

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**ESTRATEGIAS DE MANEJO QUÍMICO PARA EL CONTROL
DE *Pyrenophora teres f. teres* EN CEBADA**

por

Malena ALEMANY PASSADORE

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

PAYSANDÚ

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:

Director/a:

Ing. Agr. (Dra.) Cintia Palladino

Tribunal:

Ing. Agr. (Dra.) Cintia Palladino

Ing. Agr. Matías Van den Dorpel

Ing. Agr. (Mag.) Carolina Francia

Fecha:

7 de abril de 2026

Estudiante:

Malena Alemany Passadore

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a mi padre, por haber hecho posible este logro.

A Enzo Braun, por su paciencia y por acompañarme a lo largo de esta larga espera.

A familiares y amigos, que me apoyaron y ayudaron a que este trabajo pueda concretarse.

A mi tutora, Cintia Palladino, por la oportunidad y la buena disposición para orientarme cada vez que lo necesité.

A los profesores, al personal de trabajo de campo, a las bibliotecarias de la EEMAC, por su colaboración y generosidad.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de una u otra manera, influenciaron para que esta etapa haya culminado.

¡Gracias!

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
1 Introducción	10
2 Revisión bibliográfica	11
2.1 Mancha en red tipo red	11
2.1.1 Etiología	11
2.1.2 Sintomatología.....	11
2.1.3 Epidemiología.....	11
2.1.4 Efectos del patógeno	13
2.2 Manejo integrado	13
2.2.1 Control cultural	14
2.2.2 Control genético	14
2.2.3 Control químico	16
2.2.4 Alternativas al control químico convencional.....	21
3 Materiales y métodos.....	24
3.1 Experimentos de campo	24
3.1.1 Ensayo de control genético.....	24
3.1.2 Ensayo de control químico.....	26
3.2 Determinaciones.....	28
3.2.1 Incidencia y severidad de MRtr.....	28
3.2.2 Rendimiento	29
3.3 Datos climáticos.....	29
3.4 Análisis estadístico	29
4 Resultados y discusión	32
4.1 Caracterización climática del año.....	32
4.2 Ensayo de control genético.....	33
4.2.1 Evolución de la enfermedad	33
4.2.2 Rendimiento	37
4.3 Ensayo de control químico.....	40
4.3.1 Evolución de la enfermedad	40
4.3.2 Rendimiento	43

5	Conclusiones	44
6	Bibliografía.....	45
7	Anexo	54

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla	Páginas
Tabla 1 Tratamientos del ensayo de control genético	25
Tabla 2 Tratamientos del ensayo de control químico	27
Tabla 3 Análisis de varianza del ABCPE para el ensayo de control genético	35
Tabla 4 Análisis de varianza del rendimiento (kg/ha) para el ensayo de control genético	37
Tabla 5 Análisis de varianza de PMG (g) para el ensayo de control genético	38
Tabla 6 Análisis de varianza de ABCPE para el ensayo de control químico	40
Tabla 7 Contrastes del ensayo de control químico	41
Tabla 8 Análisis de varianza de la EC (%) de fitosanitarios del ensayo de control químico	42
Tabla 9 Análisis de varianza del rendimiento (kg/ha) para el ensayo de control químico	43

Figura	Páginas
Figura 1 Ciclo biológico de <i>Pyrenophora teres</i>	12
Figura 2 Escala visual de severidad para MRtr	28
Figura 3 Precipitaciones decádicas mensuales durante la evaluación para el 2024 y el promedio histórico.....	32
Figura 4 Temperaturas decádicas mensuales durante el período experimental del 2024 y para el promedio histórico	33
Figura 5 Evolución de la severidad de MRtr para el testigo enfermo de cada cultivar	34
Figura 6 ABCPE por tratamiento de los cultivares evaluados en el ensayo de control genético	35
Figura 7 Rendimiento (kg/ha) en función de la variedad.....	38
Figura 8 PMG (g) promedio por tratamiento para ambos cultivares en el ensayo de control genético	39
Figura 9 Evolución de la severidad para los tratamientos testigos del ensayo de control químico	40
Figura 10 % EC de los fitosanitarios por tratamiento en el ensayo de control químico	43

RESUMEN

La mancha en red tipo red (MRtr), causada por *Pyrenophora teres* f. *teres* (Ptt), es una de las principales enfermedades foliares de la cebada, afectando la calidad y el rendimiento en grano. En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo general evaluar estrategias de manejo químico para el control de la MRtr, considerando tanto el uso de distintos fungicidas curasemillas, fungicidas foliares y bioestimulantes, así como el momento de aplicación, y su interacción con cultivares de distinto comportamiento sanitario frente a MRtr. Para ello, en la zafra de 2024 se realizaron dos ensayos a campo en la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" de la Facultad de Agronomía, departamento de Paysandú. En el primer ensayo se analizó la interacción entre el tratamiento curasemilla y el momento de aplicación de una mezcla de fungicidas foliares en dos cultivares con comportamiento sanitario contrastante frente a Ptt. En el segundo ensayo se evaluó la relación entre el uso de fungicidas curasemilla y distintos momentos de aplicación de mezclas de fitosanitarios foliares, en un cultivar susceptible a Ptt. Se registraron variables epidemiológicas y productivas, tales como severidad, área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), rendimiento en grano y peso de mil granos (PMG). Los resultados mostraron que las estrategias químicas evaluadas lograron reducir significativamente la severidad, expresada como ABCPE, en comparación con el testigo enfermo. En particular, los tratamientos que integraron curasemilla y aplicaciones foliares en momentos estratégicos mostraron mayor eficiencia de control de MRtr. Sin embargo, en varios casos la disminución de la severidad no se tradujo en diferencias significativas en el rendimiento. En cuanto al PMG, se observaron interacciones significativas entre la variedad y el fungicida, indicando respuestas diferenciales según el comportamiento sanitario del material genético. El manejo integrado que combina resistencia genética, uso de curasemilla y aplicaciones foliares estratégicas constituyeron una estrategia eficaz para reducir la severidad de la MRtr. No obstante, bajo ciertas condiciones ambientales, la reducción del progreso de la enfermedad no necesariamente se reflejó en incrementos significativos en el rendimiento. Estos resultados resaltan la importancia de considerar el momento de la infección, la susceptibilidad del cultivar y las condiciones climáticas al diseñar estrategias de control químico, así como la necesidad de continuar investigando la relación entre el control epidemiológico y el impacto en la productividad.

Palabras clave: mancha en red tipo red, curasemilla, fungicidas foliares, bioestimulantes

ABSTRACT

Net blotch (NB), caused by *Pyrenophora teres* f. *teres* (Ptt), is one of the main foliar diseases of barley, affecting both grain quality and yield. In this context, the general objective of this study was to evaluate chemical management strategies for NB control, considering the use of different seed-treatment fungicides, foliar fungicides and biostimulants products, as well as the timing of application and their interaction with cultivars exhibiting contrasting sanitary behavior against NB. To this end, two field trials were conducted during the 2024 growing season at the “Dr. Mario A. Cassinoni” Experimental Station of the Faculty of Agronomy, Paysandú department. The first trial analyzed the interaction between seed treatment and the timing of foliar fungicide mixture applications in two cultivars with contrasting responses to Ptt. In the second trial, the relationship between seed-treatment fungicides and different timings of foliar agrochemical mixtures was evaluated on a Ptt-susceptible cultivar. Epidemiological and productive variables were recorded, such as disease severity, area under the disease progress curve (AUDPC), grain yield, and thousand-kernel weight (TKW). The results showed that the evaluated chemical strategies significantly reduced disease severity, expressed as AUDPC, compared to the untreated infected control. In particular, treatments combining seed treatment with strategically timed foliar applications achieved the highest NB control efficiency. However, in several cases, the reduction in disease severity did not translate into significant differences in grain yield. Regarding TKW, significant interactions were observed between variety and fungicide treatment, indicating differential responses depending on the sanitary behaviour of the genetic material. Integrated management combining genetic resistance, seed treatment, and strategically foliar applications, proved to be an effective strategy for reducing NB severity. Nevertheless, under certain environmental conditions, a reduction in disease progress does not necessarily resulted in significant yield increases. These findings highlight the importance of considering infection timing, cultivar susceptibility, and climatic conditions when designing chemical control strategies, as well as the need for further research to better understand the relationship between epidemiological control and its impact on productivity.

Keywords: net blotch, seed treatment, foliar fungicides, biostimulants

1 Introducción

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) es uno de los cultivos invernales más relevantes en Uruguay, tanto a nivel comercial como dentro de las rotaciones agrícolas. El principal destino es la industria maltera, ya sea nacional o para exportación, la cual exige altos estándares de calidad y sanidad del grano (Gómez, 2013). No obstante, la producción del cultivo se ve afectada por diversas enfermedades foliares, entre las cuales la MRtr, causada por Ptt, representa una de las más importantes para este cultivo, por su amplia distribución y agresividad en los sistemas de producción (Gamba et al., 2021).

Los daños causados por la enfermedad afectan directamente la capacidad fotosintética del cultivo, lo que reduce la producción de biomasa y, en consecuencia, el rendimiento y la calidad del grano. Este impacto se traduce en una disminución del contenido de proteína y en una reducción del calibre de los granos, siendo relevante su incidencia en la calidad industrial de la malta. Las pérdidas económicas se ven asociadas con la reducción de la cantidad y tamaño del grano. En algunos países se ha registrado que esta enfermedad puede generar pérdidas de rendimiento significativas, estimadas entre un 23% y un 44% (Petta & Lavilla, 2023).

