



Aplicación de tratamientos de fungicidas en cultivo de trigo. Foto: Ivanna Stoletriy

Manejo de enfermedades en cultivos de invierno

Cintia Palladino¹, Isabel García², Carlos Alberto Pérez³, Silvia Pereyra⁴, Lucía Pareja⁵

1- Unidad de Fitopatología, Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de la República.

2- Unidad de Malherbología, Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de la República.

3- Clínica Vegetal, Paysandú.

4- Protección Vegetal, Sistema Agrícola-Ganadero, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria.

5- Departamento de Química del Litoral, Cenur Litoral Norte, Universidad de la República.

1 – Contexto

En Uruguay, la producción de cultivos de invierno se ha incrementado sostenidamente en las últimas décadas (DIEA, 2024). Esta situación afecta la dinámica de las poblaciones de los patógenos y las problemáticas asociadas, en tanto implica mayor área de inóculo. Como resultado, cada año emergen numerosas enfermedades cuando ocurren condiciones ambientales que suelen favorecer su desarrollo y dispersión. Para mitigar sus efectos sobre el rendimiento y la calidad del grano, una vez sembrado

el cultivo, los productores dependen fuertemente de las aplicaciones de fungicidas como principal medida de control, lo que ha resultado en un incremento sostenido en el uso de fungicidas en nuestro país (Palladino et al., 2023). Se proyecta que esta tendencia continuará debido a las condiciones climáticas cambiantes y al aumento de poblaciones de patógenos con pérdida de sensibilidad a los fungicidas (Fisher et al., 2012).

Los principales grupos de fungicidas utilizados para el control de las enfermedades en estos cultivos pertenecen a los grupos triazoles, estrobilurinas y carboxamidas, así como la familia de los cloronitrilos (Poole y Arnaudin, 2014). Suelen aplicarse un número limitado de compuestos de cada familia, en mezclas que contienen dos o tres ingredientes activos de diferentes familias químicas. En consecuencia, las múltiples aplicaciones de diferentes mezclas dentro de un ciclo de cultivo suelen resultar en un uso repetido del mismo ingrediente activo. La elevada frecuencia de uso de fungicidas puede tener un impacto negativo tanto en la salud humana como en el ambiente (Gonçalves et al., 2020; Jorge-Escudero et al., 2022; Sharma et al., 2020). Se estima que más del 98% de los fungicidas aplicados por pulverización no alcanzan al

blanco objetivo, dispersándose en cambio como contaminantes ambientales (Pérez-Lucas et al., 2019). Según sus propiedades fisicoquímicas, estos compuestos pueden permanecer durante largos períodos en el suelo, el agua, el aire o la biota. Incluso cuando presentan una vida media relativamente corta en agua o suelo, sus metabolitos pueden representar una fuente adicional de contaminación. A pesar de la creciente concientización y los avances en la normativa sobre el uso y registro de pesticidas, orientados a garantizar que no se produzcan efectos inaceptables en los seres humanos, los animales o el ambiente, la presencia de residuos de fungicidas en suelos y aguas superficiales en la región continúa siendo frecuente (Caldas et al., 2019; Pérez-Lucas et al., 2019). Estos antecedentes refuerzan la idea de que el control de las enfermedades trasciende la protección de un cultivo, siendo un componente esencial para la inocuidad alimentaria, la sostenibilidad económica y la preservación del ambiente.

2– ¿Cómo proteger los cultivos considerando inocuidad, economía y ambiente?

El manejo de las enfermedades en los cultivos debe abordarse desde una perspectiva integrada, considerando el sistema productivo en su conjunto y planificando las estrategias desde las etapas iniciales. Este enfoque busca combinar distintas estrategias de manejo para reducir la dependencia del control químico, incluyendo:

- **Inocuidad:** la producción de cereales tiene como objetivo fundamental garantizar el suministro de granos de alta calidad e inocuos, minimizando la presencia de residuos de fitosanitarios y micotoxinas.

