

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EFFECTO DE LA PULVERIZACIÓN CON FUNGICIDA SOBRE EL CONTROL
DE LA ROYA ESTRIADA Y LA PRESENCIA DE RESIDUOS EN EL GRANO
DE TRIGO**

por

Ivana Sofia JOLOCHÍN CERRUDO

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

MONTEVIDEO

URUGUAY

2026

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
“Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Directora:

Ing. Agr. (Dra.) María Cintia Palladino

Codirectora:

Ing. Agr. (Dra.) Lucía Pareja

Tribunal:

Ing. Agr. (Dra.) Lucía Pareja

Ing. Agr. Matías Van den Dorpel

Ing. Agr. (Dra.) Juana Villalba

Fecha: 9 de abril de 2026

Estudiante:

Ivana Sofía Jolochín Cerrudo

AGRADECIMIENTOS

A Dios; a Papá y Mamá, por darme la vida; papá gracias por cultivar una persona todo terreno y enseñarme a manejar tractores desde niña, recorrer cultivos, transportar los granos, y todas las actividades que conlleva. A Alicia, Noelia, Rosario, Virginia, Melissa y familias por ser mi gran sostén; mis amigos de siempre, que son mi cable a tierra, y las que ya no están, pero siempre acompañando Sofía y Victoria. Mis primos y familias. Al establecimiento “LOS ÁLAMOS” y propietario, donde aprendí a administrar un campo, puse en práctica mi carrera, aprendí a negociar y andar a caballo entre otras cosas; lugar que me apalanco en la carrera y sobre todo en la vida. Al Ing. Agr. Nicolás por compartir sus conocimientos con mi persona y ayudarme a culminar esta etapa tan importante. Y por último a la Licenciada Ivana López por todo el camino transitado. Simplemente gracias a cada uno de ustedes, no hubiese sido posible sin su presencia.

A la Facultad de Agronomía y Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” por el espacio y la oportunidad para formar y desarrollar este proyecto.

A mi tutora Ing. Agr. Mag. Dra. Cintia Palladino por su orientación, dedicación, y compartir su conocimiento.

A la biblioteca por estar siempre a disposición en cuanto a materiales.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	6
RESUMEN.....	7
SUMMARY	8
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Objetivos	10
1.1.1. Objetivo general.....	10
1.1.2. Objetivos específicos.....	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. Trigo en Uruguay	11
2.2. Enfermedades del trigo	12
2.2.1. Roya estriada.....	12
2.2.2. Manejo integrado de la roya estriada	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1. Experimentos de campo	24
3.1.1. Experimento 1	24
3.1.2. Experimento 2.....	27
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1. Analisis de factores climaticos asociados al desarrollo de RE.....	29
4.1.1. Experimento 1.....	30
4.1.2. Experimento 2.....	39
5. CONCLUSIÓN.....	43
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
7. ANEXOS.....	54

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla n.

Tabla 1 <i>Tratamientos del experimento 1</i>	25
Tabla 2 <i>Tratamientos del experimento 2</i>	27
Tabla 3 <i>ANAVA para área de debajo la curva de la enfermedad (ADPCE)</i>	33
Tabla 4 <i>ANAVA para Eficiencia de Control (%)</i>	35
Tabla 5 <i>ANAVA para Rendimiento</i>	37
Tabla 6 <i>Concentración de ingredientes activos para tratamientos del experimento en grano de trigo expresados en mg/kg</i>	40
Tabla 7 <i>LMR según Codex y Unión Europea para diferentes ingredientes activos</i>	42

Figura n.

Figura 1 <i>Disposición de las pústulas de la roya estriada en trigo</i>	13
Figura 2 <i>Ciclo de Puccinia striiformis f. s.p. tritrici, agente causal de la roya estriada del trigo</i>	14
Figura 3 <i>Precipitación y temperatura promedio decádicas, para el periodo de estudio, comparadas al promedio histórico</i>	30
Figura 4 <i>Porcentaje de incidencia según estadio fenológico</i>	31
Figura 5 <i>Porcentaje de severidad según estadio fenológico</i>	32
Figura 6 <i>Área de la Enfermedad Debajo la Curva para los diferentes tratamientos</i>	34
Figura 7 <i>Eficiencia de control para diferentes tratamientos</i>	36
Figura 8 <i>Rendimiento (kg/ha) para los diferentes tratamientos</i>	38

RESUMEN

El control químico es la principal estrategia de manejo de la roya estriada (RE) en trigo y su eficiencia depende fundamentalmente del momento de aplicación y de la calidad de la pulverización. En condiciones altamente predisponentes, pueden requerirse múltiples aplicaciones durante el ciclo del cultivo, lo que incrementa el riesgo de generación de residuos en grano. El objetivo de esta tesis fue evaluar el efecto del tamaño de gota sobre la eficiencia de control de RE mediante una mezcla de fungicidas y analizar el riesgo de residuos en grano de trigo en función del momento de aplicación. Para ello, se realizaron dos experimentos en un cultivar susceptible para RE. En el Experimento 1 se evaluó una mezcla de fungicidas (fluxapiraxad, epoxiconazol y piraclostrobina) con dos tamaños de gota (grande y chica) y tres momentos de aplicación (nivel crítico, NC, 15 días posteriores al NC y Z49) sobre el control de la enfermedad y el rendimiento. En el Experimento 2 se evaluó la misma mezcla aplicada con ambos tamaños de gota y en distintos momentos del ciclo, simulando escenarios de alto riesgo de generación de residuos en grano. La enfermedad se detectó en Z41 y alcanzó una severidad máxima de 26%. Si bien se observaron diferencias en niveles de enfermedad entre tratamientos, la eficiencia de control y el rendimiento mostraron escasas diferencias. La aplicación en NC no logró el control esperado, probablemente debido a la heterogeneidad espacial de la epidemia y a las condiciones ambientales posteriores a la intervención, lo que resalta la necesidad de un monitoreo continuo y de ajustar las decisiones de control a la dinámica epidémica y a los pronósticos climáticos. En el Experimento 2, el tamaño de gota no influyó en la concentración de residuos en grano. Las aplicaciones en estadios fenológicos avanzados y las aplicaciones múltiples que no respetaron el tiempo de carencia superaron los límites máximos de residuos establecidos por organismos internacionales. En conjunto, los resultados destacan la importancia de decidir la aplicación en función de la detección del patógeno y de las condiciones ambientales predichas y predisponentes, priorizando el uso de gotas de mayor tamaño para minimizar la deriva y respetando el tiempo de carencia indicado en la etiqueta.

Palabras clave: roya estriada, *Puccinia striiformis*, cereales, fungicidas foliares

SUMMARY

Chemical control is the primary management strategy for stripe rust (SR) in wheat, and its effectiveness largely depends on application timing and spray quality. Under highly conducive conditions, multiple applications during the crop cycle may be required, increasing the risk of fungicide residues in grain. The objective of this thesis was to evaluate the effect of droplet size on SR control efficiency using a fungicide mixture and to assess the risk of residue occurrence in wheat grain as influenced by application timing. Two experiments were conducted using a cultivar susceptible to SR. In Experiment 1, a fungicide mixture (fluxapyroxad, epoxiconazole, and pyraclostrobin) was applied using two droplet sizes (coarse and fine) at three application timings: critical threshold (Ct), 15 days after Ct, and GS49. Disease control and grain yield were evaluated. In Experiment 2, the same mixture was applied with both droplet sizes at different crop growth stages, simulating scenarios with a high risk of residue occurrence in grain. Stripe rust was first detected at GS41 and reached a maximum severity of 26%. Although differences in disease levels were observed among treatments, control efficiency and yield showed limited variation. The application performed at Ct did not achieve the expected level of control, likely due to the spatial heterogeneity of the epidemic and the environmental conditions following application. These findings highlight the importance of continuous monitoring and of adjusting fungicide decisions according to epidemic dynamics and weather forecasts. In Experiment 2, droplet size did not significantly influence fungicide residue concentrations in grain. Applications performed at advanced growth stages and multiple applications that did not comply with the pre-harvest interval exceeded the maximum residue limits established by international regulatory bodies. Overall, the results emphasize the importance of timing fungicide applications based on pathogen detection and predicted conducive environmental conditions, prioritising the use of coarse droplets to minimise spray drift and strictly adhering to label-specified pre-harvest intervals.

Keywords: stripe rust, *Puccinia striiformis*, cereals, foliar fungicides

1. INTRODUCCIÓN

En Uruguay, el cultivo de trigo ha sido históricamente uno de los principales rubros agrícolas, siendo el principal destino de la producción el abastecimiento de la industria molinera nacional y la exportación (Rava, 2022; Verges & Vázquez, 2004). A lo largo del tiempo, el trigo ha ocupado mayor área de siembra respecto a los restantes cultivos invernales de relevancia nacional, cebada, colza y actualmente carinata. Si bien ha estado sujeto a variaciones, la superficie sembrada es 300.000 ha aproximadamente (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2025). El máximo rendimiento histórico promedio nacional a la fecha, tuvo lugar en la zafra 2023-24, con 5.037 kg/ha (DIEA, 2024), el promedio en base a las últimas cinco zafras se ubica en 4.314 kg/ha (DIEA, 2026).

Las enfermedades se han convertido en uno de los factores reductores del rendimiento potencial del cultivo de trigo más preponderantes, siendo la roya estriada (RE), una de las principales a nivel país y región. Esta enfermedad puede ocasionar pérdidas de rendimiento y calidad de grano de hasta 81%. El agente causal de esta enfermedad es *Puccinia striiformis* (Germán et al., 2018). Su control depende del momento de aplicación del fungicida, siendo crítico para lograr un control eficiente de la enfermedad. La desuniformidad de la infección a nivel cultivo, puede hacer que incluso cuando se aplique fungicida a detección de los primeros síntomas, el mismo se aplique en zonas del cultivo con una severidad mayor a la recomendada. Por lo que es esencial que la calidad de la aplicación sea óptima y que se logre una cobertura completa de las hojas basales.

Las tecnologías de aplicación de fitosanitarios pueden mejorar la eficiencia del control de enfermedades, pero aplicaciones incorrectas pueden generar deriva, constituyendo una fuente significativa de contaminación del agua, el suelo y la atmósfera. Además, existe creciente evidencia de que las aplicaciones de fungicidas pueden dejar residuos en granos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] & Organización Mundial de la Salud [OMS], s.f.c). Identificar los momentos críticos en los que las aplicaciones pueden dejar residuos detectables en grano, resulta clave para garantizar el cumplimiento de las normativas internacionales vigentes como el *Codex alimentarius* o la Unión Europea. En este contexto, la presente tesis busca generar información técnica que contribuya a optimizar el manejo de la roya estriada en trigo, evitando pérdidas de rendimiento y garantizando la inocuidad alimentaria.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Evaluar el efecto del tamaño de gota sobre la eficiencia de control de roya estriada, a partir de una mezcla de fungicidas y analizar el riesgo de generación de residuos en los granos de trigo en función del momento de aplicación en el cultivo.

1.1.2. Objetivos específicos

OE1. Determinar el efecto del tamaño de gota en el control de la roya estriada utilizando una mezcla de fungicidas ampliamente utilizada para esta enfermedad.

OE2. Identificar el momento de mayor riesgo del control químico, en relación al contenido de residuos de fungicidas en granos de trigo, resultantes de estas aplicaciones.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Trigo en Uruguay

La mayor superficie de cultivos de invierno en Uruguay se sembró en el 2022, alcanzando 861 mil hectáreas, un 33% por encima de las zafas 2021 y 2023, siendo la mayor superficie sembrada a la fecha (DIEA, 2023, 2025). El trigo es el principal cereal de invierno sembrado en el país y si bien ha estado sujeto a variaciones, la superficie sembrada con trigo es de 300 mil hectáreas aproximadamente (DIEA, 2023, 2024, 2025). Actualmente, la superficie sembrada de cultivos de verano supera a la de invierno, con un área sembrada de 1.521.723 hectáreas, de las cuales 1.229.235 corresponden al cultivo de soja (DIEA, 2025). Este hecho ocurre desde el año 2000, donde el cultivo de soja pasó de ser casi inexistente a dominar como principal cultivo de secano para grano en el país (Stewart et al., 2023).

El máximo rendimiento histórico promedio nacional a la fecha para trigo, tuvo lugar en la zafa 2023-24, con 5.037 kg/ha, asociado en gran medida a las condiciones excepcionales del año (DIEA, 2024). El promedio en base a las últimas cinco zafas, se ubica en 4.314 kg/ha (DIEA, 2025). Su principal destino es grano seco para la industria molinera local y exportación (Rava, 2022). Las características climáticas de la región hacen que el rendimiento de trigo sea altamente variable, siendo fuertemente influenciado por factores bióticos y abióticos. En este sentido, las enfermedades foliares han sido identificadas como el principal factor biótico limitante en la concreción de altos rendimientos (DIEA, 2011).

La producción de trigo se concentra en un 75% en el litoral del país, abarcando principalmente los departamentos de Soriano, Colonia, Rio Negro y Paysandú. La cosecha anual no solo está determinada por la irregularidad climática, sino que también depende de las cotizaciones del mercado, debido a que el área sembrada varía con la relación costo beneficio, compitiendo con otros cultivos que forman parte de la rotación (*Economía: Agricultura*, s.f.). Si bien el trigo tiene su lugar histórico en la rotación, la coyuntura favorable de otros cultivos de invierno como cebada y canola, ponen al cereal en una situación de reto para mantener e incrementar el área (Rava, 2021).