El control de Ptt, se aborda comúnmente mediante un manejo integrado que consiste en la aplicación de diferentes medidas de manejo como: el uso de variedades resistentes, rotación de cultivos, manejo de rastrojos y la aplicación de controles químicos. Sin embargo, la resistencia genética presente en los cultivares comerciales es limitada y variable, mientras que el control químico incluye mezclas de principios activos para el control fúngico tales como estrobilurinas, triazoles y carboxamidas. En los últimos años, el incremento en la presión ejercida por la MRtr ha llevado a un aumento tanto en el número como en la frecuencia de aplicaciones de fungicidas (*Detección de multirresistencia a fungicidas*, 2022).

En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo general evaluar estrategias de manejo químico para el control de MRtr en el cultivo de cebada. Para ello, se llevaron a cabo dos ensayos a campo. En el primer ensayo, se enfocó en analizar la interacción entre el tratamiento curasemilla y el momento de aplicación de una mezcla de fungicidas foliares, considerando su efecto en dos cultivares con comportamiento sanitario contrastante. El segundo ensayo buscó evaluar la relación entre el uso de fungicidas curasemilla y el momento de aplicación de distintas mezclas de fungicidas foliares en un cultivar susceptible a Ptt.

2 Revisión bibliográfica

2.1 Mancha en red tipo red

2.1.1 Etiología

El agente causal de la MRtr en cebada, *Pyrenophora teres* Dreschler [Anamorfo: *Drechslera teres* (Sacc.) Shoemaker], es un hongo Ascomycete de la clase Loculoascomycete. Su fase teleomorfa (sexual) se caracteriza por la producción de pseudotecios subepidérmicos que luego erupcionan, liberando ascas hialinas con ascosporas elipsoidales amarillentas, septadas transversal y longitudinalmente. La fase anamorfa (asexual), *Drechslera teres*, produce conidióforos pardos claros y conidios cilíndricos septados, y también picnidios con conidios hialinas en una matriz mucilaginosa (Melgarejo Nárdiz et al., 2010). Existen dos formas de la enfermedad, la MRtr y la mancha en red tipo spot o maculata, causadas por *P. teres* f. *teres* (Ptt) y *P. teres* f. *maculata* (Ptm), respectivamente, las cuales difieren genética y fisiopatológicamente, aunque su morfología es similar (Backes et al., 2021; Liu et al., 2010).

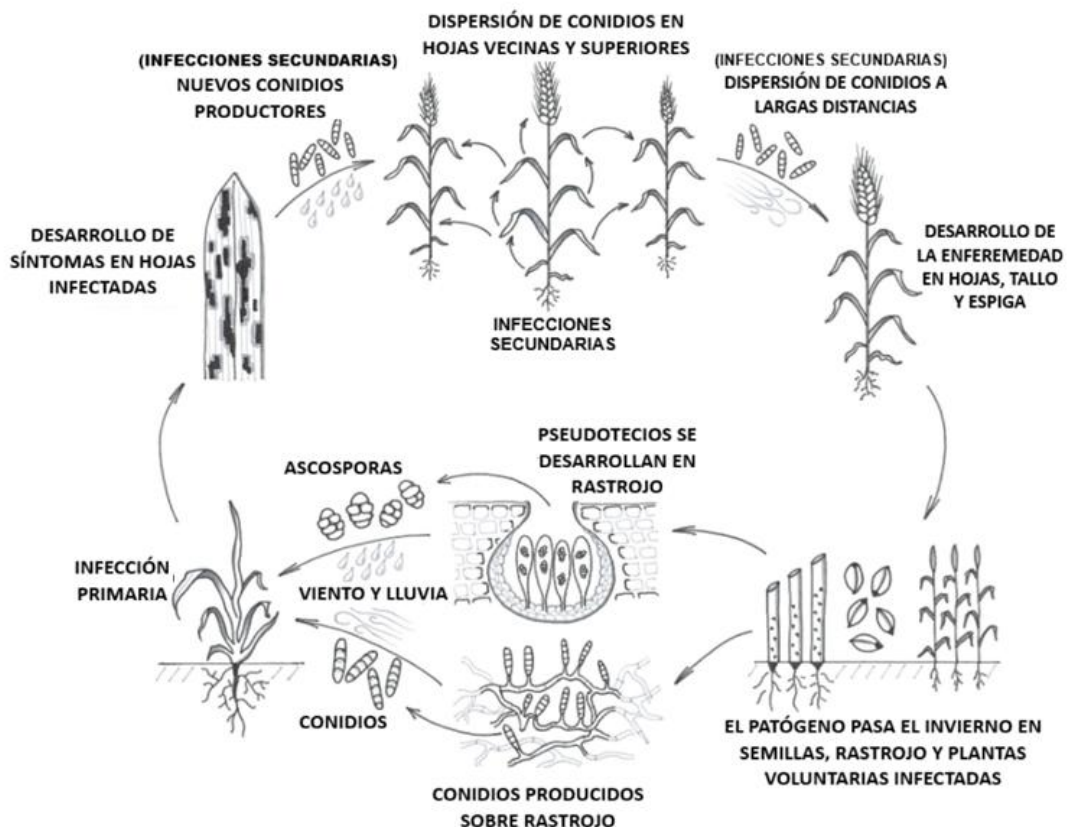
2.1.2 Sintomatología

En los tejidos verdes infectados, el hongo Ptt secreta enzimas que inducen la muerte celular, dando lugar a las manchas foliares características de la enfermedad (Pereyra & Germán, 2011). Estas se manifiestan inicialmente como pequeñas lesiones de color marrón longitudinales y transversales sobre las hojas, las cuales se expanden progresivamente hasta formar lesiones alargadas con un patrón reticulado característico. Los tejidos contiguos a la mancha presentan clorosis, los bordes de estas manchas son indefinidos con una distribución irregular sobre la lámina. En estados avanzados de la infección, el patógeno puede afectar las espigas y los granos (Pereyra et al., 2005). El signo característico consiste en una esporulación tenue de color oscuro, constituido por conidios y conidióforos que se observan a ambos lados de las lesiones (Larran, 2022).

2.1.3 Epidemiología

Las principales fuentes de inóculo de Ptt son las semillas infectadas, proveniente de cultivos enfermos, que transportan al hongo en su interior en forma de micelio durmiente y los rastrojos de cultivos antecesores infectados (Figura 1). Como resultado, el patógeno logra persistir entre ciclos de cultivo, ya sea en las semillas almacenadas, sembradas o a través de la colonización saprofitica de restos de cebada que permanecen en el campo para el cultivo siguiente (Lammari et al., 2020; Reis, 1991; Pereyra et al., 2005).

Figura 1
Ciclo biológico de *Pyrenophora teres*



Nota. Adaptado de Tomić et al. (2024).

En los rastrojos de cultivo, Ptt sobrevive tanto en su fase sexual como asexual. La primera consiste en la formación de pseudotecios, que almacenan ascosporas, mientras que la segunda, el patógeno forma conidios libres. Los pseudotecios permiten la liberación de ascosporas a muy cortas distancias, hasta 40 cm debido al tamaño de las mismas (Lammari et al., 2020). De este modo, en sistemas de siembra directa, tanto las ascosporas como los conidios conforman el inóculo primario reiniciando el ciclo e infectando al nuevo cultivo (Pereyra & Germán, 2011). Según Vahamidis et al. (2020), la severidad de la enfermedad aumenta después del macollaje de la cebada, especialmente si el suelo fue inoculado previamente. Este hallazgo apoya la hipótesis de que los rastrojos de cultivos infectados son la principal fuente de inóculo primario.

Pyrenophora teres f. *teres* es un patógeno frecuente en semillas, por lo cual su diseminación a largas distancias ocurre principalmente a través de este medio, en consecuencia, la siembra de semillas infectadas facilita la introducción de la enfermedad en campos nuevos o bajo sistema de rotación (Carmona & Sautua, 2022). El éxito de la transmisión del patógeno de la semilla a la plántula depende de que las condiciones ambientales sean favorables, ocurre a una tasa promedio del 21% (Carmona & Sautua, 2022; Pereyra et al., 2005). En Uruguay, durante el período 1991 - 1993, investigadores observaron una tasa máxima de transmisión de la semilla a la plántula del 54% en lotes de semilla altamente infectados (Pereyra & Germán, 2011). En cuanto a la infección

primaria, los síntomas comienzan a observarse 48 horas después de la infección y se realzan entre los 7 y 10 días luego de ocurrida. Las condiciones ambientales que favorecen el desarrollo y la diseminación del patógeno, son temperaturas medias mayores a 10 °C, con un óptimo entre 15 y 25 °C, en combinación con más de 10 horas de agua libre sobre la superficie foliar y la ocurrencia de precipitaciones (González et al., 2019; Pereyra et al., 2005).

La relación hongo-semilla, es la vía de supervivencia más efectiva y segura para prolongar su ciclo entre zafras del cultivo. La habilidad que tiene el patógeno para pasar desde la semilla hacia la primera hoja es significativamente alta, lo cual refleja su adaptación y evolución en comparación con su huésped. Cuando la semilla comienza a germinar, el micelio reactiva su crecimiento por lo que empieza a extraer nutrientes de la semilla y a desarrollarse en la superficie del cariopse. El hongo no parasita las raíces, aunque sí el coleóptilo. Puede atravesar su estructura, alcanzando a penetrar la plúmula emergente, la cual puede morir precozmente (Ziminov Nolla, 2007).