Una serie de estudios evaluaron la relación entre las prácticas agrícolas y la inocuidad alimentaria en la producción de cereales de invierno en el noroeste de Uruguay. A partir de la zafra 2015/16, se implementaron ensayos de campo en cultivos de trigo y cebada para evaluar la presencia de residuos de fungicidas utilizados para el control de algunas de las principales enfermedades: fusariosis de la espiga y roya estriada en trigo y ramulariosis y mancha en red tipo red en cebada. Simultáneamente, se cuantificaron los niveles de micotoxinas en grano producidas por el género *Fusarium*: deoxinivalenol, sus derivados acetilados 3-ADON y 15-ADON, nivalenol y zearalenona. Complementariamente, durante las zafas 2016/17, 2020/21, 2023/24 se realizaron relevamientos en establecimientos comerciales de cebada y trigo, respectivamente. Estos monitoreos permitieron determinar residuos de fungicidas y las micotoxinas producidas por hongos del género *Fusarium* (Palladino et al., 2021).

Los resultados de los ensayos indicaron que los residuos de fungicidas se detectaron principalmente en casos con aplicaciones realizadas durante el llenado de grano, en

tratamientos con dos o tres aplicaciones, particularmente cuando la última se efectuó en esta etapa fenológica, y en aquellos en los que no se respetaron los períodos de carencia establecidos en la etiqueta del producto. Solo bajo estas condiciones se registraron niveles superiores a los Límites Máximos de Residuos establecidos por el *Codex Alimentarius* y la Unión Europea. En cambio, en los muestreos realizados a nivel comercial, bajo los esquemas habituales de manejo sanitario, no se detectaron residuos que superaran los límites establecidos. En cuanto a las micotoxinas, si bien se identificaron en algunas muestras, en ningún caso superaron los límites establecidos en las regulaciones de Uruguay. Estos resultados confirman que las prácticas de control químico empleadas por los productores de cereales de invierno se ajustan a las normativas internacionales, lo que evidencia la capacidad del sector para cumplir con los requisitos de los mercados de destino.

- **Rentabilidad:** el manejo de las enfermedades en los cultivos debe ser eficiente y rentable, priorizando las decisiones que optimicen el uso de insumos y reduzcan pérdidas de rendimiento. Para ello, resulta fundamental planificar la siembra considerando el sistema productivo en su conjunto y conocer en profundidad los patosistemas involucrados, de modo de aplicar medidas oportunas y evitar intervenciones innecesarias o tardías. La identificación y el conocimiento del patógeno a manejar es clave para el éxito de mismo.

En el caso de *Ramularia collo-cygni* (*Rcc*), agente causal de la ramulariosis, la semilla constituye la principal fuente de inóculo en los sistemas productivos de Uruguay. El hongo puede pasar a la plántula, pero el desarrollo de epidemias depende fuertemente de las condiciones ambientales durante el crecimiento del cultivo. Por lo tanto, conocer la carga fúngica de *Rcc* en la semilla resulta esencial para reducir la diseminación y, en consecuencia, la severidad de la enfermedad. Los métodos tradicionales de detección de patógenos en semilla no han mostrado resultados consistentes para este patógeno. En respuesta, se ha ajustado un método de cuantificación basado en técnicas moleculares, aunque todavía no se encuentra disponible comercialmente. En este contexto, conocer la historia sanitaria del lote a sembrar se vuelve una herramienta práctica y económicamente viable para la toma de decisiones.

La aplicación de fungicidas debe realizarse ante la primera detección de *Rcc*, cuando existen condiciones ambientales favorables para su desarrollo y se pronostica la persistencia de dichas condiciones en los días siguientes. Sin embargo, la detección temprana presenta dificultades debido a la fase asintomática del patógeno y a la similitud de sus síntomas iniciales con deficiencias nutricionales o manchas fisiológicas. Por lo tanto, el monitoreo exhaustivo del cultivo, complementado con reportes técnicos regiona-