2.2. Enfermedades del trigo

El trigo es afectado por un gran número de patógenos, capaces de causar enfermedades, dentro de ellas el grupo de las manchas foliares, causadas por *Bipolaris sorokiniana* (mancha marrón), *Dreschlera tritici-repentis* (mancha amarilla) y *Zymoseptoria tritici* (septoriosis). El grupo de los biotrofos, causales de royas, integrado por *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* (roya del tallo), *Puccinia triticina* (roya de la hoja del trigo) y *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* (roya estriada) y el oídio que es causado por *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* (González, 2010; Pereyra et al., 2005). También aparece la fusariosis de la espiga causada por *Fusarium graminearum* (Díaz de Ackermann, 2004; Stewart, 2001) y piricularia o bruzzone causado por *Magnaporthe oryzae* (Pereyra & Silva, 2024). La importancia relativa de estos patógenos ha variado en la última década en función de los cambios en los sistemas productivo, particularmente por la adopción generalizada de la siembra directa en la agricultura de secano en Uruguay (Annone, 2010; Pereyra et al., 2005).

Este sistema ha promovido una mayor intensificación del uso del suelo y, en consecuencia, un incremento en el uso de fitosanitarios, asociado a modificaciones en las poblaciones de patógenos. En este contexto, se han visto favorecidos los patógenos dependientes del rastrojo, principalmente aquellos de hábito necrotrófico, como los agentes causales de manchas foliares y fusariosis de la espiga (Stewart, 2001). Por su parte, las enfermedades ocasionadas por hongos biotróficos, que requieren tejido vivo para su desarrollo, como las royas y el oídio, se ven favorecidas por la expansión del área sembrada con cultivares susceptibles (Scholz et al., 2019). Actualmente, las royas constituyen uno de los grupos de enfermedades de mayor relevancia en Uruguay y la región, debido al sostenido incremento del área cultivada con cultivares susceptibles (Germán et al., 2018; Silva et al., 2023).

2.2.1. Roya estriada

La roya estriada (RE) o también llamada roya amarilla de trigo es causada por el patógeno *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. En Uruguay apareció por primera vez en 1929 causando epidemias generalizadas y muy severas. Desde su reporte, hasta el 2016 la enfermedad resultó esporádica, resurgiendo en la zafra 2017 y ocasionando epidemias generalizadas severas, que han sido ininterrumpidas hasta la fecha (Silva et al., 2023).

Los síntomas de esta enfermedad se caracterizan por la presencia de pústulas de color amarillento, orientadas de modo lineal o formando estrías sobre las hojas (Figura 1), eventualmente pueden observarse sobre las vainas y en infecciones severas alcanzar las espigas (Pereyra et al., 2005). Incluso en estadios iniciales del cultivo, puede afectar a las plántulas; cuando ocurre temprano en el ciclo o al inicio de la enfermedad, las pústulas de RE pueden confundirse con roya común de la hoja, ya que no respetan el patrón de disposición lineal característico (Silva et al., 2023). La RE se caracteriza por ser de naturaleza “sistémica”, es decir que a partir de una uredospora (espora asexual), se forman nuevos uredos (pústulas) en línea y en pocos días se puede cubrir la hoja (Figura 1), a diferencia de la roya de la hoja o de tallo. Estas últimas, son de naturaleza localizada, es decir que desarrolla una pústula por espora depositada sobre el tejido vegetal (Formento, 2021).

Figura 1

Disposición de las pústulas de la roya estriada en trigo

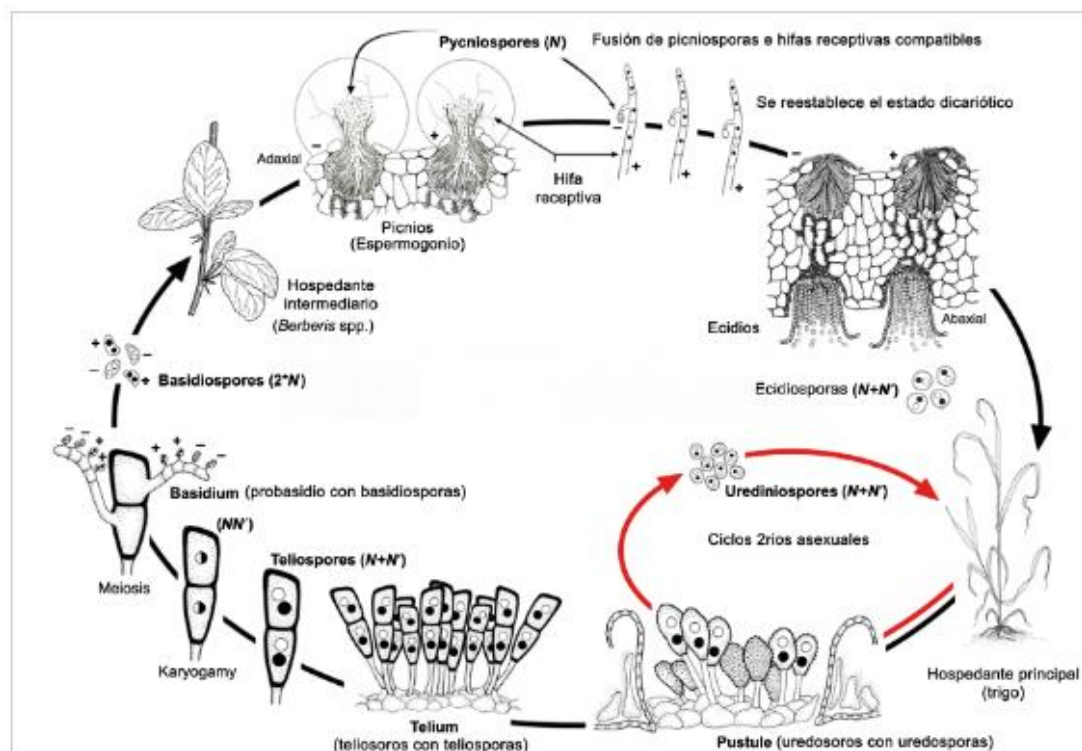


Nota. Tomado de Carmona y Sautua (2017).

Hacia el final del ciclo de la enfermedad, coincidente con las etapas finales del cultivo, se generan teliosporas (esporas sexuales), estas son de color negro y que forman pústulas de tonalidad oscura (Figura 2). Estas generalmente no afectan directamente a los cereales, sino que sobreviven en suelo o en residuos del cultivo, germinando para producir basidiosporas que inician el ciclo de infección. En las royas, las teliosporas pueden germinar para infectar huéspedes alternativos, pero no directamente el cereal (Cátedra de Fitopatología, s.f.; Lavilla & Peper, 2023).

Figura 2

Ciclo de *Puccinia striiformis* f. s.p. tritici, agente causal de la roya estriada del trigo



Representación esquemática del ciclo de vida de *Puccinia striiformis* f. sp. tritici, agente causal de la roya amarilla o estriada o lineal del trigo. Fuente: Schwessinger, 2016

Nota. Tomado de Cátedra de Fitopatología (s.f.).

Para la RE hay dos fuentes de inóculo, el inóculo endógeno originado en las cercanías de los cultivos y que generalmente inicia epidemias más temprano en el ciclo del cultivo, las cuales a su vez suelen ser más severas. Y el inóculo exógeno, es decir el inóculo transportado desde grandes distancias, el cual es considerado fuente importante de nuevas razas del patógeno. Las esporas son transportadas por el viento, pudiendo diseminarse cientos de kilómetros dentro de la zona epidemiológica, donde se encuentra comprendido

Uruguay y las regiones trigueras de Argentina, Brasil, Paraguay, así como zonas bajas de Bolivia (Germán et al., 2011; Silva et al., 2023).

Puccinia striiformis sobrevive como micelio y uredosporas en más de 18 géneros de gramíneas, pueden infectar diversas especies de trigo y huéspedes alternativos (Carmona & Sautua, 2017). Las condiciones óptimas para el establecimiento de RE son temperaturas frescas de entre 8-15 °C, agua libre sobre el follaje, por un mínimo 6 horas, que puede provenir tanto del rocío en horas de la mañana, como de lluvias leves. Esta situación, combinada a días secos y soleados, aceleran el desarrollo de RE, favoreciendo la aparición temprana en el ciclo del cultivo (Kolmer et al., 2009; Silva et al., 2023). En coincidencia con lo anterior, Pereyra et al. (2005) mencionan que, las mismas condiciones ideales, difiriendo parcialmente en el rango óptimo de temperatura, según estos autores el rango ideal va de 10 a 15 °C.

En Uruguay, se ha observado que el inicio de epidemias de RE se ha dado más temprano en el tiempo, pasando de detectarse por primera vez dentro de las respectivas zafra durante septiembre, a iniciar las detecciones en julio. Esto podría explicarse por la supervivencia del patógeno en plantas guachas durante el verano, pudiendo esto incluso estar asociado a la presencia de razas tolerantes a mayor temperatura. Si bien en el país este hecho no ha sido aún reportado, en Argentina es conocido en determinadas zonas de cultivo, por lo que podría estar llegando de forma más temprana el inóculo (Silva et al., 2023). Así mismo, el inóculo primario podría provenir de cultivos de servicio, que han ganado participación en los sistemas productivos, siendo el caso del centeno o del triticale, donde se han comprobado diferentes niveles de susceptibilidad a RE.

La relevancia de esta enfermedad se debe a las pérdidas de rendimiento que genera en el cultivo, las cuales pueden ser totales en materiales susceptibles (Germán et al., 2018; Silva et al., 2023), en ensayos de Evaluación Nacional de Cultivares, desarrollados en INIA La Estanzuela e INIA Dolores, durante el año 2017, se determinó que las pérdidas de rendimiento en grano fueron del 71% al 82%, representando mermas en el rendimiento de 3900 a 4600 kg/ha. En tal sentido, se observaron cambios en el comportamiento sanitario frente a roya estriada, en algunos cultivares, respecto a evaluaciones anteriores. Por ejemplo, el cultivar Ceibo, que en la zafra 2016-17 presentaba un comportamiento intermedio frente a RE a la siguiente se comportó como moderadamente susceptible. Esto último, asociado probablemente a la presencia de una nueva raza de roya (Germán et al., 2018).

Es de suma importancia que el período de desarrollo de la hoja bandera ocurra bajo condiciones libres de enfermedad. La misma intercepta una mayor proporción de radiación en comparación con las hojas inferiores y debido a su proximidad a la espiga, cumple un rol clave en el aporte de fotoasimilados al grano. Se estima que la fotosíntesis de dicha hoja contribuya entre un 30 y un 50 % al aporte de los fotoasimilados destinados al llenado de granos. La duración de su área foliar verde, se encuentra positivamente correlacionada con la acumulación de materia seca; y si bien las hojas inferiores también contribuyen a este proceso, su aporte relativo es menor (Formento, 2021).

2.2.2. Manejo integrado de la roya estriada

El manejo integrado de enfermedades se basa en la combinación de diversas prácticas agronómicas orientadas a mantener la incidencia y severidad de las enfermedades por debajo de niveles que afecten el rendimiento del cultivo (Agrios, 2005). Este enfoque tiene como objetivo evitar el daño económico, integrando herramientas tales como el uso de cultivares resistentes, semilla sana, rotación de cultivos, control de plantas guachas y hospederos secundarios, así como el control químico y/o biológico, tanto en semilla como durante el ciclo del cultivo. La adopción de estas estrategias debe sustentarse en un monitoreo sistemático y en un diagnóstico correcto de la enfermedad (Simón & Fleitas, 2022).

En el caso particular de la RE, algunas de estas herramientas presentan limitaciones. La rotación de cultivos, por ejemplo, no resulta efectiva, ya que el patógeno es un biotrofo obligado que no sobrevive en los rastrojos del cultivo antecesor, y las infecciones primarias se originan a partir de inóculo transportado a largas distancias por corrientes de aire (Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa [Aapresid], 2020; Germán et al., 2011; Silva et al., 2023). En este contexto, la resistencia genética adquiere un rol central dentro del manejo integrado.

La selección de un cultivar con buen comportamiento a RE es la herramienta más sencilla, económica y compatible con la inocuidad del producto final, con el ambiente y al alcance del productor, sin necesidad de un costo adicional (Silva et al., 2023). Sin embargo, la elevada magnitud y frecuencia de las epidemias de RE han favorecido cambios en el comportamiento sanitario de los cultivares, asociados a la aparición de nuevas razas del patógeno, originadas por mutaciones espontáneas, que resultan virulentas sobre materiales previamente resistentes (Germán et al., 2018). Frente a esta dinámica, se

promueve la incorporación de resistencia poligénica, que si bien no confiere inmunidad completa, presenta una mayor durabilidad en el tiempo debido a un menor riesgo de quiebre de la resistencia (Simón & Fleitas, 2022).

En la misma línea, la diversidad genética a escala de chacra, mediante la mezcla de cultivares o el uso de variedades multilíneas, puede contribuir al manejo de la RE. No obstante, esta estrategia es poco adoptada en la práctica, principalmente debido a las dificultades logísticas que implica la generación de mezclas mecánicas de materiales, especialmente en sistemas productivos con alta disponibilidad de cultivares comerciales, elevados volúmenes de producción y la preferencia por sembrar una única variedad con mayor potencial de rendimiento y un ciclo fenológico homogéneo (Simón & Fleitas, 2022).

Dado que el comportamiento sanitario del cultivar condiciona la necesidad y oportunidad de aplicar fungicidas, es fundamental que el productor cuente con información confiable al respecto (Silva et al., 2023). Sin embargo, la falta de información actualizada para todos los cultivares comerciales sembrados en el país representa una limitante relevante, particularmente para patógenos altamente variables como la RE, donde el comportamiento de un mismo cultivar puede modificarse de una zafra otra (Germán et al., 2018, 2021). En consecuencia, y ante la ocurrencia de condiciones ambientales predisponentes, se vuelve imprescindible realizar monitoreos tempranos y frecuentes, incluso en cultivares considerados de buen comportamiento sanitario, debido al riesgo de aparición de nuevas razas virulentas que provoquen quiebres de resistencia (Germán et al., 2021).