La infección progresa de modo ascendente en la planta, de una hoja a la siguiente, a través de conidios. Estos, debido a su peso, se dispersan a cortas distancias por el viento y el salpicado de gotas de lluvia, ya sea dentro de la misma planta o a plantas aledañas (Larran, 2022; Ziminov Nolla, 2007). Cuando más del 50% del tejido foliar ha fenecido, se produce la esporulación. El período entre la aparición de los primeros síntomas visibles y el inicio de la esporulación, es de 14 a 20 días (Melloy et al., 2024; Van Den Berg, 1988). A medida que la planta entra en senescencia, el hongo continúa su desarrollo en estado saprofito, alimentándose de los tejidos en descomposición (Pereyra & Germán, 2011).

2.1.4 Efectos del patógeno

Esta enfermedad ha registrado pérdidas de rendimiento significativas, estimadas entre un 23% y un 44%, bajo condiciones favorables para su desarrollo (Petta & Lavilla, 2023). La dimensión de estos daños está estrechamente relacionada con el momento en que la enfermedad se desarrolla dentro del ciclo del cultivo y la cantidad de enfermedad alcanzada (Pereyra & Germán, 2011). Debido a que la enfermedad reduce el área fotosintética y afecta la translocación de azúcares y la absorción de nitrógeno, generando una reducción del número y peso del grano, principales componentes del rendimiento (Pereyra & Germán, 2011).

2.2 Manejo integrado

El manejo integrado de plagas (MIP) representa la estrategia más eficaz para su control. Este enfoque se basa en la combinación de diversas prácticas agronómicas (Petta & Lavilla, 2023). Las herramientas del MIP incluyen semillas con genética resistente a Ptt y libres o con baja carga del inóculo, rotación de cultivos, el uso de sustancias bioestimulantes, aplicación de fungicidas curasemillas y foliares cuando se alcance el nivel crítico (NC) de la enfermedad, rotación de principios activos, entre otros. Estas medidas son algunas de los distintos tipos que integran el control cultural, genético y químico para el MIP.

2.2.1 Control cultural

Existen dos fuentes de inóculo primario, las semillas infectadas y los restos de cultivos anteriores. Por ello, el primer paso para controlar la MRtr es evitar el inóculo primario de Ptt mediante la siembra de semillas sanas, libres de Ptt o con baja carga fúngica del mismo (Jalli, 2011). Después de la cosecha de la cebada, el rastreo actúa como fuente de inóculo, se sabe que cuanto mayor es la cantidad de rastreo infectado, más intensa puede ser la enfermedad en el cultivo siguiente. Para reducir las fuentes de inóculo, las medidas agronómicas culturales, que actúan de modo preventivo, desempeñan un papel crucial en el manejo de Ptt. La rotación de cultivos es una medida eficaz para disminuir la severidad de muchas enfermedades, incluida la MRtr. En este sentido, se recomienda no repetir la siembra del cultivo de cebada por al menos dos años (Duczek et al., 1999). Sin embargo, no son las únicas herramientas para combatir al hongo.

Como ocurre con otros cultivos agrícolas, en cebada, la eliminación de plantas voluntarias provenientes de semillas que quedan en el suelo luego de la cosecha de una zafra anterior es una práctica fundamental, debido a que estas pueden actuar como reservorio de plagas y agentes causales de enfermedades, favoreciendo la dispersión hacia el nuevo cultivo. Las plantas voluntarias constituyen una maleza frecuente en sistemas de siembra directa, al igual que ocurre con huéspedes alternativos, como *Bromus catharticus*, sobre ellas pueden sobrevivir los patógenos propios del cultivo, transformándose en la posible fuente de inóculo inicial. La incidencia de estas plantas espontáneas es lo que define su importancia como fuente de inóculo en la chacra (Howell & Andrews, 1987; Pereyra & Germán, 2011).

2.2.2 Control genético

Dentro del enfoque del MIP, el control genético a través del uso de cultivares resistentes constituye una herramienta fundamental por su eficiencia, bajo costo relativo y menor impacto ambiental negativo, en comparación con estrategias de control químico. La resistencia genética, cuando es constante y duradera, permite reducir la frecuencia y las dosis de aplicaciones de fungicidas (Agrios, 2005). Por definición, un genotipo resistente se caracteriza por tener lesiones foliares menos visibles y más pequeñas, un crecimiento fúngico restringido en el tejido foliar infectado y una mayor producción de sustancias antifúngicas (Graner et al., 1996). Por otro lado, en un cultivar susceptible, la disminución en el rendimiento ocasionada por el patógeno se vincula con una senescencia foliar acelerada, provocando disminución en el peso de los granos e impactando negativamente en la calidad de los mismos. Esto último no sólo conlleva a pérdidas de rendimiento para el productor, sino que también repercute en la calidad industrial de los granos de cebada (Petta & Lavilla, 2023; Van Den Berg, 1988).

Fowler et al. (2017), Gamba y Tekauz (2011) y Gamba et al. (2021) observaron que el patógeno presenta un alto grado de variabilidad genética, con múltiples patotipos a lo largo de diferentes países, incluido Uruguay, lo cual lleva a realizar un constante mejoramiento genético en cebada, dado que puede quebrar rápidamente la resistencia conferida por genes específicos. Asimismo, Gamba et al. (2021) demuestran que Ptt presenta distintos niveles de virulencia, indistintamente del lugar o año en el que se halla aislado. Esta variabilidad genética se debe, en parte, a la capacidad del hongo para

reproducirse sexualmente, lo que genera recombinación genética y aparición de nuevos niveles de virulencia (Pereyra & Germán, 2011).

Gamba et al. (2021) sugieren que los cultivares de cebada comerciales utilizados en Uruguay presentan un bajo nivel de resistencia a Ptt. Señalan la poca diversidad genética del germoplasma actualmente empleado en el país, lo que podría comprometer la eficacia y durabilidad del control genético para esta enfermedad. Asimismo, concluyen que Ptt posee un elevado potencial de adaptación, lo que implica que las estrategias de resistencia genética deben actualizarse constantemente para mantenerse efectivas frente a la evolución del patógeno. Los autores, basan estas afirmaciones en la observación de diferentes interacciones entre cultivares y el agente causal de MRtr.

En esta misma línea, estudios previos como el de Tekauz (1990) en Canadá, identificaron hasta 45 patotipos distintos a partir de 219 aislados, analizados a través de diferentes variedades de cebadas. Investigaciones más recientes en Argentina y Uruguay han corroborado esta alta diversidad patogénica, con capacidad para adaptarse a distintas fuentes de resistencia. De acuerdo con Dahanayaka et al. (2021), se han detectado híbridos del patógeno en distintos continentes, lo cual confirma la hibridación entre las dos formas del patógeno, pudiendo dar origen a nuevos patotipos de mayor complejidad y generar pérdidas de rendimiento difíciles de prevenir. En este contexto, contar con información actualizada sobre la estructura y diversidad genética de las poblaciones de Ptt en distintas regiones geográficas resulta fundamental para anticipar su comportamiento epidemiológico, diseñar estrategias de manejo más eficaces y desarrollar cultivares de cebada resistentes (Dahanayaka et al., 2021; Gamba & Tekauz, 2011).

Las condiciones agroclimáticas de producción para los cultivos de invierno propias del país, especialmente la marcada variabilidad y la elevada incidencia de enfermedades, dificultan la adopción de variedades desarrolladas en otras regiones del mundo. Esta situación ha justificado la necesidad de impulsar un programa de mejoramiento genético local, adaptado a las exigencias productivas y sanitarias del sistema agrícola nacional. En este contexto, el Programa de Mejoramiento Genético de Cebada del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), con sede en la Estación Experimental INIA La Estanzuela, tiene por objetivo principal desarrollar variedades que integren alto potencial de rendimiento, estabilidad productiva, calidad maltera compatible con los requerimientos de la industria cervecera nacional y resistencia genética frente a las principales enfermedades que afectan al cultivo en Uruguay (*Proyectos*, s.f.).

El cultivo de cebada se ha caracterizado históricamente por una menor dinámica varietal en comparación con otras opciones agrícolas, por lo tanto, se vuelve imprescindible contar con materiales que tengan un buen comportamiento sanitario general a las principales enfermedades que afectan al cultivo en el país (Castro et al., 2017; Ziminov Nolla, 2007). Sin embargo, desde el 2008 se ha experimentado un fuerte recambio varietal en el cultivo, principalmente debido al incremento en el área y proporción sembrada con cultivares de origen europeo, llegando a valores superiores al 50% del área sembrada en 2014 y 2015 (Castro et al., 2017). Durante el período 2009 -

2014, aproximadamente el 60% de los cultivares evaluados en la Evaluación Nacional de Cultivares (ENC), eran de origen europeo (Castro et al., 2017).

Si bien los cruzamientos entre variedades locales con material genético de dicho origen, han sido claves en cuanto al aporte a la calidad maltera y al potencial de rendimiento, han presentado problemas. Estos están vinculados a su fenología, clasificación del grano por calibre y sanidad, ya que resultan más susceptibles al complejo de manchas foliares que afectan a la cebada (Castro et al., 2017; Condón & Germán, 2005). Asimismo, el rendimiento potencial de estos materiales resultantes se expresa en ambientes de alta producción, en fecha de siembras más tempranas y en las latitudes al sur del país, mientras que, en condiciones de producción bajo estrés, como lo son siembras tardías o zonas más al norte, el rendimiento disminuye y aumentan los problemas asociados al calibre del grano y la excersión de las espigas (Castro et al., 2017).