les sobre la detección de Rcc, resulta fundamental para una detección temprana y una aplicación oportuna y eficaz. Las mezclas de fungicidas más efectivas reportadas incluyen carboxamidas y triazoles (Havis et al., 2015). Para evaluar la eficacia de las aplicaciones de fungicidas, se estableció una red de cinco experimentos que incluyeron tratamientos diseñados para simular tres escenarios epidemiológicos distintos: epidemias tempranas (aplicación en elongación del tallo, Z33), epidemias tardías (con aplicación en aristas visibles, Z49) y epidemias de desarrollo prolongado con condiciones favorables persistentes (aplicación doble en Z33+Z47). El diseño experimental se completó con un testigo sin aplicación y un tratamiento adicional con tres aplicaciones (Z33+Z47+Z61) (Palladino et al., 2024). Los tratamientos se realizaron utilizando mezclas de fungicidas con triazoles, carboxamidas y en algunos casos, con el agregado de clorotalonil. Las condiciones climáticas registradas durante el ciclo del cultivo determinaron un desarrollo diferencial de las epidemias en cada sitio. En algunos casos, aunque se detectó la presencia de ramularia, la enfermedad no progresó debido a la falta de condiciones ambientales favorables. Este resultado refuerza la necesidad de integrar el pronóstico climático tras la detección del patógeno como criterio fundamental para decidir la aplicación de fungicidas. Los resultados de los ensayos mostraron que una única aplicación no logró un control eficiente, ya que la enfermedad continuó avanzando a lo largo del ciclo del cultivo. Por el contrario, cuando las aplicaciones se realizaron después de la detección y en presencia de condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad, tanto las aplicaciones simples como las dobles o triples lograron un control adecuado de la ramulariosis. En este caso, la eficacia dependió del fungicida utilizado, siendo más eficaces las mezclas que contenían carboxamidas, como fluxapiraxad o isopiraxam. Estos resultados evidencian que la aplicación en el momento oportuno, a inicios de la epidemia maximiza la eficiencia del control, reduce el número de intervenciones necesarias y genera un ahorro económico en los costos de aplicación.

- **Impacto ambiental:** la selección de fungicidas de menor toxicidad intrínseca; la alternancia de modos de acción para prevenir resistencias y la incorporación de alternativas biológicas son medidas que favorecen la sanidad del cultivo minimizando el daño en el ecosistema. Asimismo, resulta crucial adoptar prácticas de uso responsable que incluyen el respeto estricto de dosis, momentos y condiciones de aplicación.

Para contribuir al conocimiento en esta dimensión de la producción, un estudio realizado en la principal región cerealera de Uruguay estimó el riesgo ambiental del uso de fungicidas con información de dos predios comerciales de trigo y cebada. Se analizaron los registros de aplicaciones de fungicidas foliares durante las zafas 2021/22, 2022/23

y 2023/24. Las estrategias de manejo de enfermedades consistieron en dos o tres aplicaciones por ciclo del cultivo, basadas en mezclas de dos o tres ingredientes activos, con dosis cercanas o superiores a la dosis máxima recomendada en la etiqueta. Para cada predio y zafa, se calculó el número total de aplicaciones por ingrediente activo, seguido de una caracterización del peligro y del nivel de exposición teórico esperado para cada ingrediente activo. El riesgo ambiental se estimó mediante Unidades Toxicológicas (UT), que relacionan la dosis aplicada de cada fungicida con los valores de toxicidad aguda para organismos terrestres y acuáticos de referencia internacional.

Aunque ambos predios comparten características topográficas, climáticas y de manejo similares, presentan diferencias críticas en su proximidad a zonas sensibles que determinan su perfil de riesgo ambiental. El Predio 1 se ubica a 280 metros de una zona residencial, por debajo de la distancia mínima de 300 metros para aplicaciones terrestres establecida por la normativa nacional (MGAP, Res. s/n, 15/05/24). Por su parte, el Predio 2 limita con cursos de agua a apenas 17,3 metros de la superficie cultivada, incumpliendo la franja de amortiguación (buffer) de 30 metros requerida (MGAP, Res. No. 129/008) para aplicaciones aéreas. Estas particularidades geográficas resultaron en perfiles de riesgo ambiental diferenciados. En el Predio 1, el riesgo se concentró en el compartimento suelo, afectando organismos como abejas, lombrices, aves y mamíferos. En contraste, el Predio 2 presentó un riesgo tanto para los sistemas terrestres como para los acuáticos, que abarcó tanto sistemas terrestres como acuáticos, comprometiendo la biodiversidad de peces, invertebrados acuáticos y algas. En ambos casos, los ingredientes piraclostrobina, ciproconazol y epoxiconazol fueron identificados como los principales responsables de la toxicidad sobre organismos no objetivo. Cabe destacar que este impacto no solo responde a las dosis aplicadas y a la toxicidad intrínseca de cada compuesto, sino también a la frecuencia de aplicación, donde la repetición incrementa sustancialmente el riesgo por exposición continua. Con base en estos hallazgos, se recomienda en primera instancia tomar todas las medidas preventivas que minimicen la presencia del inóculo en las chacras y la selección de cultivares con buen comportamiento sanitario. En caso de requerirse el control de enfermedades, se recomienda sustituir las mezclas que generen mayores UT por alternativas de menor riesgo para los organismos identificados como vulnerables en cada contexto, o bien, incorporar bioinsumos para el control de enfermedades debidamente evaluados en términos productivos y ambientales. La implementación de estas medidas debe considerar factores específicos de cada predio, como la proximidad a cuerpos de agua, la pendiente del terreno y la presencia de zonas de amortiguación. Este análisis demuestra la viabilidad de

identificar puntos críticos de impacto ambiental y diseñar ajustes agronómicos específicos para minimizar los riesgos ambientales asociados a su uso, avanzando hacia una producción cerealera ambientalmente responsable.