Finalmente, la decisión de implementar el control químico de la RE debe basarse en la integración de múltiples factores, entre los que se destacan el comportamiento del cultivar, el monitoreo temprano desde el macollaje, el potencial de rendimiento del cultivo y las condiciones climáticas favorables para el desarrollo de la enfermedad (Farber, 2016). Las epidemias de RE suelen iniciarse en focos localizados dentro del lote, por lo que resulta esencial realizar recorridos exhaustivos de cada chacra, manteniendo una frecuencia de monitoreo semanal. Asimismo, es necesario evaluar todas las hojas de la planta y no limitar la observación a las hojas superiores cercanas a la hoja bandera, dado que las primeras en afectarse suelen ser las hojas más viejas del estrato inferior, las cuales son más susceptibles y representan una importante fuente de inóculo para infecciones secundarias dentro del cultivo (Farber, 2016).

2.2.2.1. Control químico de RE

En Uruguay, el control químico de enfermedades fúngicas en cultivos se basa en la utilización de fungicidas registrados y comercializados localmente, que pueden tener acción preventiva, curativa y/o sistémica dependiendo del principio activo y del momento de aplicación. La selección del producto debe siempre respetar la etiqueta y los registros oficiales del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP), además de las recomendaciones técnicas de monitoreo y umbrales de daño (Dirección General de Servicios Agrícolas [DGSA], s.f.). En base a la información nacional disponible (DGSA, s.f.), las alternativas registradas comprenden un número limitado de grupos químicos, principalmente estrobilurinas, triazoles y carboxamidas, predominando las mezclas formuladas con los dos primeros grupos. Asimismo, dentro de cada grupo químico se utilizan pocos ingredientes activos, los cuales suelen combinarse entre sí, generando una reiteración en su uso.

Los triazoles constituyen el grupo químico más amplio de fungicidas en términos de cantidad de ingredientes activos. Su modo de acción se basa en la inhibición de la biosíntesis de ergosterol (Vitale & Afeltra, 2014). Entre ellos, el epoxiconazol, ha mostrado alta efectividad sobre RE de trigo, cuando se utiliza en mezclas con otros fungicidas, esto podría asociarse en parte a su movilidad sistémica en los tejidos de la planta y su amplio espectro de acción (Castilla Bonete et al., 2013). Dada estas particularidades, el epoxiconazol puede ejercer un efecto curativo, permitiendo reducir la dosis de estrobilurinas y/o carboxamidas en mezclas de fungicidas comerciales. Las carboxamidas y las estrobilurinas, presentan menor movilidad y actúan principalmente inhibiendo la respiración celular, proporcionando un efecto protector (Faberi et al., 2023). Los fungicidas inhibidores de la quinona externa (Iqe) se denominan estrobilurinas y los fungicidas inhibidores de la enzima succinato deshidrogenasa (SDHI) se denominan carboxamidas. Aunque los fungicidas de las familias de las estrobilurinas y carboxamidas, tienen el mismo MOA (inhibición de la respiración mitocondrial), tienen diferentes sitios de acción: las carboxamidas actúan en el complejo II, mientras que las estrobilurinas actúan en el complejo III. Las estrobilurinas, las carboxamidas y los triazoles son fungicidas unisítos, es decir, activos contra un solo objetivo o enzima esencial en una importante vía metabólica en del hongo (Comisión de Estudios de Fungicidas en Argentina [CEFA], s.f.).

La utilización de semilla sana o tratada con fungicidas curasemilla constituye un aspecto clave en el control de enfermedades. En la actualidad en el país, se dispone de fungicidas sistémicos, como lo son algunos ingredientes activos del grupo de los triazoles (triticonazol, fluquinconazol y flutriafol); estos podrían ofrecer un periodo de protección inicial de hasta 30 a 40 días sobre RE cuando son aplicados a la semilla. En este sentido, utilizados a la dosis adecuada, podrían controlar RE en etapas tempranas del cultivo y consecuentemente, disminuir la tasa de progreso de la enfermedad (Silva et al., 2023).

En general, la efectividad real de estos activos sobre RE, se extiende por un período de 10 a 14 días después de la siembra, aunque esta duración puede reducirse en condiciones ambientales cálidas y húmedas (Gerard et al., 2015). Así mismo, estos autores destacan la existencia de activos desarrollados recientemente, que cuando son utilizados a dosis mayores sobre la semilla, logran mantener periodos más extensos de protección, resultando en una herramienta complementaria e incluso alternativa al uso de aplicaciones tempranas con fungicidas foliares, en particular al momento de controlar royas de la hoja (Gerard et al., 2015).

Gerard et al. (2015) evaluaron la eficiencia de control de diferentes mezclas de fungicidas cura semilla sobre RE y otras epifitas comunes en trigo, bajo condiciones controladas. Demostrando que todos los tratamientos eran eficientes en relación al control no tratado. Entre los tratamientos, se observaron diferentes eficiencias residuales, logrando hasta 66 días de protección, dependiendo de la enfermedad evaluada y la mezcla de fungicidas utilizada. El tratamiento que incluyó fluxaproxad en mezcla con triticonazol (carboxamida + triazol), resultó superior en términos de control de RE, superando al tratamiento de triticonazol sin la carboxamida.

En cuanto a las aplicaciones de fungicidas foliares se utilizan las mismas mezclas anteriormente mencionadas y su eficiencia de control es variable, de alta a alta-intermedia (Germán et al., 2018). El momento de aplicación está relacionado con su nivel crítico (NC), este nivel se define como el grado de infección a partir del cual las pérdidas en el rendimiento del grano son equivalentes al costo de realizar una aplicación de fungicida (Carmona et al., 2012; Díaz de Ackermann, 2011).

El NC constituye un valor orientativo determinado por el costo del control, el precio del grano y la pérdida de rendimiento estimada en función del nivel de infección. En consecuencia, su interpretación debe realizarse de manera integral, contemplando

distintos factores, entre ellos el comportamiento sanitario del cultivar (Díaz de Ackermann, 2011). A nivel nacional, en cultivares de mal comportamiento sanitario para RE (susceptibles a moderadamente susceptibles), se recomienda la aplicación de fungicidas ante la aparición de los primeros síntomas, dado el rápido progreso de la enfermedad (Silva et al., 2023). En cambio, en cultivares de comportamiento intermedio, el NC de intervención se establece en valores cercanos al 2% de severidad, equivalente a una incidencia aproximada del 25–30%. Por su parte, cultivares con buen comportamiento sanitario (resistentes a moderadamente resistentes), el umbral de intervención alcanza valores cercanos al 4% de severidad. En todos los casos la decisión debe de ir acompañada del correcto monitoreo, prestando especial atención a eventuales cambios en el comportamiento del patógeno y a las condiciones predisponentes para el desarrollo de la enfermedad (Silva et al., 2023).

En contraparte, McLean et al. (2010) recomiendan NC menores a los encontrados en bibliografía nacional, fijando el mismo en no más de 1% de severidad foliar, evaluada como proporción de área afectada. El mismo autor menciona que la incidencia máxima, para determinar la aplicación es 35% a nivel de hojas, es decir cuando al menos 35 hojas de cada 100 presentan al menos una pústula de RE, en base a el monitoreo de diferentes plantas a nivel cultivo. En Argentina, Carmona y Sautua (2017) proponen una guía orientativa y preliminar, donde se recomienda un NC de 10 a 20% de incidencia foliar.

Carmona et al. (2020), en experimentos de campo realizados en Argentina, observaron que los tratamientos de control químico evaluados para RE, aplicados en Z32 (Zadoks et al., 1974), redujeron significativamente el progreso de la enfermedad en comparación con el testigo sin control. En base a estos resultados, los autores destacan la importancia del monitoreo del cultivo desde etapas tempranas, particularmente a partir del macollaje y recomiendan la aplicación de fungicidas en estadios de encañado ante la detección temprana de las primeras pústulas, con el objetivo de maximizar la protección del rendimiento.

Trabajos anteriores, de Viljanen-Rollinson et al. (2002), realizados también en Argentina, recomiendan aplicaciones de forma preventiva, realizadas en Z32, para cultivares muy susceptibles aún en ausencia de RE. En este sentido, durante el encañado y etapas posteriores del cultivo, las aplicaciones de fungicidas son fundamentales, ya que permiten reducir el inóculo presente en la hoja bandera y en las dos hojas inmediatamente inferiores. Según Carmona y Sautua (2018), el monitoreo y la aplicación oportuna de

fungicidas foliares efectivos en estos estadios contribuyen a mantener sanas las principales fuentes de asimilados para la formación y llenado de la espiga, que en conjunto aportan aproximadamente un 80% de los fotoasimilados necesarios durante esta fase crítica para la definición del rendimiento.

Cabe destacar que el uso de fungicidas curasemilla para RE, no sustituye la importancia del material genético utilizado (Silva et al., 2023), ni tampoco la importancia del control con fungicidas foliares sobre RE. Cuando se utiliza un material susceptible o moderadamente susceptible, el control químico durante la fase de cultivo sigue siendo una de las herramientas fundamentales para el control de RE. Pero aún en este caso, un curasemilla que brinde mayor residualidad y que trasloque protegiendo la plántula, podría aplazar en el tiempo la primera intervención foliar, contribuyendo a reducir la epidemia total (Carmona & Sautua, 2017; Silva et al., 2023).

2.2.2.2. Tecnología de la aplicación

La falta de uniformidad de las infecciones por RE dentro de una misma chacra puede provocar que, aun cuando se detecten los primeros síntomas, el fungicida se aplique en sectores donde la enfermedad presenta niveles de severidad superiores a los recomendados, incluso cuando el monitoreo del cultivo se realiza de forma adecuada. En este contexto, resulta fundamental asegurar una óptima calidad de aplicación, logrando una cobertura eficiente, particularmente sobre las hojas basales (Silva et al., 2023). En este sentido, la tecnología de aplicación de fitosanitarios empleada puede contribuir significativamente a mejorar la eficiencia en el control de enfermedades como la RE (Olivet et al., 2013).

Dentro de los factores que determinan la eficiencia de la aplicación, la elección del tamaño de gota en las pulverizaciones foliares depende del blanco a tratar, de la cobertura requerida y de las características del producto utilizado. Asimismo, el volumen de aplicación y las condiciones ambientales durante la pulverización son determinantes para alcanzar un control eficiente (Privitera et al., 2023). Cuando el caldo pulverizado no se retiene adecuadamente sobre la superficie foliar, puede producirse escurrimiento, reduciendo la eficiencia del tratamiento (Da Cunha et al., 2006). En general, gotas de menor diámetro, combinadas con mayores volúmenes de caldo, permiten aumentar la densidad de impactos sobre la superficie foliar, favoreciendo la penetración del producto y mejorando el control (Germán et al., 2018). Sin embargo, gotas muy finas, menores a

150 μm , presentan un mayor riesgo de evaporación y deriva debido a su elevada superficie expuesta y menor velocidad de sedimentación, lo que puede comprometer la uniformidad de la aplicación (Leiva, 1995; Sarubbi, 2010).

En contraposición, el uso de gotas de mayor tamaño también presenta ventajas y limitaciones. Las gotas gruesas, con diámetros superiores a 400 μm , son menos susceptibles a la deriva y a la evaporación, lo que favorece su utilización en condiciones de viento moderado y altas temperaturas. No obstante, este tipo de gotas puede generar dificultades para alcanzar una cobertura adecuada y lograr una correcta adherencia al blanco, reduciendo la eficiencia del tratamiento. Además, el empleo de gotas excesivamente gruesas incrementa el riesgo de escurrimiento, especialmente en superficies con pendientes pronunciadas o cuando se utilizan volúmenes elevados de caldo (Da Cunha et al., 2006; Leiva, 1995).

Más allá de su impacto sobre la eficiencia del control, la tecnología de aplicación también tiene implicancias ambientales y en la calidad del producto obtenido. La deriva de fungicidas foliares constituye una fuente significativa de contaminación de cursos de agua, del suelo y de la atmósfera (Doruchowski et al., 2017). A su vez, diversos estudios han demostrado que las aplicaciones de estos productos pueden generar residuos no deseados en los granos (Łozowicka et al., 2014; Palladino et al., 2024), lo que representa una preocupación creciente para los consumidores y un desafío para garantizar la inocuidad de los alimentos.

2.2.2.3. Residuos de fitosanitarios

Los residuos de fitosanitarios son cualquier sustancia especificada presente en alimentos, productos agrícolas o alimentos para animales como consecuencia del uso de un fitosanitario. Este término incluye cualquier derivado de un fitosanitario, como productos de conversión, metabolitos y productos de reacción, y las impurezas consideradas de importancia toxicológica. En este contexto, el límite máximo de residuos (LMR) se define como la concentración máxima de un fitosanitario, expresada en mg de ingrediente activo por kg de grano o alimento, recomendada por la Comisión del *Codex Alimentarius*. Este valor establece un nivel que garantiza la seguridad del alimento para el consumo humano, sin constituir un umbral directo de toxicidad, y representa además un límite legal para su comercialización (FAO, 2018).

Los LMR se establecen sobre la base de la aplicación de buenas prácticas agrícolas, las cuales promueven el uso responsable y justificado de los plaguicidas. Estas prácticas incluyen la adecuada selección del principio activo, la dosis, el momento y la forma de aplicación, respetando siempre las recomendaciones de uso. Su objetivo principal es asegurar que los alimentos producidos cumplan con los LMR establecidos, garantizando de esta manera su inocuidad para el consumo humano y animal (FAO, 2018).

En Uruguay, la DGSA del MGAP establece los LMR para aquellos plaguicidas comercializados que no cuentan con valores definidos por el *Codex Alimentarius* (Decreto n° 315/994, 1994). Según lo dispuesto en el Decreto n° 315/994 del 5 de julio de 1994 (artículo 3), para la fijación de tolerancias de residuos de plaguicidas en alimentos de origen vegetal que se comercialicen en el país deben considerarse referencias regionales o internacionales de autoridades técnicas reconocidas, tales como SENASA (Argentina), ANVISA (Brasil) y USDA (Estados Unidos).