La elección del cultivar a sembrar es una de las decisiones más críticas de cada zafra, dado su impacto directo en el resultado económico final. Ceretta y Van Eeuwijk (2008) estudiaron la importancia del diseño de la red de evaluación de cultivares de cebada en Uruguay y concluyeron que el cultivar seleccionado puede influir directa o indirectamente hasta en un 21% en el resultado final (Condón & Germán, 2005). La peor situación sanitaria ocurre cuando se siembra un cultivar sobre rastrojo del mismo cultivar infectado. Esto potencia, la aparición temprana de las enfermedades a las que ese cultivar es susceptible, además de la aparición de nuevos patotipos con mejor adaptación a infectar ese cultivar (Pereyra & Germán, 2012). Según datos de la Jornada de Cultivos de Invierno 2024, desde 2011 ha ido en aumento la proporción de hectáreas sembradas con cultivares de cebada susceptibles a la MRtr (Pereyra et al., 2024). En base a datos obtenidos por Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria e Instituto Nacional de Semillas (INIA & INASE, 2025), de los cultivares con más de 3 años en evaluación, INIA Osiris (CLE 307), INIA Pinta (CLE 316) y MUSA 936, tuvieron el mejor comportamiento sanitario frente al patógeno Ptt. Por otro lado, las variedades Grace y Forman tuvieron el peor comportamiento sanitario frente al hongo en cuestión (Castro et al., 2025; INIA & INASE, 2025).

2.2.3 Control químico

El control químico es la principal herramienta utilizada en el cultivo de cebada para el manejo de las enfermedades. Se basa en dos estrategias; por una parte, utilizando el control preventivo al desarrollo de la enfermedad en el ciclo del cultivo, como los tratamientos curasemilla, que apuntan a bajar la carga de inóculo inicial, controlando al patógeno presente en la semilla y en algunos casos brindando protección inicial a la plántula (González, 2011). Por otra parte, el control mediante aplicaciones foliares se realiza cuando la enfermedad alcanza el NC (González, 2011). Este NC 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. Para su determinación se utiliza la siguiente fórmula:

$$NC = \frac{(CP + CA) * 100}{P * coef.* Re}$$

Donde: Re es el rendimiento esperado en kg/ha, P es el precio de la cebada en U\$/kg, CP es el costo del fungicida en U\$/ha, CA es el costo de aplicación en U\$/ha y coef. es el coeficiente de pérdida de rendimiento por cada 1% de severidad (o incidencia) de la enfermedad. Cabe señalar que el NC es únicamente una referencia orientativa y debe interpretarse en conjunto con otros factores, como las condiciones climáticas predisponentes, para la toma de decisiones respecto a la aplicación de fungicidas (Pereyra & Díaz de Ackermann, 2007).

En la actualidad, los principios activos empleados por su eficiencia para el manejo de enfermedades de la cebada pertenecen a los grupos químicos de las estrobilurinas, carboxamidas y triazoles, utilizándose solos o en mezclas (Carmona & Sautua, 2022; Rehfus et al., 2017). En primer lugar, las estrobilurinas tienen la capacidad de inhibir la respiración mitocondrial del hongo al interrumpir la transferencia de electrones, por lo tanto, se detiene la producción de ATP (Bartlett et al., 2002). En este sentido, afecta la germinación de esporas, lo que interrumpe prematuramente el ciclo del patógeno. En consecuencia, disminuye la activación de los mecanismos de defensa del hospedante, por consiguiente, se reduce la demanda energética asociada a dichas respuestas, lo que permite a la planta asignar esos recursos hacia otros procesos. Por lo tanto, las aplicaciones foliares de estrobilurinas son más eficaces cuando se realizan de forma preventiva, es decir, antes de que ocurra la infección o durante las primeras etapas del desarrollo de la enfermedad (Bartlett et al., 2002). En este sentido, el Comité de Acción para la Resistencia a Fungicidas (Fungicide Resistance Action Committee, FRAC, por sus siglas en inglés) recomienda fehacientemente la aplicación preventiva de estrobilurinas para mitigar al hongo y al mismo tiempo, minimizar el riesgo de desarrollo de resistencias frente a este grupo de fungicidas dado que presenta un alto riesgo de resistencia (Bartlett et al., 2002). Además, se ha detectado resistencia cruzada entre todos los principios activos del grupo de estrobilurinas (Fungicide Resistance Action Committee [FRAC], 2024). En el caso de la piraclostrobina, es un fungicida no sistémico, por lo que se ve restringido el control de la enfermedad en nuevas áreas de crecimiento luego de su aplicación (Bartlett et al., 2002).

En segundo lugar, las carboxamidas se basan en inhibir la enzima succinato deshidrogenasa (SDH), clave en el ciclo de Krebs y en la cadena respiratoria mitocondrial. Al bloquear esta enzima, se interrumpe la transferencia de electrones y la producción de energía, lo que conduce a la muerte del hongo (Avenot & Michailides, 2010; Semar et al., 2011; Stammler & Speakman, 2006; Stammler et al., 2007). Por lo que son un grupo de fungicidas sistémicos que actúan principalmente de forma preventiva y en menor medida curativa. Debido a que este grupo presenta un riesgo medio a alto de generar resistencia, la FRAC recomienda su uso siempre en mezcla con fungicidas de diferente modo de acción, no realizar más de 2 aplicaciones por ciclo del cultivo, aplicar en etapas tempranas del desarrollo de la enfermedad y evitar el uso de subdosis (FRAC, 2022b).

Por último, los triazoles pertenecen al grupo de los fungicidas inhibidores de la desmetilación del estero. Su mecanismo de acción se basa en inhibir la enzima lanosterol-14 α -desmetilasa, esencial para la síntesis de ergosterol en los hongos. Al bloquearla, disminuye la producción de ergosterol y provoca la acumulación de

precursores anómalos, lo que altera la integridad de la membrana celular y, en consecuencia, detiene el desarrollo del hongo (Ghannoum & Rice, 1999; Giavini & Menegola, 2010; Tully et al., 2006). En este sentido, los triazoles tienen un mayor efecto curativo que preventivo. Dado que este grupo posee un riesgo medio a generar resistencia, la FRAC recomienda respetar estrictamente las dosis y frecuencias del fabricante, evitar aplicaciones repetidas de fungicidas del mismo grupo durante el ciclo del cultivo, especialmente en zafras con alta presión de patógenos de difícil de control como Ptt, y no utilizar subdosis o dosis fraccionadas (FRAC, 2022a).

Respecto al tratamiento de semillas, es la primera medida de control químico en el ciclo del cultivo, tiene por objetivo proteger el potencial genético de la semilla contra enfermedades desde el momento de la siembra, evitar su transmisión hacia la plántula y disminuir la tasa de progreso de la enfermedad en el cultivo en los primeros estadios (González, 2011). Consecuentemente, puede ser una alternativa a las aplicaciones foliares en etapas tempranas del cultivo y/o mejorar la eficiencia de control de estos (González, 2021; González et al., 2019). La severidad de la enfermedad al inicio del cultivo es menor en los tratamientos con fungicidas curasemillas. Normalmente, son efectivos por un período de 10 a 14 días luego de la siembra. No obstante, algunos ingredientes activos que se han desarrollado últimamente continúan teniendo efecto hasta 60 días post-emergencia (González et al., 2019). Sin embargo, la capacidad de controlar al patógeno con curasemillas depende de la sensibilidad de los hongos, de la fungitoxicidad química y de la calidad de la cobertura de las semillas, así como también de la carga fúngica en las mismas (Backes et al., 2021; González, 2011).

Desde el 2000, ha habido un gran progreso en cuanto al tratamiento de las semillas, uno de ellos es la incorporación de fungicidas sistémicos de amplio espectro correspondientes al grupo químico de los triazoles (González, 2011). Según lo reportado por Moustafa (2017), epoxiconazol y propiconazol, demostraron una alta eficiencia como curasemillas para el control del desarrollo de MRtr, superando a otros ingredientes activos que se evaluaron tal como azoxistrobina, iprodion, tiofanato de metilo y mancozeb. El autor señaló que al usar epoxiconazol como curasemilla, hubo una reducción en la severidad de la enfermedad que disminuyó del 60 al 9%, siendo el tratamiento con mejor control respecto al testigo sin curasemilla. De igual modo, se observó un incremento del rendimiento superior al 79% en comparación con el testigo sin tratar. En el caso del propiconazol, observaron un aumento en el peso del grano superior al 32% respecto al testigo sin tratar, evidenciándose la eficacia del curasemilla a base de triazoles para el control de esta enfermedad.

Por otro lado, los tratamientos con curasemillas a base de carboxamidas comenzaron a nivel regional desde el 2011 con sedaxan en mezclas con otros ingredientes activos (Carmona & Sautua, 2022). Posteriormente, desde 2017, la mezcla de fluxapiraxad con triticonazol comenzó a ser la principal protagonista en la mayoría de las hectáreas de cebada sembradas, con resultados exitosos en el control de varios patógenos transmitidos por semilla (Carmona & Sautua, 2022). En Uruguay, el tratamiento de las semillas con estos ingredientes disminuyó notablemente la severidad de la enfermedad hasta la etapa de Z3.0 escala de Zadoks, en un ensayo sobre un cultivar de cebada susceptible a Ptt, con 75% de incidencia del patógeno en la semilla (González et al., 2019; Zadoks et al., 1974). En otros trabajos, González et al. (2021)

concluyeron a partir de un período de evaluación de 7 años de estudio de diferentes fungicidas curasemillas, que esta misma mezcla, tuvo el mayor control frente a MRtr.

