS*	100,00 A
Z5	MIS	268,33 B
Z3	MIS	326,67 B
Z3+Z5	MIS	349,17 B
Z3	MAP**	355,83 B
Z5	MAP	361,67 B
Z3+Z5	MAP	378,33 B
Testigo	MAP	575,00 B

ABCPE: el área bajo la curva de progreso de la enfermedad *MIS: manejo integrado sustentable; **MAP: manejo aplicado por el productor. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$). / ABCPE: area under the disease progress curve. Different letters indicate statistically significant differences ($p \leq 0,05$).

Aplicación del fungicida foliar: Z3.0 (finales de septiembre), Z5.0 (mediados de octubre). / Foliar fungicide application: Z3.0 (late September), Z5.0 (mid-October).

bien la interacción no fue significativa en los sistemas MIS (Cuadro 1; $p=0,7398$), el uso de fungicida foliar produjo un efecto contraproducente y se empezaron a observar pústulas de RA, aunque estos niveles de incidencia y trazas de la RA, no tuvo un efecto significativo sobre el R.

El empleo de cultivos de cobertura no tuvo impacto significativo ($p < 0,05$) sobre el ABCPE de la RA, debido a que esta enfermedad es biotrófica, su fase sexual (teleomorfa) no presenta un hospedante alternativo conocido y su diseminación depende exclusivamente de su supervivencia en hospedantes alternativos de la fase asexual

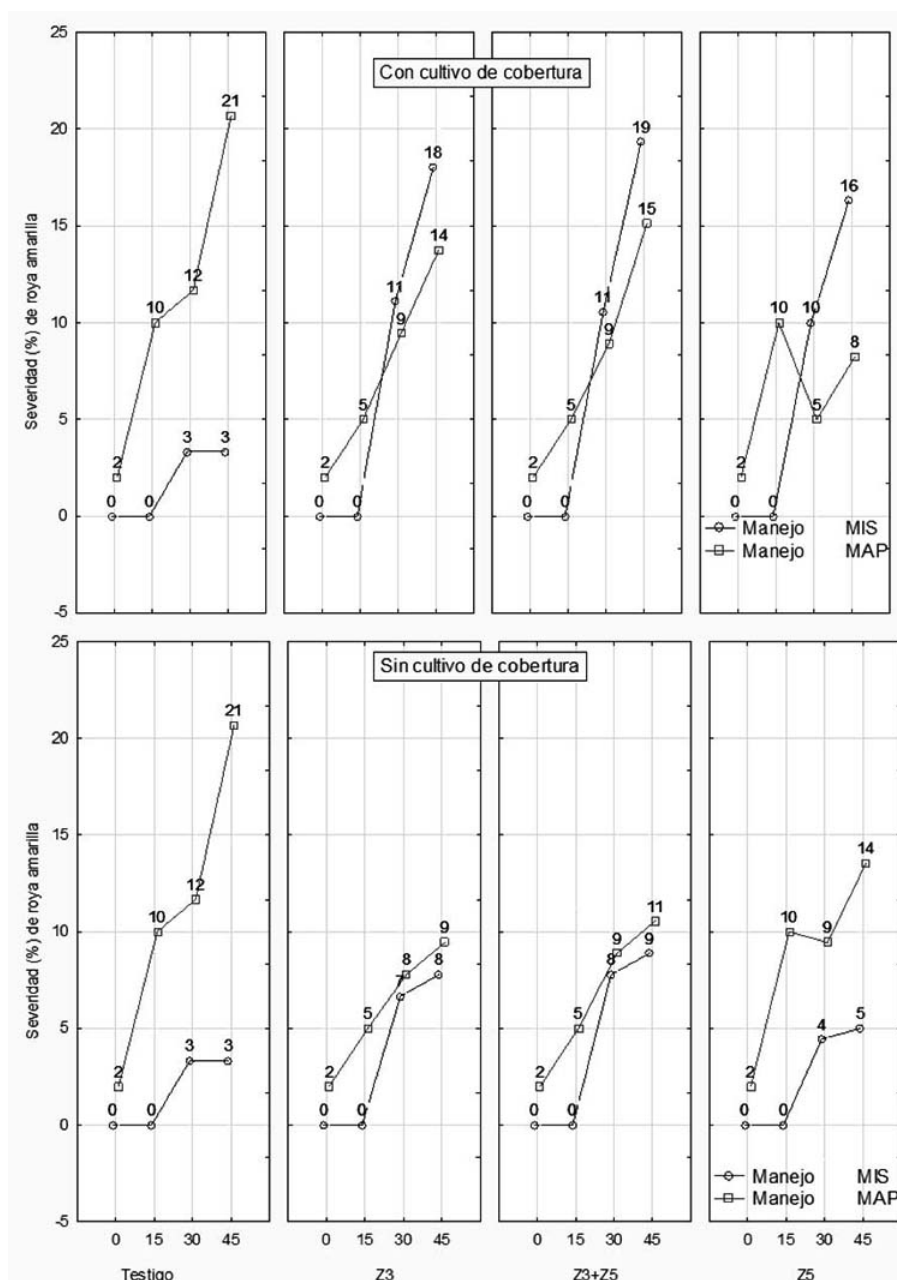


Figura 2. Evolución de la roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) en trigo (*Triticum aestivum*), en los diferentes tratamientos. Pergamino, Buenos Aires, Argentina. 2019, 2020 y 2021.