El cumplimiento de los LMR constituye, por lo tanto, un criterio fundamental para asegurar la inocuidad alimentaria. Asimismo, incide directamente en el valor agregado de los productos agrícolas y en sus posibilidades de inserción en los mercados internacionales, los cuales imponen regulaciones cada vez más estrictas respecto a los LMR de fungicidas en los alimentos (Gavrilescu, 2005). En este sentido, resulta esencial evaluar la presencia de residuos en los granos, con el fin de verificar su conformidad con la normativa vigente y garantizar su inocuidad (Kumar et al., 2018).

Considerando estos requerimientos regulatorios y productivos, resulta necesario profundizar en la generación de información que permita compatibilizar la eficacia del control químico de la RE con la minimización de riesgos asociados a la presencia de residuos de fungicidas en el grano. En este marco, la tecnología de aplicación, particularmente el tamaño de gota, constituye un factor clave que puede modificar simultáneamente la eficiencia del control de enfermedades y la deposición del fungicida sobre el cultivo, influyendo potencialmente en la presencia de residuos. Asimismo, el momento de aplicación del fungicida representa un aspecto crítico, ya que determina tanto el nivel de protección del cultivo frente a la enfermedad como el intervalo entre la aplicación y la cosecha, condicionando la probabilidad de que los residuos superen los LMR establecidos. Por lo tanto, evaluar el efecto del tamaño de gota sobre el control de RE y determinar los momentos de mayor riesgo de generación de residuos en grano resulta fundamental para optimizar las estrategias de manejo, contribuyendo a la producción sustentable de trigo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Experimentos de campo

Los experimentos se llevaron a cabo en el litoral noroeste de Uruguay (32° 22' S, 58° 03' O) durante la zafra 2022/2023. La siembra fue realizada el 11 de junio y la cosecha el 17 de noviembre; el cultivar en estudio fue Ceibo, susceptible a la RE (Castro et al., s.f.). El cultivo fue manejado siguiendo las buenas prácticas agrícolas sugeridas en Verdera (2013).

Los datos de temperatura (°C), humedad relativa, eventos de precipitación y precipitación acumulada (mm) fueron registrados durante todo el ciclo del cultivo a partir de la estación meteorológica de la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (comunicación personal, 15 de noviembre, 2023). En particular, las condiciones climáticas registradas desde la última aplicación de fungicida hasta la cosecha fueron analizadas con el objetivo de evaluar su posible influencia sobre la dinámica de degradación de los fungicidas y la concentración de residuos en grano.

3.1.1. Experimento 1

El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Se evaluaron siete tratamientos, definidos por la combinación del momento de aplicación del fungicida y el tipo de boquilla. Los tratamientos consistieron en la aplicación del fungicida comercial Xantho® (*Fungicida Xantho® para cultivos*, s.f.), formulado como una mezcla de epoxiconazol (50 g L⁻¹), fluxapiraxad (50 g L⁻¹) y piraclostrobina (81 g L⁻¹).

Las aplicaciones se realizaron en tres momentos del ciclo del cultivo: (i) en la primera detección de roya estriada a NC, (ii) 15 días después del NC y (iii) en un momento fijo correspondiente al estadio fenológico Z49, cuando la punta de la espiga (aristas) emerge por encima de la hoja bandera, previo al espigado (Zadoks et al., 1974). En cada momento de aplicación se utilizaron dos tipos de boquillas, una generadora de gotas finas y otra de gotas gruesas. Asimismo, se incluyó un tratamiento control sin aplicación de fungicidas (Tabla 1). La unidad experimental fue la parcela, de 1,5 × 5 m, cubriendo una superficie de 7,5 m².

Tabla 1
Tratamientos del experimento 1

Tratamiento	Tamaño de gota	Aplicación de fungicida
0	-	Sin aplicación de fungicida
1	Gota fina	En nivel crítico (NC)
2	Gota fina	15 días luego del NC
3	Gota fina	En Z49.
4	Gota gruesa	En NC
5	Gota gruesa	15 días luego del NC
6	Gota gruesa	En Z49

La mezcla de fungicidas se aplicó diluida en agua, con un pulverizador manual de mochila (Jacto HD, Jacto Uruguay) a 110 L/ha y a una presión de 200 kPa. El fungicida se evaluó a la dosis de 1200 cc/ha, recomendada por el fabricante. El varal del pulverizador estaba equipado con 2 boquillas del mismo tipo y caudal, para cada tratamiento específico. Los tratamientos con gotas finas se realizaron con la serie de boquillas Teejet, modelo XR 11001 y los tratamientos con gotas gruesas con la serie Teejet, modelo TT 11001. Las aplicaciones se realizaron a temperaturas inferiores a 20 °C, humedad relativa superior al 50% y con velocidad del viento menor a 3 m/s.

El fungicida comercial fue seleccionado por su eficiencia en el control de la roya de la hoja, ya que no hay información específica de control de RE, así como por su amplio uso comercial y disponibilidad en Uruguay (Silva et al., 2023). El momento de aplicación se evaluó considerando tres escenarios: (1) aplicación en el momento óptimo para el control de RE, a nivel crítico (NC) que en un cultivar susceptibles es al detectarse los primeros síntomas; (2) aplicación 15 días después de la detección, y (3) en un estadio fenológico fijo Z49.

La RE se evaluó mediante estimación visual de incidencia promedio (I, % de plantas con síntomas) y severidad promedio (S, % de área foliar afectada por RE), a nivel de cada parcela. La severidad se expresó como el valor medio de todas las hojas evaluadas, para 10 tallos principales seleccionados al azar de las cuatro hileras centrales de la unidad

experimental. Las evaluaciones de RE se realizaron antes de cada aplicación de fungicida y se repitieron entre 10 y 15 días. A partir de los datos de severidad de RE se calculó el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ADCPE) según la siguiente fórmula:

$$\text{ADCPE} = \sum [(S_{i+1} + S_i)/2] * [t_{i+1} - t_i] \text{ (Abbott, 1925)}$$

Donde:

$(S_{i+1} + S_i)/2$: severidad media entre dos evaluaciones consecutivas.

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

Además, se calculó la eficiencia de control (EC) en base al ADCPE:

$$\% \text{ EC} = ([\text{ADCPE tratamiento control} - \text{ADCPE tratamiento}] / \text{ADCPE tratamiento control}) * 100.$$

El grano de trigo de cada parcela fue cosechado a madurez fisiológica de forma mecánica. Posteriormente, fue recolectado e identificado en bolsas de papel según la parcela y se trasladó al laboratorio de procesamiento primario para la estimación de rendimiento y peso de mil granos. El análisis estadístico se realizó utilizando el software INFOSTAT (versión 2020). Para las variables ADCPE de severidad, EC (%), rendimiento de grano y peso de mil granos se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) bajo un modelo con Suma de Cuadrados Tipo III, adecuado para diseños con posibles desbalances y para la correcta partición de la variación en modelos que incluyen más de un factor.

Previo al ANOVA, se verificaron los supuestos del modelo (normalidad de residuos y homogeneidad de varianzas). Para cada fuente de variación se estimaron los componentes del modelo: Suma de Cuadrados (SC), Grados de Libertad (gl), Cuadrado Medio (CM), estadístico F y su correspondiente p-valor. La variable ADCPE fue transformada mediante raíz cuadrada con el fin de estabilizar la varianza y aproximar los datos a los supuestos de normalidad requeridos por el ANOVA.

El modelo evaluado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + T_j + \epsilon_{ijk}$$

donde:

B_i = efecto de... B_i = efecto del bloque,

T_j = efecto del tratamiento,

ϵ_{ijk} = error experimental.

La significancia se determinó con un nivel de confianza del 95%. Cuando el efecto del tratamiento resultó significativo (p -valor < 0.05), se procedió a realizar comparaciones de medias mediante la prueba de Tukey.

3.1.2. Experimento 2

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con 4 repeticiones y constó de 8 tratamientos, combinando tamaño de gota y momento de aplicación (Tabla 2). La unidad experimental fue una parcela de iguales características que en el experimento 1. Las aplicaciones se realizaron utilizando el mismo formulado comercial y las mismas boquillas, cumpliendo en ambos casos con las especificaciones y consideraciones mencionadas previamente en el punto 3.1.1. Los momentos de aplicación fueron seleccionados simulando escenarios de aplicaciones tardías o múltiples durante el ciclo del cultivo, simulando condiciones críticas en relación con la presencia de residuos de fungicida en el grano de trigo a la cosecha.

Tabla 2
Tratamientos del experimento 2

TT*	Tamaño de gota	Descripción
1	Gota fina	Aplicación de fungicida en Z71 (desarrollo del grano: estado lechoso temprano)
2	Gota fina	Aplicación de fungicida en Z73 (grano en estado lechoso medio)
3	Gota fina	Aplicación de fungicida en Z65 (antesis media: floración al 50 %) y Z83 (grano en estado pastoso temprano)
4	Gota fina	Aplicaciones en Z33 (encañado: tercer nudo detectable), Z61 (inicio de antesis, comienzo de floración), Z83 (grano en estado pastoso temprano)
5	Gota gruesa	Aplicación de fungicida en Z71 (desarrollo del grano: estado lechoso temprano)
6	Gota gruesa	Aplicación de fungicida en Z73 (grano en estado lechoso medio)
7	Gota gruesa	Aplicación de fungicida en Z65 (antesis media: floración al 50 %) y Z83 (grano en estado pastoso temprano)
8	Gota gruesa	Aplicaciones en Z33 (encañado: tercer nudo detectable), Z61 (inicio de antesis, comienzo de floración), Z83 (grano en estado pastoso temprano)

Nota. TT: Tratamiento. Adaptado de Zadoks et al. (1974).

La cosecha del grano se realizó de igual manera que en el experimento uno, con la diferencia de que los granos de cada parcela, correctamente identificados, se almacenaron en un freezer a -20 °C para el posterior análisis de residuos de fungicidas. Una muestra representativa de 150 g de grano de cada parcela de cada tratamiento fue molida con un molino IKA®-WERKE Modelo M20 (Wilmington, EE.UU). Las muestras fueron analizadas utilizando el método QuEChERS, según lo descrito por Palladino Almada (2024). Los límites de cuantificación para fluxapyroxad, epoxiconazol y piraclostrobina fueron de 0,01 mg/kg, según lo reportado en el mismo estudio. Con el objetivo de evaluar su cumplimiento de los LMR establecidos por la Unión Europea (European Commission, s.f.a, s.f.b, s.f.c) y el *Codex Alimentarius* (FAO & OMS, s.f.a, s.f.b) se compararon estos con los valores de residuos de fungicidas obtenidos en cada tratamiento.

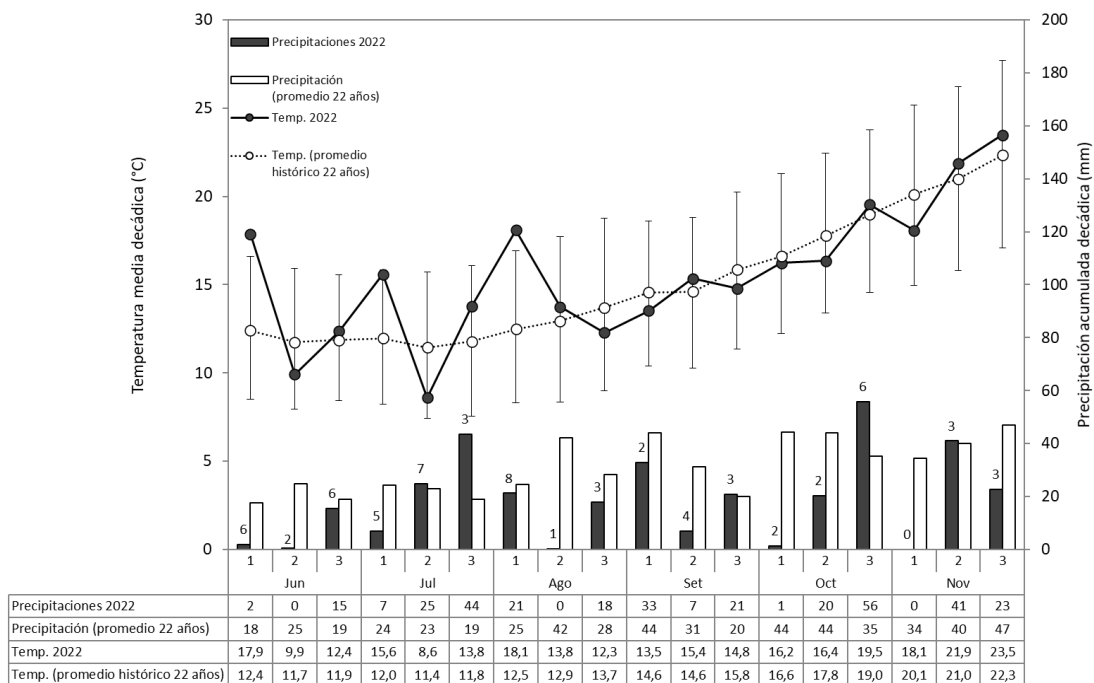
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de factores climáticos asociados al desarrollo de RE

Durante el ciclo del cultivo, las precipitaciones acumuladas alcanzaron 334 mm, valor inferior al promedio histórico de 563 mm para la zona de estudio. En las primeras décadas posteriores a la siembra, las lluvias fueron prácticamente inexistentes, coincidiendo con el período de implantación. A pesar de esta limitante hídrica inicial, el cultivo logró una adecuada emergencia y establecimiento. A medida que avanzó el ciclo, las condiciones ambientales mostraron variaciones relevantes en relación con el desarrollo de la enfermedad. Desde la siembra hasta el estadio Z41, donde se detectaron las primeras pústulas de RE, se registraron 191 mm de precipitaciones y las temperaturas se mantuvieron por encima del umbral mínimo requerido para el establecimiento de la enfermedad (8 a 15 ° C), siendo favorable para su desarrollo inicial. Sin embargo, en el período comprendido entre Z41 y Z59, si bien las temperaturas continuaron siendo superiores al mínimo necesario para el desarrollo de la RE, las precipitaciones fueron marcadamente inferiores al promedio histórico (21 mm frente a 88 mm). Esta disminución en la disponibilidad de humedad limitó la ocurrencia de condiciones predisponentes para la enfermedad durante esta etapa fenológica. Posteriormente, entre Z59 y Z69, las condiciones ambientales volvieron a ser propicias para el progreso de la enfermedad (Figura 3).