En trabajos anteriores, McLean et al. (2016) y McLean y Hollaway (2019) demostraron la eficacia de fluxapirroxad, por sí solo, como curasemilla, el cual brindó el mayor control a la MRtr. A su vez, se observó un aumento en el rendimiento y calidad del grano con solo una aplicación. Melloy et al. (2024), en coincidencia, reportan un incremento significativo de 0,28 tt/ha en el rendimiento al emplear fluxapirroxad como curasemilla. Lammari et al. (2020), mencionan la alta capacidad de control en ensayos en invernadero, incluso a dosis significativamente más bajas que las recomendadas en las etiquetas. En relación a la emergencia de las plántulas, González et al. (2019) exponen que los tratamientos de carboxamidas como curasemillas, no presentan diferencias significativas comparadas con el tratamiento testigo.

En cuanto a las aplicaciones foliares, el NC para MRtr está en torno al 25 - 30% de incidencia o 4 - 6% de severidad en la etapa de encañazón (González, 2021; Petta & Lavilla, 2023). La eficiencia de control de los fungicidas foliares depende del momento de la aplicación en relación con el estado fenológico del cultivo, así como de la etapa de la enfermedad y la tecnología de aplicación de los mismos (Melloy et al., 2024; Poole & Arnaudin, 2014; Van Den Berg, 1988). Según Van Den Berg (1988), para obtener un resultado estable deben hacerse aplicaciones a intervalos de tiempo regulares, una vez alcanzado el NC.

Mejía (2014), en condiciones de invernadero, evaluó la eficacia de aplicar fungicidas en Z1.5, para una mezcla de fluxapirroxad, epoxiconazol y piraclostrobina en forma preventiva, un día antes de la inoculación y de forma curativa, un día después. Como resultado se obtuvo 0% de incidencia y severidad. Por lo tanto, concluyó que la mezcla es eficaz para disminuir la severidad en dicha etapa del cultivo. Carabet et al. (2023) reportaron que fungicidas a base de un solo ingrediente activo eran menos efectivos que en mezcla, evaluado a través de la emergencia de plántulas.

González (2015) observó que en la etapa de encañazón los tratamientos con las mezclas de fungicidas foliares: carboxamidas + estrobilurinas + triazoles, presentaron entre 47 y 60% menos de incidencia que el tratamiento sin control, independientemente de la dosis utilizada. De acuerdo con Mejía et al. (2024), la combinación de los ingredientes activos fluxapirroxad, epoxiconazol y piraclostrobina ha demostrado una alta eficiencia en el control de MRtr. Según los mismos autores, en ensayos realizados tanto en condiciones de invernadero como a campo, se registraron niveles de control del 99,9 y 79,5%, respectivamente. De manera similar, Mejía (2014) reportó que la misma mezcla de fungicidas foliares fue una de las que mayor sensibilidad generó en Ptt; no obstante, su efectividad no presentó diferencias estadísticamente significativas en comparación con otras mezclas evaluadas.

McLean et al. (2016), McLean y Hollaway (2019) y Melloy et al. (2024) reportaron que una única aplicación foliar en Z3.1 es más eficiente para la reducción del ABCPE, en comparación con otros momentos de aplicación. Asimismo, los autores de las fuentes mencionadas anteriormente señalaron que, cuando se realiza una doble aplicación durante el ciclo del cultivo, aplicar en la etapa de encañado y en la emergencia de la hoja bandera o embuche, se puede lograr un control efectivo de la MRtr. De manera

similar, una aplicación en Z3.1 puede alcanzar niveles de control comparables a los obtenidos con una doble aplicación en Z3.1 y Z3.9, siendo esta estrategia la más efectiva (McLean & Hollaway, 2019; McLean et al., 2016). Por otro lado, Tini et al. (2022) recomendaron las aplicaciones tardías durante la emergencia de la hoja bandera o la fase de espigado. La lógica de aplicar fungicidas foliares al cultivo enfermo antes de la emergencia de la hoja bandera y de la espiga, tiene como finalidad proteger la capacidad fotosintética de las cuatro hojas superiores, las cuales pueden contribuir al 72% del rendimiento total (Tully et al., 2006). No obstante, Erreguerena y Quiroz (2016) advirtieron que aplicar fungicidas únicamente en la hoja bandera no resultó suficiente para controlar enfermedades foliares como MRtr. Sin embargo, cuando este tratamiento se combinó con un curasemilla, los resultados de control fueron significativamente mejores.

Stepanović et al. (2016) muestran que las distintas mezclas de fungicidas foliares dan lugar a diferentes grados de reducción de la severidad de la enfermedad, siendo la mezcla de piraclostrobina y epoxiconazol a 1 L/ha, la que mejor resultados obtuvo para el control de la MRtr. Asimismo, tuvo un efecto favorable en el rendimiento durante ambos años experimentales. De igual manera, en una evaluación realizada por INIA La Estanzuela durante el período 1998 - 2011, en el cual se evaluó, por al menos dos zafra, la eficiencia de control de distintos fungicidas en plantas de cebada con alta infección de enfermedades, se obtuvo como resultado que la mezcla de piraclostrobina y epoxiconazol tuvo una alta eficiencia de control, > 80% (Pereyra & Germán, 2012). Sin embargo, los tratamientos con un triazol como principio activo tuvieron una eficiencia intermedia (70 - 80%) (Pereyra & Germán, 2012).

Por otro lado, Carmona y Sautua (2022) concluyeron que los triazoles: epoxiconazol, protriocanazol y propiconazol mantienen alta fungitoxicidad a Ptt. Sin embargo, cuando la presión de la enfermedad es alta, la piraclostrobina funciona mejor que el epoxiconazol para controlar la enfermedad (Stepanović et al., 2016). Asimismo, se ha planteado la hipótesis de que las estrobilurinas pueden ofrecer más beneficios en términos de rendimiento y calidad del cultivo en comparación con los triazoles, a pesar de que visualmente proporcionan niveles similares de control de la enfermedad (Bartlett et al., 2002).

En cultivares altamente susceptibles a Ptt, el control más efectivo se logra mediante la aplicación de fungicidas con una alta eficiencia de control y prolongada residualidad, específicamente combinaciones de triazoles y estrobilurinas, en el momento en que aparecen los primeros síntomas. De igual modo, cuando los rastrojos de cultivos infectados son la fuente principal de inóculo, la aplicación de fungicidas foliares probablemente sea el control más idóneo, en comparación con los fungicidas curasemillas (Pereyra & Germán, 2012).

En Europa y Australia, se encontraron cepas de Ptt que son insensibles al grupo químico triazoles (Baxter et al., 2025; Mair et al., 2016; Rehfus et al., 2017). Así mismo Gisi et al. (2002) en Europa y Akhavan et al. (2017) en Canadá registraron aislados de Ptt insensibles a principios activos pertenecientes al grupo químico estrobilurinas. De igual modo, MRtr fue de las primeras enfermedades en desarrollar resistencia a carboxamidas, habiéndose reportado casos de pérdida de sensibilidad desde 2012

(Baxter et al., 2025; Rehfus et al., 2016). La pérdida de sensibilidad de Ptt a diferentes principios activos, correspondientes a diferentes grupos químicos, puede asociarse al uso repetido de moléculas con mismo modo de acción, utilización de sub-dosis y/o aplicaciones divididas, la falta de rotación de ingredientes activos de diferentes grupos, aplicaciones tardías en relación a la enfermedad, entre otras (FRAC, 2022a).

2.2.4 Alternativas al control químico convencional

En los últimos años, a nivel mundial se ha incrementado el uso de productos alternativos para controlar enfermedades debido a la reiterada generación de resistencia de los patógenos a los fitosanitarios tradicionales (Calvo et al., 2014; González, 2021). Además de este uso, también tienen otros beneficios como mejorar la performance del cultivo al optimizar su capacidad para conseguir nutrientes, mejorar la tolerancia de las plantas frente a condiciones de estrés biótico y abiótico, reduciendo el gasto energético en situaciones adversas, permitiendo destinar mayores recursos al crecimiento y desarrollo del cultivo, para así favorecer el rendimiento y calidad del grano (Calvo et al., 2014). En consecuencia, se genera una agricultura sustentable que produce menos residuos químicos que afecten al ambiente y la salud de organismos no blanco (“Los productos biológicos avanzan”, 2020; Sible et al., 2021).

Uno de los productos alternativos, es el uso de bioestimulantes, en su mayoría de origen biológico, que promueven el crecimiento y la productividad de las plantas a través de la acción sinérgica de sus componentes (Yakhin et al., 2017). Entre sus principales fuentes se encuentran extractos de algas marinas, ácidos orgánicos, microorganismos o sus metabolitos, quitinas y quitosanos, carbón vegetal (biochar), entre otros. Algunos bioestimulantes también pueden incluir macro y micronutrientes en bajas concentraciones, necesarios para el desarrollo vegetal. Su modo de aplicación varía en función del producto y su finalidad, pudiendo ser utilizados en tratamientos al suelo, sobre la semilla o mediante aplicaciones foliares (González, 2021).

En INIA, González (2021) llevó a cabo un ensayo en cebada para el control de MRtr en el que se aplicó un tratamiento curasemilla compuesto por fluxaproxad y triticonazol, en combinación con diversos bioestimulantes. Entre los productos utilizados se incluyeron: zinc (0,2%), boro (0,02%), ácidos húmicos y fúlvicos, zeatina; humato de potasio (15%), extracto seco de *Laminaria japonica* (4,5%), extracto seco de aminoácidos (3%); *Delftia acidovorans* inactivada por calor (1×10^8 UFC); derivados de lignosulfonato provenientes de la celulosa; aminoácidos (12,8%), urea (46%) y extracto de algas (3,1%). Los resultados obtenidos indicaron que la eficacia del tratamiento fungicida para el control de la MRtr fue del orden del 80%. No obstante, la inclusión de bioestimulantes en la mezcla no produjo un efecto adicional significativo en la reducción de la severidad de la enfermedad. Estos resultados sugieren que, en las condiciones evaluadas, los bioestimulantes no potenciaron la acción del fungicida frente a Ptt (González, 2021).