MIS: manejo integrado sustentable; MAP: manejo aplicado por el productor. Los números arábigos en el eje de las X representan los días posteriores a la aplicación de fungicida foliar. Las letras y números debajo de los números arábigos del eje de las X representan el momento de aplicación del fungicida.

Figure 2. Evolution of yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) in wheat (*Triticum aestivum*), in the different treatments. Pergamino, Buenos Aires, Argentina. 2019, 2020 y 2021.

MIS: sustainable integrated management; MAP: management applied by the producer. Arabic numerals on the X-axis represent days after foliar fungicide application. The letters and numbers below the Arabic numerals on the X-axis represent the time of fungicide application.

(anamorfa). Además, en el caso de que existiera inóculo en el lote por parte de alguna gramínea que cumpla la función de puente verde, como el triticale, el mismo debería ser muy elevado para tener un efecto significativo sobre el ABCPE, debido a que la RA es una enfermedad policíclica.

Discusión

La utilización de un cultivar resistente a la RA, fue la principal estrategia dentro de los sistemas agronómicamente sustentables para no tener efectos adversos de la enfermedad sobre el R.

El uso de fungicidas foliares en esta experiencia no tuvo un efecto significativo ($p>0,05$) entre los diferentes sistemas MIS o MAP.

Los resultados observados indican que el uso de fungicidas foliares controlaron a la RA en el cultivar Algarrobo, en etapas tempranas del cultivo (Z3.0-Z3.5; Zadoks et al., 1974) y con niveles bajos de la enfermedad (1 % – 30 % de incidencia y 1 % de severidad). En Etiopía al realizar más de una aplicación de fungicida foliar se redujo significativamente la RA e incrementó la producción del cultivo de trigo (Ayele et al., 2019).

Este trabajo de investigación es uno de los pocos en el mundo, en el que se ha aplicado un fungicida foliar con tres principios activos diferentes (carboxamidas, triazoles y estrobilurinas). La aplicación de Cripton Xpro® incrementó el rendimiento en trigo en alrededor de 17 % cuando fue aplicado en Z3.0, en comparación con el testigo. Investigaciones realizadas en Etiopía, en India e Irán, en donde se habían utilizado fungicidas foliares con uno o dos principios activos en su formulación, dieron como resultado que su uso redujo significativamente la evolución de la RA y aumentó la producción en trigo (Ayele Zerihun & Muche Abebele, 2021; Basandrai et al., 2020; Hasanzadeh et al., 2020). En Portugal se utilizó un fungicida foliar a base de bixafen y prothioconazole, pero sin una estrobilurina en diferentes cultivares de trigo y se obtuvieron en promedio incrementos en el rendimiento del 45 % y del 18 % en el peso de mil granos (Gomes et al., 2018).

Conclusiones

El uso de un cultivar resistente y la aplicación de un fungicida foliar en etapas tempranas y con niveles bajos de la enfermedad, redujeron significativamente el ABCPE de la roya amarilla en un 62,50%, y aumentan el rendimiento en el cultivo de trigo en parcelas experimentales en un 29,52%.

Referencias

- Ayele, A., Chala, A., & 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>
- Ayele Zerihun, A., & Muche Abebele, G. (2021). Economic returns of foliar fungicides application to control yellow rust in bread wheat cultivars in Arsi high lands of Ethiopia. *Current Investigations in Agriculture and Current Research*, 9(3), 1246–1250. <https://lupinepublishers.com/agriculture-journal/fulltext/economic-returns-of-foliar-fungicides-application-to-control-yellow-rust-in-bread.ID.000317.php>
- Basandrai, A. K., Mehta, A., Rathee, V. K., Basandrai, D., & Sharma, B. K. (2020). Efficacy of fungicides in managing yellow rust of wheat. *Journal of Cereal Research*, 12(2), 103–108. <https://epubs.icar.org.in/index.php/JWR/article/view/100849>