Figura 3

Precipitación y temperatura promedio decádicas, para el periodo de estudio, comparadas al promedio histórico



Nota. Los números encima de las barras representan el número de eventos de lluvia.

En relación con las condiciones climáticas registradas entre la última aplicación y la cosecha, se observaron diferencias claras entre las aplicaciones simples y múltiples. En los tratamientos con una única aplicación en Z71 o Z73, se registró una mayor acumulación de precipitaciones (96 y 116 mm, respectivamente), así como un mayor número de eventos de lluvia (8 y 10, respectivamente) a cosecha. Por el contrario, en los tratamientos con aplicaciones múltiples, cuya última intervención se realizó en Z83, si bien durante el período posterior a la aplicación se registró una radiación solar acumulada de 29 MJ/m² y una temperatura promedio 1 °C superior a la observada en las aplicaciones simples más tempranas en el ciclo del cultivo, la precipitación acumulada fue considerablemente menor (40 mm) y se registraron solo 2 eventos de lluvia.

4.1.1. Experimento 1

4.1.1.1. Nivel de RE

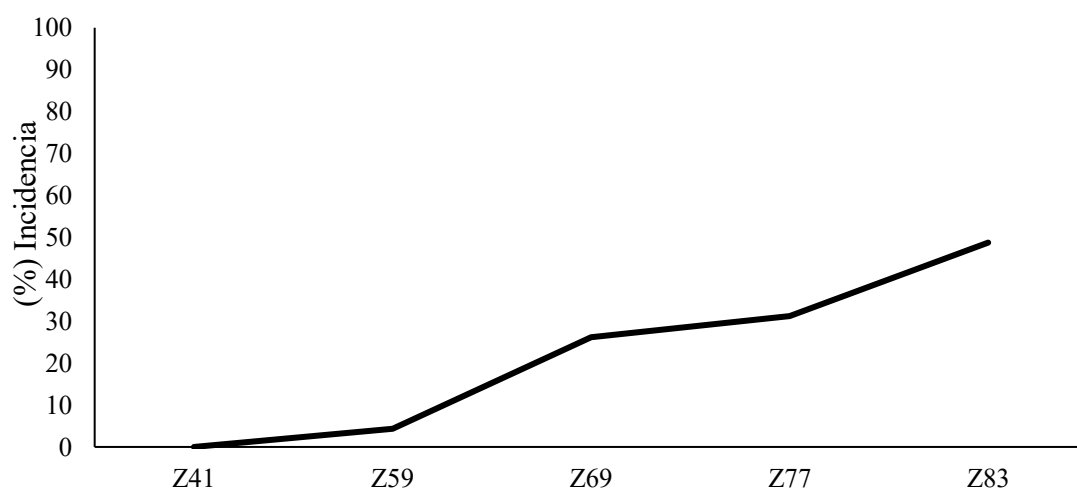
La RE se detectó por primera vez en el cultivo en el estadio fenológico Z41 (inicio de embuche), favorecida por condiciones ambientales predisponentes (Figura 5). En

concordancia con lo reportado por *Puccinia striiformis* (s.f.), la enfermedad se manifestó inicialmente en las hojas basales, correspondientes a las más viejas de la planta. Las pústulas se observaron principalmente en la cara abaxial de las hojas, distribuidas en focos dentro del cultivo.

Posteriormente, y debido a condiciones ambientales menos favorables para el patógeno, no se registró un avance notorio de la enfermedad hasta el estadio Z59. A partir de ese momento, la RE progresó hacia las hojas superiores, incrementándose la incidencia y alcanzando un 22% en Z69. La enfermedad continuó en aumento como resultado de las particularidades climáticas del año, registrándose incidencias máximas del 49% hacia el final del ciclo del cultivo (Figura 4).

Figura 4

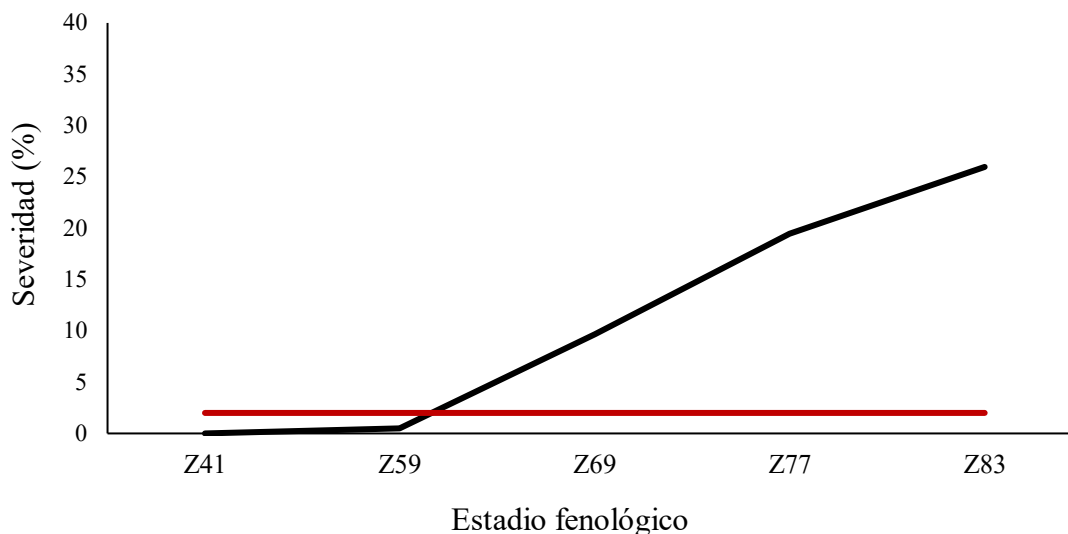
Porcentaje de incidencia según estadio fenológico



La incidencia es un valor objetivo (Carmona & Sautua, 2018), lo cual es importante al inicio porque indica la presencia de la enfermedad, pero no brinda mayor información acerca del curso de la misma y su nivel de daño; por lo que se debe de complementar con la severidad (Aapresid, 2020). En este lineamiento, el desarrollo de la enfermedad por cada planta individual fue intermedio, llegando a un máximo de 26% al final del cultivo (Figura 5). Este porcentaje de severidad se considera una epidemia moderada, ubicándose entre valores del rango propuesto en bibliografía, que va desde 26% a 50% (Chen, 2005; Line & Chen, 1995).

Figura 5

Porcentaje de severidad según estadio fenológico



Nota. La línea roja representa el nivel crítico de severidad. Adaptado de Silva et al. (2023).

Tal como se mencionó anteriormente en la caracterización climática (4.1.), el 2022 fue un año favorable para la RE. Además, otros autores mencionan que las epidemias han sido generalizadas en Uruguay desde el 2017 debido a la aparición más temprana de la enfermedad durante la temporada de crecimiento, sumado a que más del 50% del área de trigo se ha sembrado con cultivares susceptibles a moderadamente susceptibles (Silva et al., 2023). En el mismo año del ensayo, el 48% del área de trigo fue sembrada con cultivares con comportamiento sanitario deficiente para RE (Silva et al., 2023). Este escenario incrementa el riesgo de diseminación del patógeno por vía aérea desde chacras vecinas hacia el cultivo en estudio, favoreciendo además una mayor presión de selección sobre las poblaciones del patógeno (Chen, 2005; Line & Chen, 1995).

4.1.1.2. Efectos de los tratamientos en el control de la RE y en el rendimiento

En relación con la cantidad de RE, se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,0002$; Tabla 3). Dentro de los tratamientos con aplicación en gota fina, la intervención realizada a los 15 días posteriores a la detección de RE (NC) presentó diferencias significativas respecto al testigo, sin aplicación de fungicida. Sin embargo, no difirió estadísticamente de los tratamientos aplicado a tiempo fijo (Figura 6). Este comportamiento puede explicarse por la dinámica epidemiológica de la enfermedad y las

condiciones ambientales registradas a lo largo de los distintos estadios fenológicos del cultivo. La RE no se manifestó de manera uniforme en la parcela y, en días posteriores a la detección, las condiciones no resultaron altamente predisponentes para la enfermedad. Sin embargo, hacia los 15 días post-NC se generaron condiciones más favorables para su desarrollo, lo que permitió que la aplicación coincidiera con un momento epidemiológicamente más oportuno para su control. A su vez, la susceptibilidad del cultivar Ceibo favoreció el incremento de la enfermedad, contribuyendo a la producción y dispersión de inóculo mediante urediniosporas livianas transportadas por el viento, lo que incrementó la presión de enfermedad (Farber et al., 2017).

Tabla 3

ANAVA para área de debajo la curva de la enfermedad (ADCPE)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ADCPE	28	0,75	0,62	34,64

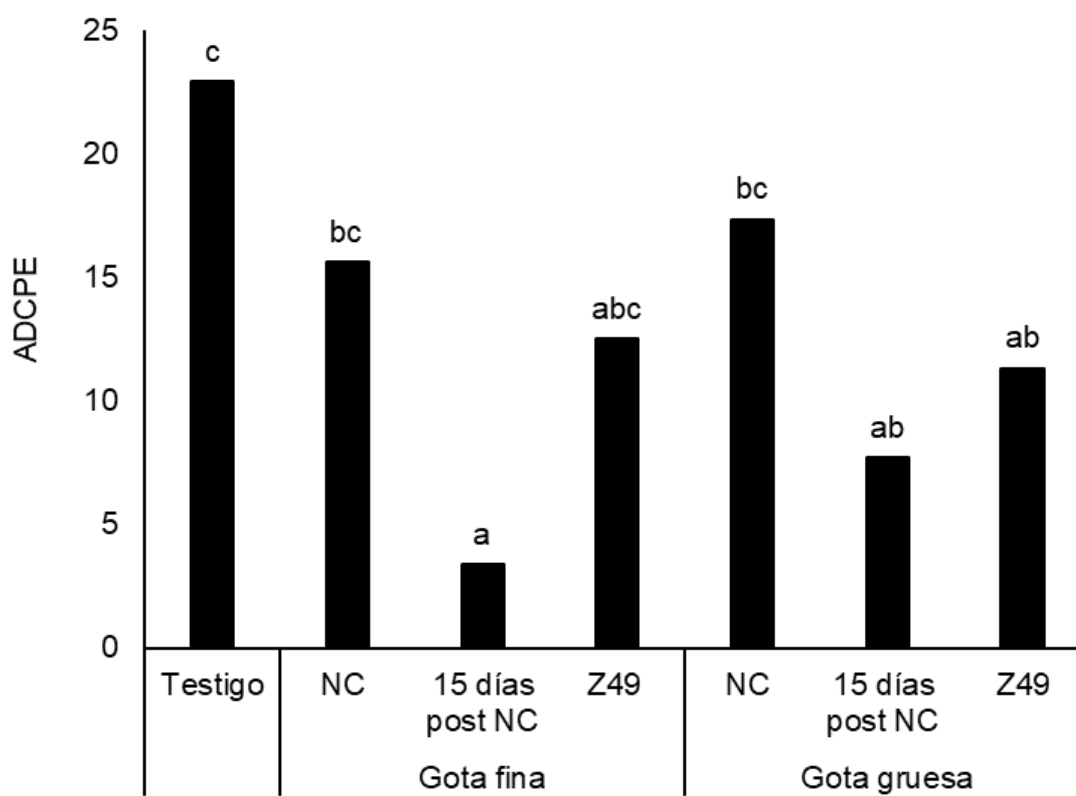
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	967732,67	9	107525,85	5,09	0,0007
Bloque	152108,20	3	50702,73	2,40	0,2431
Tratamiento	815624,47	6	135937,41	6,43	0,0002
Error	380425,41	18	21134,74		
Total	1348158,07	27			

Nota. SC: suma de cuadrados; gl: grados de libertad; CM: cuadrado medio; F: estadístico F.

Figura 6

Área de la Enfermedad Debajo la Curva para los diferentes tratamientos



Nota. Diferentes letras significan diferencia estadística según test de Tukey ($p < 0,05$).

En cuanto al tratamiento aplicado a tiempo fijo, Z49, presentó un valor de ADCPE similar al del tratamiento realizado a los 15 días post-NC; sin embargo, no difirió estadísticamente del testigo sin aplicación. Este resultado podría explicarse por la proximidad entre los estadios fenológicos en los que se realizaron ambas aplicaciones, lo que determinó que el momento de intervención se aproximara al período más oportuno para el control de la RE que fue el tratamiento realizado a los 15 días post-NC. No obstante, este comportamiento pone de manifiesto la importancia de evitar aplicaciones estrictamente calendarizadas y, en cambio, considerar las condiciones ambientales observadas y pronosticadas para la enfermedad luego de su detección, ajustando la decisión de control químico a la dinámica epidemiológica real del cultivo. En cuanto a los tratamientos con gota gruesa, no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados en cuanto a cantidad de RE. Aun así, las aplicaciones realizadas 15 días post-NC y en Z49 se diferenciaron significativamente del testigo, presentando

menores valores de ADCPE. Por lo tanto, esas aplicaciones lograron reducir la cantidad de enfermedad en relación al tratamiento sin aplicación.