Por otro lado, en un estudio en cebada realizado por Álvarez Canelo (2023), los tratamientos con bioestimulantes obtuvieron los mejores resultados en términos de rendimiento, destacándose especialmente aquellos formulados con ácido γ -aminobutírico y ácido glutámico como ingredientes activos. Estos compuestos favorecen múltiples procesos fisiológicos en las plantas, lo que resulta en la mejora en la calidad y

el rendimiento de los cultivos, la aceleración de la maduración, el fortalecimiento del sistema radicular, la estimulación temprana de la floración, el cuajado de frutos y la germinación de semillas. Estos efectos positivos se tradujeron en un aumento significativo del rendimiento, con una diferencia significativa de 1,7 tt/ha en comparación con el tratamiento testigo, en el cual no se aplicó ningún bioestimulante foliar.

Otro bioestimulante es Optimus, diseñado para estimular el desarrollo vegetal, optimizar la nutrición y contribuir a la protección contra patógenos Oomycetes y Alternaria. Su formulación, la cual incluye L- α -aminoácidos y fosfopéptidos, tiene una acción defensiva y nutricional (*Optimus*®, s.f.). Asimismo, en la misma fuente, se menciona que su aplicación mejora la eficiencia fisiológica de la planta, controla hongos patógenos presentes en el suelo y la semilla, estimula la producción de proteínas antifúngicas y favorece el sistema radicular. Asimismo, puede aplicarse solo o junto con fungicidas foliares, incrementando la tolerancia al estrés ocasionado por agroquímicos y factores climáticos (*Optimus*®, s.f.). Además, aconseja su uso preventivo en situaciones donde el clima favorezca el desarrollo de patógenos, destacando que este bioestimulante no genera resistencias (*Optimus*®, s.f.).

Diversos ensayos han demostrado su eficacia en el control de hongos pertenecientes a la clase *Oomycetes*, posicionándose como una alternativa eficiente en el control de una gran variedad de enfermedades fúngicas. Picanço et al. (2022) analizaron en soja su eficacia frente a la roya asiática, observaron una disminución superior al 47% en la severidad de la enfermedad. Las plantas tratadas mostraron un incremento en los pigmentos fotosintéticos, mayores concentraciones de clorofila a + b y carotenoides, además de una disminución en la concentración de MDA, indicador del estrés oxidativo, lo que sugiere una protección del sistema fotosintético. Adicionalmente, Silva et al. (2022) llevaron a cabo un estudio en Brasil para el control de *Septoria lycopersici* en tomate. Se observó una reducción del 78% en la severidad de la enfermedad y en la colonización del tejido vegetal, además de una diferencia significativa en la tasa fotosintética de las plantas tratadas en comparación con aquellas no inducidas.

Además, se ha estado desarrollando otro bioestimulante a base de silicio y aminoácidos libres, Armurox. Es un complejo que crea una barrera física bajo la cutícula foliar y activa los mecanismos de defensa de la planta (*Armurox*®, s.f.). Por un lado, el silicio actúa como barrera física, dando mayor sostén a los tejidos, protección contra el ingreso de patógenos, resistencia al estrés climático (*Armurox*®, s.f.; Botta et al., 2012). Por otro lado, los aminoácidos inducen respuestas de defensa en la planta, lo cual aumenta la resistencia a enfermedades y pesticidas (*Armurox*®, s.f.). En consecuencia, proporciona tolerancia frente al estrés mecánico, nutricional y biótico. Es destacable resaltar que no deja residuos, ni riesgo de generar resistencias, al igual que el producto anterior (*Armurox*®, s.f.; Botta et al., 2011). Este compuesto se recomienda aplicar de forma preventiva, en aplicaciones foliares preferentemente, cuando las condiciones climáticas favorecen el desarrollo de patógenos. Se recomienda aplicar junto con Optimus para mayor eficiencia (*Armurox*®, s.f.).

Tubana et al. (2017) evaluaron en Louisiana este bioestimulante para el control de la roya de la hoja en trigo, realizando tres aplicaciones en el ciclo del cultivo, y

observaron una reducción significativa de la severidad del 30 al 20%, y una tendencia a tener un mayor rendimiento en comparación con silicio granular aplicado en presiembra. De igual modo, Cacique et al. (2013), en Brasil, reportaron una eficacia similar entre propiconazol y la aplicación en raíz del compuesto evaluado en la reducción de *Pyricularia grisea*, aunque con menor daño observable en el tratamiento fungicida y mayor eficiencia cuando el producto se aplicó vía radicular frente a la aplicación foliar. Según el Consorcio Europeo de la Industria de Estimulantes (European Biostimulants Industry Council [EBIC], por sus siglas en inglés), los bioestimulantes producen un aumento del rendimiento de al menos un 5 y 10% (European Biostimulants Industry Council [EBIC], s.f.). No obstante, Jalakas et al. (2018) concluyeron que los resultados de usar fungicidas o combinarlos con bioestimulantes fueron mayores en el año experimental más desfavorable, en ambos casos el rendimiento aumentó en un 20%, lo cual indica que dicho aumento se debió al uso de fungicidas principalmente.

3 Materiales y métodos

3.1 Experimentos de campo

El trabajo de campo se llevó a cabo en la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (EEMAC), de la Facultad de Agronomía, Universidad de la República, ubicada en el km 363 de la Ruta Nacional N.º 3, en el Departamento de Paysandú. Se realizaron 2 ensayos de campo en el potrero 32A de la estación (32°22′35.34” S, 58°03′25.58” W), durante los meses de junio a noviembre del año 2024. Ambos ensayos fueron sembrados el 11 de junio. Los experimentos fueron instalados bajo labranza convencional, la cual consistió en una pasada de cincel y una pasada de rastras de dientes. El manejo de la nutrición nitrogenada, malezas y plagas fue realizada según las recomendaciones del manual de Buenas Prácticas Agrícolas (Cantou, 2013). La densidad objetivo con la cual fueron sembrados los cultivares fue de 250 plantas/m lineal.

3.1.1 Ensayo de control genético

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, con arreglo factorial completo, incluyendo tres factores; cultivar, uso de fungicida curasemilla y momento de aplicación del fungicida foliar. El factor cultivar constó de dos niveles; un cultivar muy susceptible y otro resistente a MRtr. El factor curasemilla consideró dos niveles, semilla tratada y sin tratar. El factor momento de aplicación foliar también incluye dos niveles, en base a realizar una aplicación de fungicida foliar temprana o tardía. La aplicación temprana se realizó en base al NC recomendado por INIA, 4 - 6% de severidad para MRtr (González et al., 2021) y la tardía fue 15 días post aplicación del NC. Los tratamientos testigos no presentaron aplicación de fungicidas. Además, se incluyó un tratamiento protegido, equivalente al cultivo sano, donde se repitió la aplicación foliar de fungicida en el ciclo, efectuando tres aplicaciones, en Z2.7, Z3.7 y Z7.1. En tal sentido se realizaron 12 tratamientos (Tabla 1). La unidad experimental fue una parcela sembrada de 6 surcos de ancho, a 15 cm entre surcos y 5 metros de largo.

Tabla 1
Tratamientos del ensayo de control genético

TRATAMIENTO	CULTIVAR	FUNGICIDA	
		CURASEMILLA	MOMENTO
R:ENF	RESISTENTE	SIN	SIN
R:NC FF+FC	RESISTENTE	CON	TEMPRANO
R:NC FF	RESISTENTE	SIN	TEMPRANO
R:15NC FF+FC	RESISTENTE	CON	TARDÍO
R:15NC FF	RESISTENTE	SIN	TARDÍO
R:SANO	RESISTENTE	CON	SANO
S:ENF	SUSCEPTIBLE	SIN	SIN
S:NC FF+FC	SUSCEPTIBLE	CON	TEMPRANO
S:NC FF	SUSCEPTIBLE	SIN	TEMPRANO
S:15NC FF+FC	SUSCEPTIBLE	CON	TARDÍO
S:15NC FF	SUSCEPTIBLE	SIN	TARDÍO
S:SANO	SUSCEPTIBLE	CON	SANO

Nota. FF: fungicida foliar, FC: fungicida curasemilla, 15NC: aplicación 15 días pos NC, R: resistente, S: susceptible.

Los cultivares de cebada seleccionados fueron: uno con comportamiento susceptible (Grace) y otro resistente (Osiris) a MRtr. En ENC de INIA e INASE (2024), esta última variedad se ubicó entre las de mayor rendimiento, alcanzando además más del 80% de granos con calibre superior a 2,5 mm dentro del grupo de cultivares con más de dos años de evaluación. En relación con su comportamiento sanitario, registró niveles de severidad en torno al 32% en las distintas localidades de evaluación, representando uno de los valores más bajos reportados para ese año. El principal patógeno fue *Ramularia collo-cygni* y *Drechslera teres* f. *teres* en segundo lugar, medido durante la etapa de llenado de grano (INIA & INASE, 2024). Por otro lado, en la misma evaluación en 2023, la variedad Grace presentó el rendimiento más bajo y el menor porcentaje de granos con calibre superior a 2,5 mm, dentro del grupo de cultivares con más de dos años de evaluación. En cuanto al comportamiento sanitario, mostró el mayor valor de severidad registrado, superior al 90%, destacándose el patógeno *Drechslera teres* f. *teres*, medido durante la etapa de llenado de grano (INIA & INASE, 2024).