3– Mensaje final

La sostenibilidad a largo plazo de la producción de cultivos de invierno en Uruguay dependerá de integrar la inocuidad, rentabilidad e impacto ambiental en cada decisión.

Bibliografía

Caldas, S. S.; Arias, J. L. O.; Rombaldi, C.; Mello, L. L.; Cerqueira, M. B. R.; Martins, A. F.; & Primel, E. G. (2019). Occurrence of pesticides and PPCPs in surface and drinking water in southern Brazil: Data on 4-year monitoring. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 30(1), 71–80. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20180180>

Fisher, M. C.; Henk, D. A.; Briggs, C. J.; Brownstein, J. S.; Madoff, L. C.; McCraw, S. L.; & Gurr, S. J. (2012). Emerging fungal threats to animal, plant, and ecosystem health. *Nature*, 484(7393), 186–194. <https://doi.org/10.1038/nature10947>

Gonçalves, C.; Marins, A. T.; Amaral, A. M. B.; Dapper, A. C.; de Freitas, T. R.; Oliveira, G. T.; & dos Santos Miron, D. (2020). Ecological impacts of pesticides on *Astyanax jacuhiensis* (Characiformes: Characidae) from the Uruguay river, Brazil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 205, 111314. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111314>

Havis, N. D.; Brown, J. K.; Clemente, G.; Frei, P.; Jedryczka, M.; Kaczmarek, J.; Matusinsky, P.; McGrann, G. R.; Pereyra, S.; Piotrowska, M.; Sghyer, H.; Tellier, A.; & Hess, M. (2015). *Ramularia collo-cygni*: An emerging pathogen of barley crops. *Phytopathology*, 105(7), 895–904. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-14-0337-FI>

Jorge-Escudero, G.; Pérez Polanco, M.; Lagerlöf, J. E.; Pérez, C. A.; & Míguez, D. (2022). Commercial fungicide toxic effects on terrestrial non-target species might be underestimated when based solely on active ingredient toxicity and standard earthworm tests. *Toxics*, 10(9), 488. <https://doi.org/10.3390/toxics10090488>

Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, DIEA (UY). Anuario Estadístico Agropecuario [Internet]. Montevideo: MGAP; 2024 [cited 17 setiembre 2025]. 210p. Available from: <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2024/Anuario2024/%20ANUARIO2024.pdf>

Palladino, C.; García, I.; & Fernández, G. (2023). Pesticide dependence and associated risks in Uruguayan agriculture: Limitations in its approach. *Agrociencia Uruguay*, 27, e1156. <https://doi.org/10.31285/AGRO.27.1156>

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, e1262. <https://doi.org/10.31285/AGRO.28.1262>

Palladino, C.; Puigvert, F.; Muela, A.; Taborda, B.; Pérez, C. A.; Pérez-Parada, A.; & Pareja, L. (2021). Evaluation of *Fusarium* mycotoxins and fungicide residues in barley grain produced in Uruguay. *Journal of Agriculture and Food Research*, 3, 100092. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100092>

Pérez-Lucas, G.; Vela, N.; El Aatik, A.; & Navarro, S. (2019). Environmental risk of groundwater pollution by pesticide leaching through the soil profile. En M. L. Larramendy & S. Soloneski (Eds.), *Pesticides - Use and Misuse and Their Impact in the Environment* (pp. 45–72). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.82418>

Poole, N. F.; & Arnaud, M. E. (2014). The role of fungicides for effective disease management in cereal crops. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 36(1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/07060661.2013.870230>

Sharma, A.; Shukla, A.; Attri, K.; Kumar, M.; Kumar, P.; Sutte, A.; Singh, G.; Barnwal, R. P.; & Singla, N. (2020). Global trends in pesticides: A looming threat and viable alternatives. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 201, 110812. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110812>



Experimentos de campo en la EEMAC. Crédito: Cintia Palladino.