Bajo las condiciones ambientales del presente experimento, el momento de aplicación ejerció una mayor influencia que el tamaño de gota en la reducción de la enfermedad, dado que no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos con gota fina y gota gruesa ($F = 0,18$; $p = 0,6769$). Este comportamiento puede explicarse porque el momento de aplicación estuvo estrechamente vinculado a la dinámica de desarrollo de la epidemia de RE, determinando en mayor medida la eficiencia del control que las características de la pulverización.

En coherencia con estos resultados, la EC registrada en este estudio osciló entre 50 y 90%; sin embargo, se evidenciaron escasas diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 4). Los tratamientos aplicados a los 15 días post-NC, en ambos tamaños de gota, presentaron los mayores valores de EC; no obstante, no difirieron estadísticamente del resto de los tratamientos (Figura 7). La excepción fue el tratamiento aplicado en NC con gota fina, que registró el menor valor de EC.

Tabla 4
ANAVA para Eficiencia de Control (%)

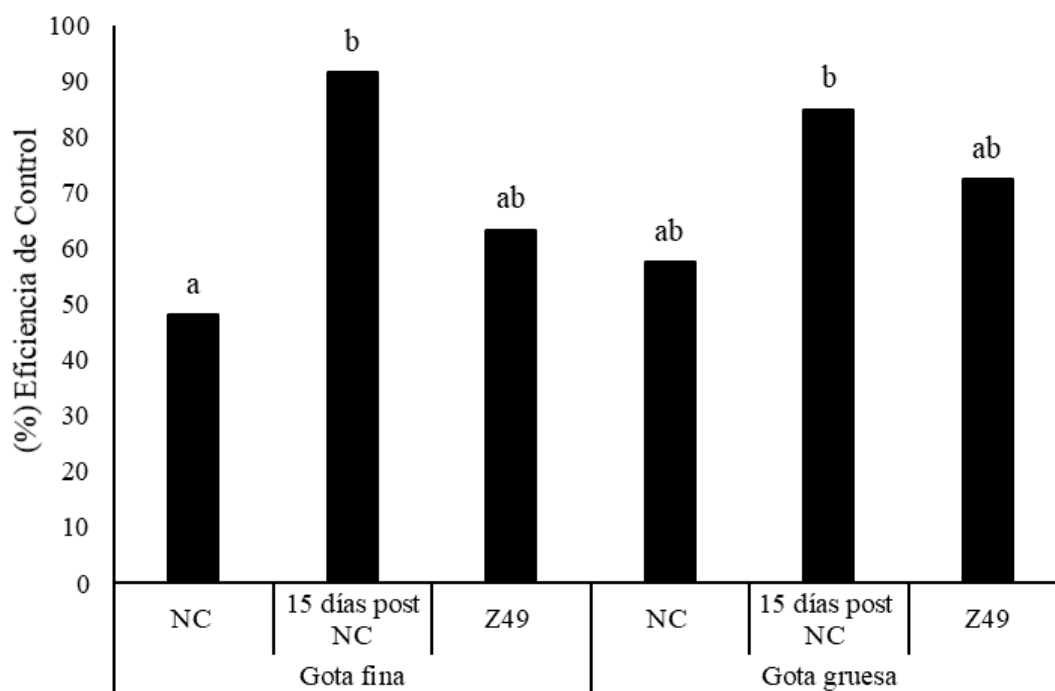
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EC	24	0,69	0,52	21,83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	7618,24	8	952,28	4,11	0,0089
Bloque	2113,79	3	704,60	3,04	0,0625
Tratamiento	5504,45	5	1100,89	4,75	0,0084
Error	3473,72	15	231,58		
Total	11091,96	23			

Figura 7

Eficiencia de control para diferentes tratamientos



Nota. Diferentes letras significan diferencia estadística según test de Tukey ($p < 0,05$).

Si bien se observaron diferencias en la cantidad de enfermedad, expresada como ADCPE, entre los distintos tratamientos, la EC presentó escasas variaciones entre ellos. Este comportamiento podría atribuirse a que, por un lado, las condiciones ambientales posteriores a la aplicación fueron favorables para el desarrollo de la RE (Figura 5) y, por otro, las intervenciones se realizaron en etapas relativamente tempranas del ciclo del cultivo, lo que habría atenuado el contraste entre tratamientos. En este contexto, el tratamiento testigo se diferenció en menor medida del resto, reduciendo las diferencias en términos de EC. Estos resultados sugieren que podría haber sido necesaria una nueva intervención de fungicida en Z59 (Figura 5) para lograr una reducción más marcada de la enfermedad y una diferenciación más clara respecto al testigo.

En concordancia con los resultados de EC, la variable rendimiento presentó diferencias significativas de baja magnitud entre tratamientos (Tabla 5). Únicamente los tratamientos aplicados en Z49 con gota fina y a los 15 días post-NC con gota gruesa difirieron significativamente del testigo (Figura 8). En promedio, estos tratamientos superaron en 1.988 kg/ha al testigo sin aplicación, cuyo rendimiento fue de 5.538 kg/ha.

No obstante, no se detectaron diferencias significativas entre estos tratamientos y el resto de las estrategias evaluadas, lo que sugiere que, si bien ciertas intervenciones lograron mejorar el rendimiento respecto al testigo, el efecto no fue lo suficientemente consistente como para establecer contrastes claros entre todas las alternativas de manejo. Este comportamiento se encuentra en concordancia con los bajos niveles de severidad registrados hasta estadios intermedios del cultivo (Figura 5), observándose un incremento marcado recién hacia el final del ciclo, donde la severidad alcanzó el 26%. En consecuencia, dado que los principales componentes del rendimiento se definen en etapas previas al aumento de la severidad, el efecto de la enfermedad sobre el rendimiento final fue relativamente limitado. Sin embargo, la potencial magnitud del impacto de la enfermedad sobre el rendimiento ha sido ampliamente documentada a nivel nacional. En 1998, luego de varios años con baja incidencia, la RE presentó niveles epidémicos en el país, registrándose de manera generalizada en los cultivos, principalmente en cultivares susceptibles, con pérdidas estimadas de hasta un 45% del rendimiento (Germán & Caffarel, 1999). En escenarios extremos, cuando la infección se inicia tempranamente y la epidemia progresa durante toda la estación de crecimiento, las pérdidas pueden alcanzar el 100% (Chen, 2005; Roelfs et al., 1992). Estos antecedentes ponen en evidencia que, cuando la infección ocurre tempranamente y las condiciones son favorables para su progreso, el efecto sobre el rendimiento puede ser considerablemente mayor.

Tabla 5
ANAVA para Rendimiento

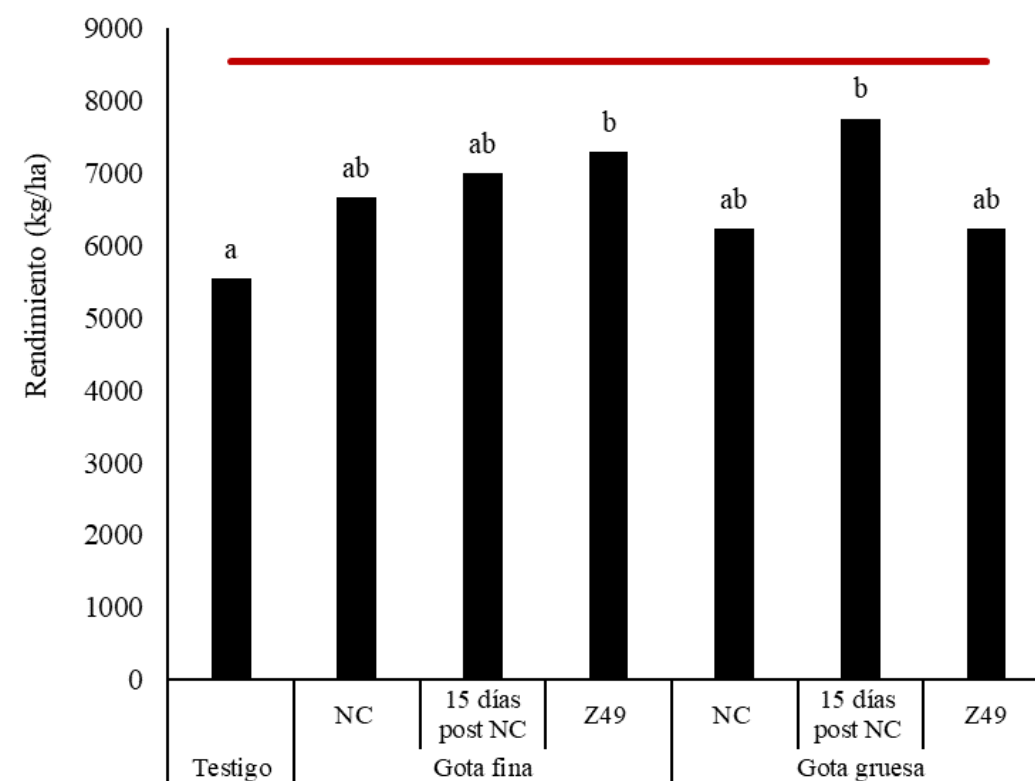
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento (kg/ha)	28	0,61	0,42	10,30

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	13528403,58	9	1503155,95	3,18	0,0175
Bloque	170119,87	3	56706,62	0,12	0,9471
Tratamiento	13358283,71	6	2226380,62	4,71	0,0047
Error	8501074,15	18	472281,90		
Total	22029477,73	27			

Figura 8

Rendimiento (kg/ha) para los diferentes tratamientos



Nota. Diferentes letras significan diferencia estadística según test de Tukey ($p < 0,05$). Línea roja representa el rendimiento promedio del cultivar Ceibo para la zafra 2022/23. Adaptado de Hoffman et al. (2017).

Los rendimientos obtenidos en el experimento fueron superiores al promedio de trigo en Uruguay en el año 2022 (4251 kg/ha), a su vez, correspondieron al valor más alto registrado a nivel nacional hasta ese momento (Rava, 2023), lo que indica que se trató de un año favorable para el cultivo de trigo. Si bien el rendimiento promedio de trigo a nivel predial fue menor al observado en este experimento, el cultivar Ceibo se caracteriza por presentar un alto potencial de rendimiento. En particular, este cultivar ha alcanzado valores de hasta 8540 kg/ha sin manejo específico y 8847 kg/ha con manejo específico, según datos de la caracterización del cultivar realizada en la zafra 2016/17 (Hoffman et al., 2017), previo al quiebre de la resistencia a RE. En el presente trabajo se alcanzaron altos rendimientos de grano a pesar de la presencia de RE, lo que puede explicarse por el desarrollo tardío de la enfermedad, que no comprometió de manera significativa la actividad fotosintética durante el período crítico de llenado de grano. Asimismo, la capacidad de compensación fisiológica del cultivo permitió sostener el potencial

productivo, en concordancia con lo reportado por Chen (2005), Line y Chen (1995) y Paul et al. (2018).

Estudios realizados por otros autores, encontraron que, en todos los casos en que ocurrieron epidemias de RE, el impacto de los fungicidas no solo fue en el rendimiento, sino también en el número y peso de granos del trigo cosechado (Carmona et al., 2020; Enyew, 2025). Sin embargo en este experimento, el peso de mil granos no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (p-valor de 0,0630; Anexos A y B). Esta ausencia de efecto podría atribuirse a que el principal componente que explica el rendimiento en trigo es el número de granos por unidad de superficie, más que el peso individual de los mismos, variable que no fue evaluada en este trabajo, y que ha sido señalada como el componente de mayor contribución a las variaciones en rendimiento bajo condiciones de estrés biótico (Fischer, 2008; Slafer et al., 2014).

4.1.2. Experimento 2

El momento y el número de aplicaciones ejercieron una influencia mayor que el tamaño de gota sobre la detección y concentración de residuos de fungicidas en grano de trigo (Tabla 6). Los tratamientos con más de una aplicación, cuya última intervención se realizó en el mismo estado fenológico (Z83), fueron los que presentaron mayores niveles de detección y concentración. Esto podría atribuirse al menor intervalo entre la última aplicación y la cosecha, lo que reduce el tiempo disponible para la disipación del ingrediente activo. Asimismo, durante ese período se registraron únicamente dos eventos de lluvia, con una precipitación acumulada total de 40 mm, condiciones que probablemente resultaron insuficientes para favorecer una mayor degradación de los residuos de fungicidas.

Tabla 6

Concentración de ingredientes activos para tratamientos del experimento en grano de trigo expresados en mg/kg

TT	Tamaño de gota	MP	Concentración de epoxiconazol	MP	Concentración de fluxapiroxad	MP	Concentración de piraclostrobina
1		2	< LOQ	4	< LOQ – 0,010	4	< LOQ
2	Fina	2	< LOQ – 0,016	4	< LOQ – 0,035	3	< LOQ – 0,020
3		1	0,011	3	< LOQ – 0,010	2	< LOQ – 0,010
4		4	< LOQ – 0,017	4	0,012 – 0,020	4	< LOQ – 0,021
5		2	< LOQ	4	< LOQ	4	< LOQ
6	Gruesa	2	< LOQ	4	< LOQ	4	< LOQ
7		4	0,010-0,018	4	0,010 – 0,022	4	< LOQ -0,013
8		4	0,011-0,022	4	0,013 – 0,026	4	0,011 – 0,028

Nota. TT: tratamiento; mg: miligramo; kg: kilogramo; LOQ: Límite de cuantificación; MP: muestras positivas; < LOQ: residuo de fungicida detectado por debajo del límite de cuantificación 0,010 mg/kg.