En cuanto a los fungicidas, se utilizaron aquellos de uso más frecuente a nivel comercial en la actualidad. Para el tratamiento curasemilla, las semillas recibieron una mezcla de SISTIVA® + PREMIS® (BASF), que combina fluxapiroxad (75 ml/100 kg de semilla) y triticonazol (25 ml/100 kg de semilla). En el caso del fungicida foliar, se aplicó XANTHO® (BASF), el cual consiste en una mezcla de piraclostrobina (81 g/L) + fluxapiroxad (50 g/L) + epoxiconazol (50 g/L), a una dosis de 1 L/100 L de agua por hectárea. Las aplicaciones se realizaron con una mochila pulverizadora equipada con boquilla Turbo Teejet TT 11001, regulada a un caudal de 0,012 L/s.

3.1.2 Ensayo de control químico

El ensayo se realizó sobre un cultivar de cebada comercial de comportamiento susceptible a MRtr, Grace. El diseño experimental fue en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, con arreglo factorial incompleto con tres factores: momento de aplicación de fitosanitarios, fungicida curasemilla y combinación de fitosanitarios foliares. Este arreglo factorial totalizó 14 tratamientos (Tabla 2). La unidad experimental fue una parcela sembrada del mismo tamaño que en el ensayo de control genético. La premisa de este ensayo fue comparar la eficiencia de control de diferentes estrategias de control químico. Para ello, el diseño experimental se estructuró como una comparativa entre tres grupos de tratamientos: tecnológico, integrador e innovador. El primero correspondió al grupo tecnológico, en el que se incluyó un fungicida foliar y un curasemilla recomendados por su alta eficacia para la MRtr. El segundo grupo, denominado integrador, consideró un fungicida con buen desempeño en el control de MRtr, pero sin carboxamidas en la mezcla, acompañado de un bioestimulante foliar en evaluación y un curasemilla recomendado. Finalmente, el tercer grupo, denominado innovador, en la aplicación foliar combinó el fungicida recomendado con un bioestimulante y un tratamiento de semilla a base de un bioestimulante (Tabla 2).

Tabla 2
Tratamientos del ensayo de control químico

AGRUPACIÓN	TRATAMIENTO	CURA-SEMILLA	MOMENTO	FITOSANITARIO
TESTIGO	ENFERMO	SIN	NO	SIN
TECNOLÓGICO	NC FF + FC	CON	TEMPRANO	T1
	NC FF	SIN	TEMPRANO	T1
	15NC FF + FC	CON	TARDÍO	T1
	15NC FF	SIN	TARDÍO	T1
INTEGRADOR	NC FF + FC + A	CON	TEMPRANO	T2 + BIO 2
	NC FF + A	SIN	TEMPRANO	T2 + BIO 2
	15NC FF + FC + A	CON	TARDÍO	T2 + BIO 2
	15NC FF+A	SIN	TARDÍO	T2 + BIO 2
INNOVADOR	NC FF + FC + A	CON (BIO 1)	TEMPRANO	T1 + BIO 2
	NC FF + A	SIN	TEMPRANO	T1 + BIO 2
	15NC FF + FC + A	CON (BIO 1)	TARDÍO	T1 + BIO 2
	15NC FF + A	SIN	TARDÍO	T1 + BIO 2
TESTIGO	SANO	CON	SANO	T1 + BIO 2

Nota. FF: fungicida foliar, FC: fungicida curasemilla, A: Armurox, 15NC: aplicación 15 días pos NC, T1: Xantho, T2: Opera, BIO 1: Optimus, BIO 2: Armurox.

El factor momento de aplicación fue temprano y tardío, considerando los mismos criterios definidos para el ensayo de control genético (ver 3.1.1). El factor fungicida curasemilla presentó tres niveles. El primer nivel sin fungicida curasemilla. El segundo con el curasemilla SISTIVA® + PREMIS®. En el tercer nivel se usó el bioestimulante Optimus (BIO 1), de la empresa Brometan, utilizado como curasemilla, a una dosis de 0,5 L/100 kg de semilla.

El factor tipo de fitosanitario tuvo tres niveles de tratamiento, más uno adicional pertinente al testigo sin aplicación. El primero consistió en la aplicación de un fungicida,

una mezcla de piraclostrobina 81 g/L, fluxapiroxad 50 g/L y epoxiconazol 50 g/L (Xantho®, T1), a una dosis de 1200 cc/ha. El segundo nivel correspondió a la misma mezcla en combinación con el bioestimulante Armurox de la empresa Brometan, a una dosis de 1000 cc/ha (BIO 2). El tercer nivel combinó una mezcla del fungicida Opera® de la empresa BASF conteniendo la mezcla piraclostrobina 133 g/L y epoxiconazol 50 g/L (T2) junto con el bioestimulante (BIO 2), a una dosis de 1000 cc/ha.

Los fungicidas foliares, curasemillas y/o bioestimulantes se seleccionaron en función de su eficacia en el control de MRtr, considerando además la generación de información sobre nuevas combinaciones de fungicidas y bioestimulantes orientadas a dicho control. El procedimiento de aplicación se realizó de manera análoga al establecido en el ensayo de control genético.

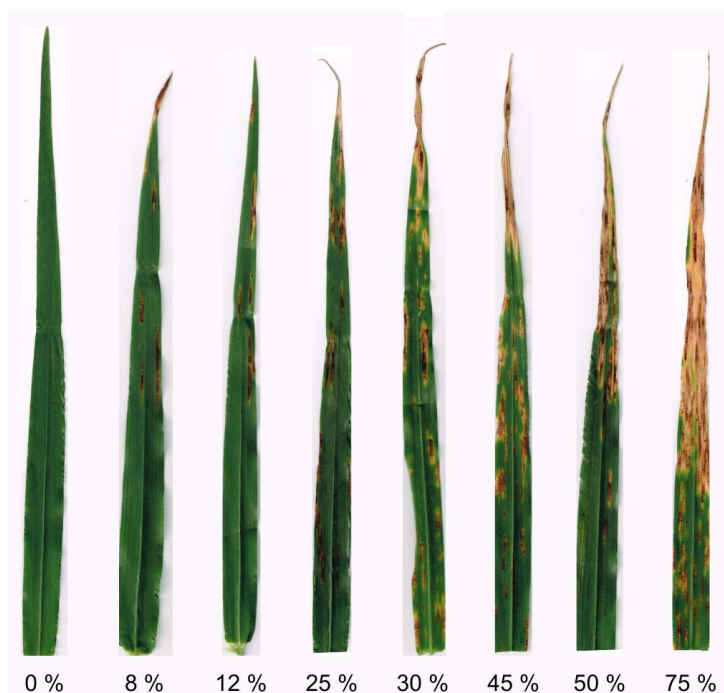
3.2 Determinaciones

3.2.1 Incidencia y severidad de MRtr

Para la cuantificación de la MRtr, en cada lectura se seleccionaron los tallos principales de diez plantas al azar por parcela, evitando los bordes para minimizar posibles contaminaciones de parcelas vecinas y asegurar que el material seleccionado fuera representativo de cada tratamiento. La incidencia se determinó en base a la relación entre plantas afectadas en el total de plantas evaluadas. Por otro lado, la severidad de la enfermedad se estimó mediante una escala diagramática visual (Figura 2), considerando el porcentaje de área foliar afectada en relación con el tejido vivo total de la planta. El valor final de severidad de cada parcela se estimó como el promedio de la severidad registrada en las hojas de los tallos principales de las diez plantas evaluadas.

Figura 2

Escala visual de severidad para MRtr



Las lecturas comenzaron el 28 de agosto, en la etapa de macollaje y se repitieron cada diez días hasta la madurez fisiológica del cultivo, completándose un total de siete lecturas.

En base a los datos de severidad, se estimó la cantidad de enfermedad medida a través del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE). Esta se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$ABCPE = \sum_i \frac{Y_i + Y_{i+1}}{2} * (t_{i+1} - t_i)$$

Donde Y_i es la severidad de la enfermedad, t es el período de evaluación en días después de la siembra (Pedroza-Sandoval & Samaniego, 2009).

Además, para el ensayo de control químico, se calculó la eficiencia de control (EC) en base a los datos de ABCPE:

$$\%EC = \frac{[ABCPE \text{ tratamiento control} - ABCPE \text{ tratamiento}]}{ABCPE \text{ tratamiento control}} * 100$$

3.2.2 Rendimiento

El 10 de noviembre las parcelas se cosecharon mecánicamente en su totalidad, una vez que el cultivo alcanzó la madurez fisiológica. Posteriormente, en base al peso de grano obtenido en cada parcela se determinó el rendimiento por parcela y luego se estimó el rendimiento por tratamiento expresado en kilogramos por hectárea (kg/ha). Además, se evaluó el peso de mil granos (PMG, en g) para el ensayo de control genético, mediante el conteo y pesaje de cien granos, repitiendo el procedimiento tres veces por parcela para calcular el promedio.

3.3 Datos climáticos

Los datos climáticos de precipitaciones, temperatura y humedad, durante el período de evaluación de junio a noviembre y los promedios históricos de 2002 a 2024, fueron tomados de la estación meteorológica del sitio experimental, en la EEMAC.