- Bolsa de Cereales. (s.f). *Panorama agrícola semanal*. Recuperado mayo 19, 2022 de <https://www.bolsadecereales.com/>
- Carmona, M. A., Sautua, F. J., Pérez-Hernández, O., Grosso, C., Vettorello, L., Milanesio, B., Corvi, E., Almada, G., & Støvring Hovmøller, M. (2019). Rapid emergency response to yellow rust epidemics caused by newly introduced lineages of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in Argentina. *Tropical Plant Pathology*, *44*(4), 385–391. <https://doi.org/10.1007/s40858-019-00295-y>
- 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>
- Di-Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2011). *InfoStat*. Grupo InfoStat. <http://www.infostat.com.ar>
- Feodorova-Fedotova, L., & Bankina, B. (2018). Characterization of yellow rust (*Puccinia striiformis* westend.): review. *Research for Rural Development*, *2*, 69–76. <https://doi.org/10.22616/rrd.24.2018.053>
- Gad, M. A., Abdel-Halim, K. Y., Seddik, F. A., & Soliman, H. M. A. (2020). Comparative of fungicidal efficacy against yellow rust disease in wheat plants in compatibility with some biochemical alterations. *Menoufia Journal of Plant Protection*, *5*(1), 29–38. <https://doi.org/10.21608/mjapam.2020.169578>
- Gomes, A., Almeida, A. S., Coutinho, J., Costa, R., Pinheiro, N., Coco, J., Costa, A., Bagulho, A. S., & Maças, S. (2018). Foliar fungicide application as management strategie to minimize the growing threat of yellow rust on wheat in Portugal. Emirates. *Journal of Food and Agriculture*, *30*(9), 715–724. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i9.1793>
- Gudero Mengesha, G. G. (2020). Management of yellow rust (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*) and stem rust (*Puccinia graminis* f.sp. *tritici*) of bread wheat through host resistance and fungicide application in Southern Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, *6*(1), Article 1739493. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1739493>
- Hasanzadeh, M., Safaie, N., Reza Eslahi, M., Taha Dadrezaei, S., & Nosratollah Tabatabaei, S. (2020). Economic returns from the foliar fungicide application to control leaf rust in winter wheat cultivars in southwest of Iran (Khuzestan Province). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *19*(3), 199–206. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.09.005>
- Heidarian Dehkordi, R., El Jarroudi, M., Kouadio, L., Meersmans, J., & Beyer, M. (2020). Monitoring wheat leaf rust and stripe rust in winter wheat using high-resolution UAV-based red-green-blue imagery. *Remote Sensing*, *12*(22), Article 3696. <https://doi.org/10.3390/rs12223696>
- Hisse, I. R., Biganzoli, F., Peper, A. M. & Poggio, S. L. (2022). Annual productivity of cropping sequences: Responses to increased intensification levels. *European Journal of Agronomy*, *137*, Article 126506. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126506>
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (2021, 5 mayo). *La huella de carbono en la cadena de trigo argentino por debajo de valores internacionales*. <https://www.argentina.gob.ar/noticias/la-huella-de-carbono-en-la-cadena-de-trigo-argentino-por-debajo-de-valores-internacionales>
- Khanfri, S., Boulif, M., & 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>
- Lavilla, M. (2022). Efecto sobre el rendimiento del trigo (*Triticum aestivum*) de la roya amarilla causada por *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *Agronomía Mesoamericana*, *33*(1), Artículo 46141. <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.46141>

- Martínez-Moreno, F., Giraldo, P., Nieto, C., & Ruiz, M. (2022). Resistance to leaf and yellow rust in a collection of spanish bread wheat landraces and association with ecogeographical variables. *Agronomy*, *12*(1), Article 187. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010187>
- Naseri, B., & Sharif, F. (2019). Predicting wheat stripe rust epidemics according to influential climatic variables. *Journal of Plant Protection Research*, *59*(4), 519–528. <https://doi.org/10.24425/jppr.2019.131260>
- Ren, Y., Huang, W., Ye, H., Zhou, X., Ma, H., Dong, Y., Shi, Y., Geng, Y., Huang, Y., Jiao, Q., & Xie, Q. (2021). Quantitative identification of yellow rust in winter wheat with a new spectral index: Development and validation using simulated and experimental data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *102*, Article 102384. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102384>
- Shewaye, Y., & Mohammed, H. (2021). Screening and evaluation of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes resistance to stripe rust. *International Journal of Current Research*, *10*(7), 71609–71615. <https://www.journalcra.com/sites/default/files/issue-pdf/31159.pdf>
- Volkova, G. V., Kudinova, O. A., & Matveeva, I. P. (2021). Virulence and diversity of *Puccinia striiformis* in South Russia. *Phytopathologia Mediterranea*, *60*(1), 119–127. <https://doi.org/10.36253/phyto-12396>
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, *14*(6), 415–421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>
- Zhang, T., Yang, Z., Xu, Z., & Li, J. (2022). Wheat yellow rust severity detection by efficient DF-UNet and UAV multispectral imagery. *IEEE Sensors Journal*, *22*(9), 9057–9068. <https://doi.org/10.1109/jsen.2022.3156097>