Por su parte, los tratamientos con una única aplicación, aun cuando fueron realizados en etapas tardías del ciclo del cultivo (Z71 y Z73), también registraron presencia de residuos, aunque con menores frecuencias de detección y concentraciones más bajas. Esto podría atribuirse a que, desde la última aplicación hasta la cosecha, se registraron condiciones climáticas más favorables para la degradación y disipación de los compuestos. En particular, estos tratamientos presentaron un mayor número de eventos de lluvia (8 y 10, respectivamente) y una mayor precipitación acumulada (96 y 116 mm), lo que habría contribuido a la reducción de los niveles residuos de fungicidas detectados en grano.

En cuanto a los ingredientes activos, se identificó una mayor frecuencia de detección de fluxapiroxad, seguido por piraclostrobina y, en menor medida, epoxiconazol. Este patrón se mantuvo de manera consistente, independientemente del tratamiento evaluado (momento y número de aplicaciones). Respecto a las concentraciones, el fluxapiroxad fue

el ingrediente activo que presentó el valor más elevado, alcanzando una concentración máxima de 0,035 mg/kg.

Este comportamiento puede interpretarse a la luz de sus propiedades fisicoquímicas reportadas en la Pesticide Properties DataBase (Lewis et al., 2016). El fluxaproxad se caracteriza por una baja solubilidad en agua (3,44 mg/L), una elevada lipofilidad (log Kow: 3,1) y una vida media relativamente prolongada en suelo (DT₅₀: 183 días) y en tejidos vegetales (RL₅₀: 11 días). Estas propiedades favorecen su persistencia y su afinidad por las fracciones lipídicas del grano, lo que podría explicar tanto su mayor frecuencia de detección como las concentraciones más elevadas observadas.

La piraclostrobina, aunque también presenta carácter lipofílico (log Kow: 4) y baja solubilidad (7,1 mg/L), suele mostrar una degradación algo más rápida en condiciones ambientales favorables (Fotólisis acuosa DT₅₀: 0,06 días), lo que podría justificar su posición intermedia en frecuencia y concentración. Por su parte, el epoxiconazol, aun siendo relativamente persistente (DT₅₀: 354 días), posee un rango de RL₅₀ de 3,1 a 26,5 días, determinado en cinco cultivos a campo y en distintas matrices vegetales (n = 5, PPDB) (Lewis et al., 2016). Este amplio rango refleja la variabilidad asociada a las condiciones ambientales, al tipo de cultivo y a la matriz analizada, factores que influyen significativamente en la dinámica de disipación de dicho compuesto.

En cuanto al tamaño de gota, no se observó una relación consistente con las detecciones y concentraciones de fungicidas en grano, ya que tanto con gota fina como con gota gruesa se registraron valores similares. Esto indica que, desde el punto de vista ambiental, se debería recomendar el uso de gotas gruesas. Dado que diámetros menores, por ejemplo 150 µm son más propensos a la evaporación y a la deriva (Leiva, 1995), con potencial impacto negativo sobre organismos no objetivo como fauna acuática, abejas, aves y biota del suelo (Koch, s.f.).

En relación con el cumplimiento de los LMR, para el caso de epoxiconazol, la mayoría de los tratamientos, con excepción del aplicado en Z71, no cumplen con los LMR establecidos por el *Codex Alimentarius* ni por la normativa de la Unión Europea (Tabla 7). Para los demás ingredientes activos evaluados, todos los tratamientos se mantuvieron dentro de sus respectivos LMR. Estos resultados son coherentes, ya que salvo el tratamiento aplicado en Z71, ninguno respetó el tiempo de carencia (30 días) indicado en

la etiqueta del producto, lo que explica las concentraciones detectadas al momento de la cosecha.

Tabla 7

LMR según Codex y Unión Europea para diferentes ingredientes activos

Referencias de LMR	Ingrediente activo		
	Epoxiconazol	Fluxapyroxad	Pyraclostrobin
Unión Europea	0,01	0,4	0,2
<i>Codex</i>	Sin dato	0,3	0,2

Nota. Adaptado de European Commission (s.f.a, s.f.b, s.f.c) y Codex Alimentarius (FAO & OMS, s.f.b).

Los tratamientos con una única aplicación en Z71, si bien cumplieron con los LMR establecidos, presentaron detecciones de residuos de los tres ingredientes activos evaluados. Esto podría explicarse porque, aunque se respetó el tiempo de carencia indicado en la etiqueta del fungicida, el intervalo entre la última aplicación y la cosecha fue apenas dos días superior al mínimo requerido. En consecuencia, este tiempo pudo ser insuficiente para permitir una mayor disipación más completa de los compuestos, lo que se reflejó en la presencia de residuos detectables en grano. En síntesis, los resultados indican que el momento de la última aplicación y, por ende, el intervalo transcurrido hasta la cosecha, constituye el principal factor que determina la presencia de residuos en grano, efecto que se intensifica cuando se realizan múltiples aplicaciones.

En base a estos resultados se recomienda priorizar el uso de boquillas de gota gruesa como estrategia para reducir el riesgo ambiental, así como respetar estrictamente el tiempo de carencia establecido en la etiqueta a fin de asegurar el cumplimiento de los LMR. Asimismo, más allá del tamaño de gota, resulta clave rotar y combinar fungicidas con diferentes modos de acción para disminuir la presión de selección. En línea con las recomendaciones del Fungicide Resistance Action Committee (FRAC, 2018), se sugiere no superar dos o tres aplicaciones por ciclo del cultivo con el mismo modo de acción, dado que su reiteración incrementa el riesgo de desarrollo de resistencia. En definitiva, la eficiencia y sostenibilidad de los fungicidas solo pueden sostenerse en el marco de un enfoque de manejo integrado, adaptado a las características de cada sistema productivo.

5. CONCLUSIÓN

En las condiciones de este estudio se observó una epidemia de RE que se inició en estadios tempranos del cultivo. Posteriormente, las condiciones ambientales dejaron de ser tan predisponentes, aunque hacia el final del ciclo volvieron a favorecer el desarrollo de la enfermedad. Esta dinámica epidemiológica condicionó la eficiencia de los manejos, de modo que el momento de aplicación resultó ser el principal factor explicativo del control alcanzado, mientras que el tamaño de gota no mostró un efecto significativo.

La aplicación recomendada por el sector para el control de RE que es a primera detección en cultivares susceptibles, no logró el control esperado en este ensayo, probablemente debido a la distribución heterogénea de la enfermedad en las parcelas y a las condiciones ambientales registradas luego de la aplicación. Los resultados remarcan la importancia del monitoreo continuo y de ajustar la decisión de control químico a la dinámica de la epidemia, considerando además las condiciones climáticas observadas y pronosticadas.

En cuanto a la evaluación de residuos en grano, se constató que las aplicaciones realizadas en estadios fenológicos avanzados (Z72 y Z83), y las aplicaciones múltiples no respetaron el tiempo de carencia establecido en la etiqueta presentando mayor riesgo de generar residuos y superando los LMR establecidos por organismos internacionales.

El tamaño de gota evaluado no mostró una influencia consistente sobre las detecciones y concentraciones de residuos de fungicidas en grano ni sobre el nivel de control de RE. En este contexto, podría considerarse la priorización de boquillas que generen gotas de mayor tamaño, con el objetivo de reducir el riesgo de deriva, sin evidenciarse compromisos en la eficiencia del tratamiento bajo las condiciones evaluadas.

En resumen, los resultados de esta tesis respaldan la aplicación de fungicidas para el control de RE cuando la enfermedad es detectada y las condiciones ambientales pronosticadas son predisponentes para su desarrollo, priorizando el uso de gotas de mayor tamaño y el estricto respeto del tiempo de carencia indicado en la etiqueta, a fin de compatibilizar eficiencia de control, reducción del riesgo ambiental por deriva y cumplimiento de los límites máximos de residuos en grano.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18(2), 265-267.
<https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology* (5th ed.). Elsevier.
- Annone, J. G. (2010). El rol de la fitopatología en los sistemas de producción actuales desde el punto de vista de la investigación. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Seminario de Actualización: Manejo de enfermedades en trigo y cebada* (pp. 11-15).
- Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. (2020, 6 de agosto). *¡Siempre alerta al trigo!* <https://www.aapresid.org.ar/blog/siempre-alerta-al-trigo>
- Carmona, M., & Sautua, F. (2017). *Roya amarilla del trigo: Nuevas razas en el mundo, monitoreo y uso de fungicidas*. Universidad de Buenos Aires.
https://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/wp-content/uploads/2016/03/CARMONA-SAUTUA_Roya-amarilla-2017_FAUBA.pdf
- Carmona, M., & Sautua, F. (2018). *Manual práctico para el diagnóstico de enfermedades foliares y su control con fungicidas en los cultivos de trigo y cebada*. BASF; Universidad de Buenos Aires.
https://posgrado.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/92061/mod_resource/content/2/enfermedades-Trigo-Cebada-FAUBA-BASF.pdf
- Carmona, M., Sautua, F., Pérez-Hernández, O., & Reis, E. M. (2020). Role of fungicide applications on the integrated management of wheat stripe rust. *Frontiers in Plant Science*, 11, Artículo e733. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00733>
- Carmona, M., Sautua, F., & Reis, E. M. (2012). Sistemas de ayuda a la decisión de control químico en cultivos de trigo y cebada. En S. A. Stenglein, M. V. Moreno, M. Cogliatti, W. J. Rogers, M. A. Carmona, & R. S. Lavado (Eds.), *Cereales de Invierno: Investigación científico-técnica* (pp. 155-166). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
https://aws.agroconsultasonline.com/ticket.html/Carmona_INBA_Cereales_de_invierno_2012.pdf?op=d&ticket_id=16649&evento_id=36431

- Castilla Bonete, A., Cátedra Cerón, M. M., Delgado Casas, M., Domínguez Jiménez, J., García Caro, A., & Romero Bueno, J. (2013). *Resultados de ensayos de variedades de trigo duro y trigo blando de alto potencial en Andalucía: Campaña 2012/2013*. Junta de Andalucía. <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/3c8fae3a-fcc1-43b0-8ec1-98f1886fb7aa/download>
- Castro, M., Germán, S., & Pereyra, S. (s.f.). *Caracterización sanitaria de cultivares de trigo y cebada*. INIA. <https://redi.anii.org.uy/jspui/bitstream/20.500.12381/558/1/Caracterizaci%c3%b3n%20sanitaria%202020.pdf>
- Cátedra de Fitopatología. (s.f.). *Roya amarilla o estriada del trigo (Puccinia striiformis f. sp. tritici)*. En *Herbario Virtual Fitopatología*. Universidad de Buenos Aires. https://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/?page_id=250
- 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>
- Comisión de Estudios de Fungicidas en Argentina. (s.f.). *Classification of fungicides*. <https://cefa.agro.uba.ar/en/investigacion/clasificacion-de-fungicidas/>
- Da Cunha, J. P. A. R., Dos Reis, E. F., & Santos, R. O. (2006). Controle químico da ferrugem asiática da soja em função de ponta de pulverização e de volume de calda. *Ciência Rural*, 36(5), 1360-1366. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000500003>
- Decreto n° 315/994. (1994, 14 de julio). *Diario Oficial*, (24.089), 85-364. <https://www.impo.com.uy/diariooficial/1994/07/14/2>
- Díaz de Ackermann, M. (2004). Manejo de enfermedades en trigo. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Jornada técnica: Cultivos de invierno 2004* (pp. 12-18). <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6746/1/INIA.2004.SAD-n.357.pdf;cultivos#page=1>
- Díaz de Ackermann, M. (2011). Septoriosis de la hoja del trigo. En S. Pereyra, M. Díaz de Ackermann, S. Germán & K. Cabrera (Eds.), *Manejo de enfermedades en trigo y cebada* (pp. 75-93). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2534/1/18429160911193955.pdf>

Dirección General de Servicios Agrícolas. (s.f.). *Consulta de productos fitosanitarios: Productos registrados*. MGAP.

<https://www.mgap.gub.uy/profit/productosweb.aspx?>

Doruchowski, G., Świechowski, W., Masny, S., Maciesiak, A., Tartanus, M., Bryk, H., & Hołownicki, R. (2017). Low-drift nozzles vs. standard nozzles for pesticide application in the biological efficacy trials of pesticides in apple pest and disease control. *Science of the Total Environment*, 575, 1239-1246.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.200>

Economía: Agricultura. (s.f.). Montevideo COMM.

<https://www.montevideo.com.uy/enciclopedia/agricult.htm#:~:text=La%20zona%20de%20cultivo%20se,%2C%20Colonia%2C%20Paysand%C3%BA%20y%20Salto>

Enyew, M. (2025). Effect of stripe rust (*Puccinia Striiformis* F. p. *tritici*), variety and fungicide application time on yield and yield components of bread wheat. *Advances*, 6(2), 35-48.

European Commission. (s.f.a). *Epoxiconazole (F)*.

https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/start/screen/mrls/details?lg_code=EN&pest_res_id_list=288&product_id_list=

European Commission. (s.f.b). *Fluxapyroxad (F)*.

https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/start/screen/mrls/details?lg_code=EN&pest_res_id_list=2268&product_id_list=

European Commission. (s.f.c). *Pyraclostrobin (F)*.

https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/start/screen/mrls/details?lg_code=EN&pest_res_id_list=2268,195&product_id_list=

Faberi, A. J., Erreguerena, I., Clemente, N. L., & 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), Artículo e123.

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

Farber, D. (2016). *The primary disease gradient of wheat stripe rust (Puccinia striiformis f. sp. tritici) across spatial scales* [Disertación doctoral, Oregon State University]. ScholarsArchive@OSU. https://ir.library.oregonstate.edu/concern/graduate_thesis_or_dissertations/8c97kt145?locale=en

- Farber, D. H., Medlock, J., & Mundt, C. C. (2017). Local dispersal of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* from isolated source lesions. *Plant Pathology*, 66(1), 28-37.
<https://doi.org/10.1111/ppa.12554>
- Fischer, R. A. (2008). The importance of grain or kernel number in wheat: A reply to Sinclair and Jamieson. *Field Crops Research*, 105(1-2), 15-21.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.04.002>
- Formento, Á. N. (2021). Roya estriada del trigo (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*): Aspectos claves para su manejo. *Serie Extensión - INTA Paraná*, (87), 19-27.
<https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/9891>
- Fungicida Xantho® para cultivos de soja, trigo, cebada, maíz y colza.* (s.f.). BASF.
<https://agriculture.basf.com/uy/es/proteccion-de-cultivos-y-semillas/productos/xantho>
- Fungicide Resistance Action Committee. (2018). *Importance of multisite fungicides in managing pathogen resistance.* CropLife International.
<https://www.frac.info/media/ztqosoch/frac-statement-on-multisite-fungicides-2018.pdf>
- Gavrilescu, M. (2005). Fate of pesticides in the environment and its bioremediation. *Engineering in Life Sciences*, 5(6), 497-526.
<https://doi.org/10.1002/elsc.200520098>
- Gerard, G. S., Fleitas, M. C., Schierenbeck, M., & Simón, M. R. (2015). Eficacia de control y residualidad de curasemillas sobre enfermedades foliares de trigo. *Revista FAVE*, 14(2), 85-102.
https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/98444/CONICET_Digital_Nro.1fbd393c-f6b1-4b6b-8127-149d9e0a3f5a_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Germán, S., Azzimonti, G., Castro, M., García, R., Quincke, M., & Pereyra, S. (2018). Roya estriada de trigo: Epidemia en 2017 asociada a la presencia de razas agresivas del patógeno y sus posibles consecuencias. *Revista INIA*, (54), 36-41.
<https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/revista-INIA-54-setiembre-2018p6-41.pdf>

- Germán, S., & Caffarel, J. C. (1999). Roya estriada: Factores climáticos predeterminantes, resistencia varietal, control de la enfermedad. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Jornada de cultivos de invierno* (pp. 25-32). <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/13309/1/INIA-SAD-no.188.pdf>
- Germán, S., Campos, P., Castro, M., Silva, P., García, R., & Pereyra, S. (2021, 7-8 de abril). *La roya estriada del trigo: ¿Una nueva realidad para el cultivo?: Análisis del escenario regional, nacional y manejo* [Contribución]. 1ª Jornada Anual de Cultivos de Invierno, Montevideo, Uruguay. https://fucrea.org/system/comfy/cms/files/files/000/001/481/original/Roya_estriada_SGerman.pdf
- Germán, S., Díaz, M., & Pereyra, S. (2011). Royas y oídio de trigo y cebada. En S. Pereyra, M. Díaz de Ackermann, S. Germán, & K. Cabrera (Eds.), *Manejo de enfermedades en trigo y cebada* (pp. 159-189). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2534/1/18429160911193955.pdf>
- González, S. (2010). Patología de semillas en trigo y cebada. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Seminario de Actualización: Manejo de enfermedades en trigo y cebada* (pp. 53-62). <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/582/1/112761220910153559.pdf>
- Hoffman, E., Fassana, N., Akerman, A., & Meneses, L. (2017). *Caracterización de cultivares de trigo 2017: Evaluación 2016*. Estación Experimental «Dr. Mario A. Cassinoni»; Facultad de Agronomía. <https://portal.fagro.edu.uy/wp-content/uploads/2024/10/Informe-Characterizacin-Trigo-2016.pdf>
- Koch, A. (s.f.). *Environmental effects of pesticides*. Swedish University of Agricultural Sciences. <https://www.slu.se/en/about-slu/organisation/collaborative-centres/slu-centre-for-pesticides-in-the-environment/information-about-pesticides-in-the-environment/environmental-effects-of-pesticides/>
- Kolmer, J., Chen, X., & Jin, Y. (2009). Diseases which challenge global wheat production: The wheat rusts. En B. F. Carver (Ed.), *Wheat: Science and trade* (pp. 89-124). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9780813818832.ch5>

- Kumar, P., Ahlawat, S., Chauhan, R., Kumar, A., Singh, R., & Kumar, A. (2018). In vitro and field efficacy of fungicides against sheath blight of rice and post-harvest fungicide residue in soil, husk, and brown rice using gas chromatography-tandem mass spectrometry. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, Artículo e503. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6897-7>
- Lavilla, M., & Peper, A. (2023). Integrated management of yellow rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in wheat. *Agronomía Mesoamericana*, 34(2), Artículo e52059. <https://doi.org/10.15517/am.v34i2.52059>
- Leiva, P. D. (1995). *Manejo de la deriva en la aplicación de agroquímicos*. INTA. https://aws.agroconsultasonline.com/ticket.html/Microsoft%20Word%20-%20Deriva%20en%20Aplicacion%20de%20Agroquimicos.pdf?op=d&ticket_id=267&evento_id=542
- Lewis, K. A., Tzilivakis, J., Warner, D. J., & Green, A. (2016). An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22(4), 1050-1064. <https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1133242>
- Line, R. F., & Chen, X. (1995). Successes in breeding for and managing durable resistance to wheat rusts. *Plant Disease*, 79(12), 1254-1255. https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1995Articles/PlantDisease79n12_1254.pdf
- Łozowicka, B., Kaczyński, P., Jankowska, M., Rutkowska, E., & Hrynko, I. (2014). Pesticide residues in raspberries (*Rubus idaeus* L.) and dietary risk assessment. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 5(3), 165-171. <https://doi.org/10.1080/19393210.2012.681398>
- McLean, M., Henry, F., & Hollaway, G. (2010). Stripe rust management in wheat. En Birchip Cropping Group (Ed.), *BCG 2010 Season Research Results* (pp. 140-142). https://www.farmtrials.com.au/view_attachment.php?trial_attachment_id=4751
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2011). *Anuario estadístico agropecuario 2011*. MGAP. <https://Descargas.Mgap.Gub.Uy/Diea/Documentos%20compartidos/Anuario2011/Diea-Anuario-2011-Web.Pdf>

- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2023). *Encuesta Agrícola: Invierno 2023*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/noticias/Publicaci%C3%B3n%20Encuesta%20agricola%202023.pdf>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2024). *Resultados de la encuesta agrícola “Primavera 2023”*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/noticias/Comunicado_%20Agr_Prim_%202023_.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2025). *Resultados de la encuesta agrícola “Invierno 2025”*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/noticias/comunicado_prensa_inv_2025.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2026). *Resultados de la encuesta agrícola “Primavera-verano 2025/26”*. MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/noticias/Comunicado_%20Agr_Prim_%202025_26.pdf
- Olivet, J. J., Villalba, J., & Schenzer, D. (Eds.). (2013). *Tecnología de aplicación de agroquímicos en cultivos extensivos*. INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1375/1/18429170314125051.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). *Evaluación de residuos de plaguicidas para la estimación de los límites máximos de residuos y cálculo de la ingesta alimentaria: Manual de formación*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ef45d8cb-360a-4107-89b2-4671a7aecae/content>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, & Organización Mundial de la Salud. (s.f.a). 210 - Pyraclostrobin. En *Codex Alimentarius: Normas internacionales de los alimentos*. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/pesticide-detail/en/?p_id=210
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, & Organización Mundial de la Salud. (s.f.b). 256 – Fluxapyroxad. En *Codex Alimentarius: Normas internacionales de los alimentos*. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/pesticide-detail/es/?p_id=256

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, & Organización Mundial de la Salud. (s.f.c). Residuos de plaguicidas en los alimentos y piensos. En *Codex Alimentarius: Normas internacionales de los alimentos*. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/es/>
- Palladino, C., Pérez, C., Pareja, L., Pérez-Parada, A., Franco, J., & Pereyra, S. (2024). Fungicide strategies for Ramularia Leaf Spot control recommended in Uruguay and its residues in barley grains. *Agrociencia Uruguay*, 28, Artículo e1262. <https://doi.org/10.31285/AGRO.28.1262>
- Palladino Almada, M. C. (2024). *Estrategias para optimizar el manejo de ramulariosis en cebada mediante el uso de fungicidas* [Disertación doctoral, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/46516>
- Paul, P. A., Bradley, C. A., Madden, L. V., Dalla Lana, F., Bergstrom, G. C., Dill-Macky, R., Esker, P. D., Wise, K. A., McMullen, M., Grybauskas, A., Kirk, W. W., Milus, E., & Ruden, K. (2018). Meta-analysis of the effects of QoI and DMI fungicide combinations on Fusarium head blight and deoxynivalenol in wheat. *Plant Disease*, 102(12), 2602-2615. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-18-0211-RE>
- Pereyra, S., Díaz de Ackermann, M., & Stewart, S. (2005). *Manual de identificación de enfermedades en cereales de invierno* (2ª ed.). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6433/1/BD-61-2a.ed.2005-ampl.y-rev..pdf>
- Pereyra, S., & Silva, P. (2024, 26 de abril). *Piricularia en trigo: INIA informa sobre la presencia de piricularia en el litoral norte de Uruguay en cultivos de trigo en la zafra 2023 y comparte información y estrategias para prevenir su expansión hacia el sur*. INIA. <https://inia.uy/noticias/piricularia-en-trigo-inia-informa-sobre-la-presencia-de-piricularia-en-el-litoral-norte-de>
- Privitera, S., Manetto, G., Pascuzzi, S., Pessina, D., & Cerruto, E. (2023). Drop size measurement techniques for agricultural sprays: A state-of-the-art review. *Agronomy*, 13(3), Artículo e678. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030678>
- Puccinia striiformis*. (s.f.). Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas. <https://www.sinavimo.gob.ar/plaga/puccinia-striiformis>

- Rava, C. (2021). Trigo y derivados: Situación y perspectivas. En *Anuario OPYPA 2021* (pp. 107-132). MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2021/anuario-opypa-2021>
- Rava, C. (2022). Trigo y derivados: Situación y perspectivas. En *Anuario OPYPA 2022* (pp. 123-153). MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/book/16089/download>
- Rava, C. (2023). Trigo y derivados: Situación y perspectivas. En *Anuario OPYPA 2023*. MGAP. <https://descargas.mgap.gub.uy/OPYPA/Anuarios/Anuarioopypa2023/ANUARIOOPYPA2023.pdf>
- Roelfs, A. P., Singh, R. P., & Saari, E. E. (1992). *Las royas del trigo: Conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades*. CIMMYT. <https://asesoresaragon.org/post/las-royas-del-trigo-conceptos-y-metodos-para-el-manejo-de-esas-enfermedades-328968>
- Sarubbi, C. A. (2010). *Tecnología de aplicación de productos fitosanitarios en equipos pulverizadores terrestres*. Universidad de Buenos Aires.
- Scholz, R., Pereyra, S., García, R., & Germán, S. (2019). Identificación de razas de roya de la hoja del trigo presentes en Uruguay durante 2011-2012. *Agrociencia (Uruguay)*, 23(1), 1-9. <https://doi.org/10.31285/AGRO.23.1.10>
- Silva, P., Riella, V., García, R., Pereira, F., Pérez, N., Castro, M., González, S., González, N., Pereyra, S., & Germán, S. (2023). Roya estriada de trigo: Una nueva realidad para el cultivo: Avances en el conocimiento para un manejo adecuado. *Revista INIA*, (73), 31-35. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/17259/1/Revista-INIA-73-junio-2023-10.pdf>
- Simón, M. R., & Fleitas, M. C. (2022). Enfermedades de trigo. En M. R. Simón & S. I. Golik (Coords.), *Cereales de invierno* (pp. 118-185). Universidad Nacional de La Plata. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/156680/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Slafer, G. A., Savin, R., & Sadras, V. O. (2014). Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crops Research*, 157, 71-83. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.12.004>

- Stewart, S. (2001). Manejo de manchas foliares de trigo y cebada en siembra directa. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Reunión técnica sobre siembra directa* (p. 8). <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16979/1/Stewart-S.-p.8-SiembraDirecta2001LB.pdf>
- Stewart, S., Rodríguez, M., & González, S. N. (Eds.). (2023). *Diagnóstico, manejo y control de enfermedades en soja: 15 años de investigación en Uruguay*. INIA. <http://doi.org/10.35676/INIA/ST.265>
- Verdera, R. (Coord.). (2013). *Guía de buenas prácticas agrícolas para sistemas con agricultura de secano en Uruguay*. MGAP; MNT; MTO; MNECC. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6107/1/Guia-BPA-Secano.pdf>
- Verges, R. P., & Vázquez, D. (2004, julio). Calidad industrial del trigo: Un tema que, como el pan, se puso sobre la mesa. *El País Agropecuario*, 25-28. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/10705/1/113.pdf>
- Viljanen-Rollinson, S. L. H., Parkes, R. A., Armour, T., & Cromey, M. G. (2002). Fungicide control of stripe rust in wheat protection or eradication. *New Zealand Plant Protection*, 55, 336-340. <https://doi.org/10.30843/nzpp.2002.55.3902>
- Vitale, R. G., & Afeltra, J. (2014). Sección III: Diagnóstico y tratamiento de infecciones fúngicas. *Revista Argentina de Microbiología*, 46(1), 66-99. <https://www.redalyc.org/pdf/2130/213039767003.pdf>
- 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>

7. ANEXOS

Anexo A*ANAVA para PMG*

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PMG	28	0,54	0,30	6,36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	148,68	9	16,52	2,30	0,0630
Bloque	32,28	3	10,76	1,50	0,2484
Tratamiento	116,40	6	19,40	2,70	0,0473
Error	129,09	18	7,17		
Total	277,77	27			

Nota. SC: suma de cuadrados; gl: grados de libertad; CM: cuadrado medio; F: estadístico F

Anexo B*Test de Tukey para PMG*

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
0	38,70	4	1,34	A
1	42,45	4	1,34	A
2	44,78	4	1,34	A
3	41,58	4	1,34	A
4	39,90	4	1,34	A
5	43,30	4	1,34	A
6	44,03	4	1,34	A

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)