3.4 Análisis estadístico

El modelo del diseño experimental utilizado en el ensayo de control genético para las distintas variables analizadas fue el siguiente:

$$Y_{ijk}: \mu + V_i + F_j + B_k + (VF)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

donde:

i: RESISTENTE; SUSCEPTIBLE cultivar

j: combinaciones de CON/SIN curasemilla; aplicación TEMPRANA/TARDÍA

k: 1,2,3,4 bloques

μ : media

B: efecto bloque

V: efecto variedad

F: efecto fungicida

VF: interacción variedad x fungicida

ϵ_{ijk} : error experimental

Para el análisis estadístico del ensayo de control genético se definieron dos grandes grupos de contrastes. El primero enfocado en evaluar, por cultivar, los principales efectos de los factores estudiados. El segundo tuvo como propósito analizar la interacción entre el cultivar y el control químico. Los contrastes correspondientes al primer grupo son los siguientes:

- El testigo enfermo vs conjunto de los demás tratamientos, exceptuando al testigo sano.
- Tratamientos del momento temprano vs tardío.
- Tratamientos con curasemilla vs sin curasemilla, exceptuando a los testigos.

Los contrastes del segundo son los presentados a continuación:

- Dentro del cultivar susceptible, el testigo enfermo vs conjunto de los demás tratamientos.
- Dentro del cultivar susceptible, el conjunto de los tratamientos vs el testigo sano.
- Dentro del cultivar susceptible, tratamientos del momento temprano vs tardío.
- Dentro del cultivar susceptible, tratamientos con curasemilla vs sin curasemilla, exceptuando a los testigos.

El modelo estadístico del diseño experimental utilizado en el ensayo de control químico para las distintas variables analizadas fue el siguiente:

$$Y_{ij}: \mu + T_i + B_j + \epsilon_{ij}$$

donde:

μ : media

T: efecto tratamientos

B: efecto bloque

i: 1, 2,...,14 tratamientos

j: 1, 2, 3, 4 bloques

ϵ_{ij} : error experimental

Para el análisis estadístico se establecieron diferentes contrastes enfocados en evaluar los principales efectos y las interacciones entre factores. Los contrastes fueron los siguientes:

- El tratamiento testigo enfermo vs conjunto de los demás tratamientos.
- Conjunto de los tratamientos vs el testigo sano.
- Tratamientos del momento temprano vs tardío, exceptuando al testigo sano.
- Tratamientos del grupo innovador vs tecnológico.
- Tratamientos del grupo tecnológico vs integrador.
- Dentro del grupo innovador, tratamientos del momento temprano vs tardío.
- Dentro del grupo integrador, tratamientos del momento temprano vs tardío.
- Dentro del grupo innovador, tratamientos de la aplicación con curasemilla vs sin.
- Dentro de los tratamientos sin curasemilla (exceptuando al testigo enfermo), tratamientos del momento temprano vs tardío.
- Dentro de los tratamientos con curasemilla (exceptuando al testigo sano), tratamientos del momento temprano vs tardío.

Cuando en el análisis de varianza (ANAVA) el p-valor fue significativo ($p\text{-valor} \leq 0,05$), la separación de medias de los tratamientos para todas las variables se realizó mediante la prueba de Tukey ($p=0,05$). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). El procesamiento de los datos se realizó mediante el software estadístico Infostat.

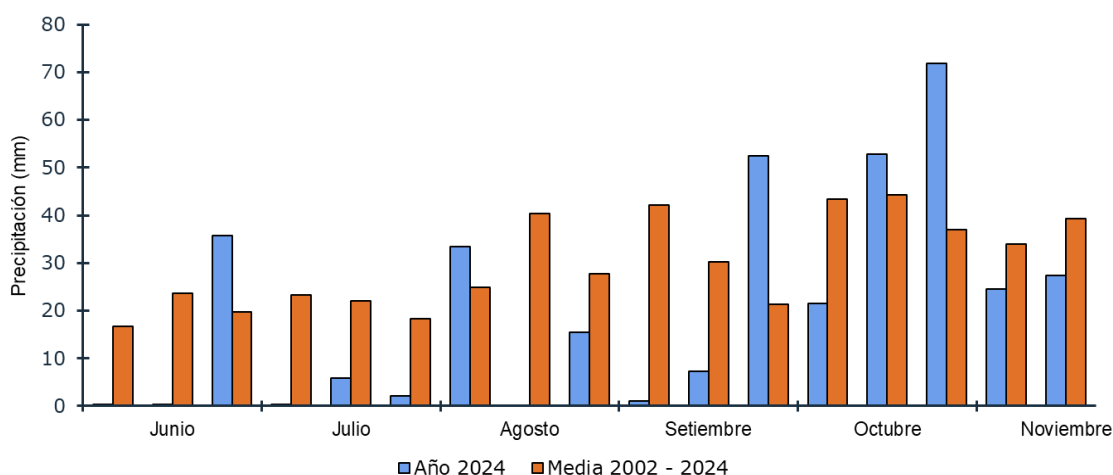
4 Resultados y discusión

4.1 Caracterización climática del año

En relación con las precipitaciones (Figura 3), el cultivo logró una adecuada implantación gracias a las lluvias registradas durante la semana posterior a la siembra y a lo acumulado en el mes de mayo. Sin embargo, en julio se produjo un marcado déficit hídrico, con apenas 8 mm frente a los 64 mm del promedio histórico, lo que pudo haber limitado el desarrollo inicial. Esta tendencia se mantuvo en agosto, cuando las precipitaciones resultaron aproximadamente un 50% inferiores al promedio. En contraste, hacia fines de septiembre se registraron precipitaciones abundantes, con un acumulado de 52 mm frente a los 21 mm históricos, coincidiendo con el período crítico del cultivo. A partir de entonces, las lluvias se volvieron más recurrentes, lo que aseguró una adecuada disponibilidad hídrica, aunque también favoreció el incremento de la presión de enfermedades como MRtr.

Figura 3

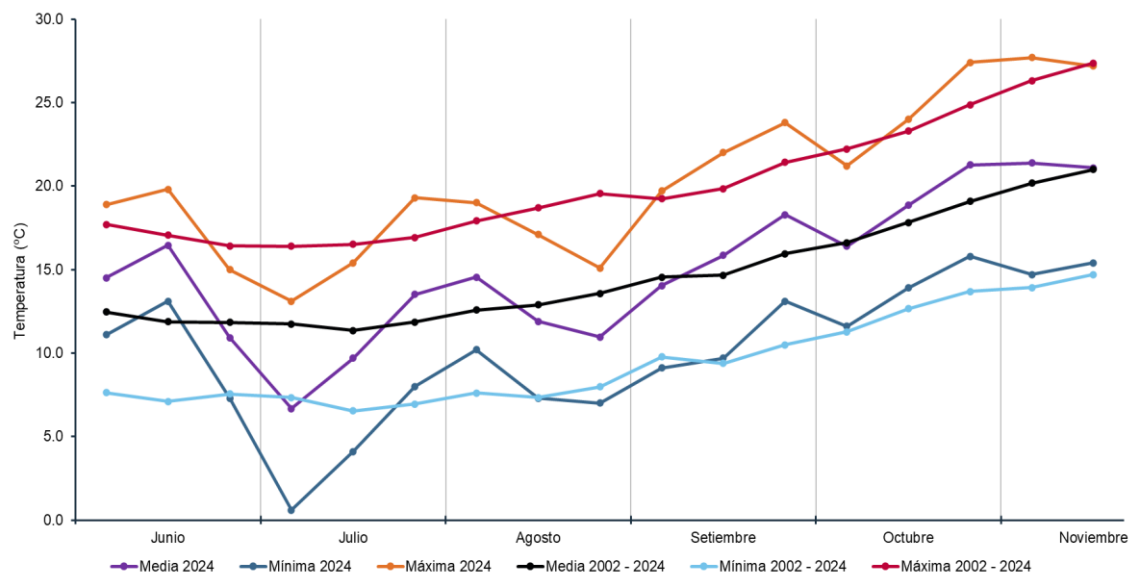
Precipitaciones decádicas mensuales durante la evaluación para el 2024 y el promedio histórico



Respecto a las temperaturas (Figura 4), los valores decádicos mensuales mantuvieron, en general, la tendencia del promedio del período 2002 - 2024, aunque con algunas variaciones. Durante los primeros 20 días de julio se registraron temperaturas medias 5 °C por debajo de los valores históricos, y hacia fines de agosto las temperaturas fueron 2 °C inferiores al promedio. Estas condiciones coincidieron con las etapas Z1.0 y Z2.0, lo que pudo haber ralentizado el crecimiento inicial del cultivo. En cambio, durante el período crítico, a finales de septiembre, la temperatura media fue 2 °C por encima del promedio histórico. De manera similar, durante el llenado de grano las temperaturas se mantuvieron elevadas respecto al promedio.

Figura 4

Temperaturas decádicas mensuales durante el período experimental del 2024 y para el promedio histórico



En cuanto a la humedad relativa durante el período de evaluación, los valores varían dentro de un rango de 56 a 95%. Dentro de cada mes se observa un patrón oscilante, con picos y caídas marcadas, probablemente a causa de las precipitaciones semanales que ocurrieron en el período. Durante el invierno (junio-agosto), predominaron las condiciones más húmedas, especialmente la primera quincena de julio. Mientras que en primavera (septiembre-noviembre), los valores se mantuvieron más constantes que en invierno, con episodios de alta humedad, debido a las frecuentes precipitaciones (Anexo).

En síntesis, durante todo el ciclo se registraron precipitaciones, aunque su distribución fue desigual. En la primera parte, las lluvias fueron escasas, mientras que a partir del período crítico del cultivo se volvieron más frecuentes y abundantes, particularmente en octubre. De este modo, el año 2024 se lo puede caracterizar como un ciclo con un inicio relativamente seco, seguido de una segunda mitad más cálida y húmeda.

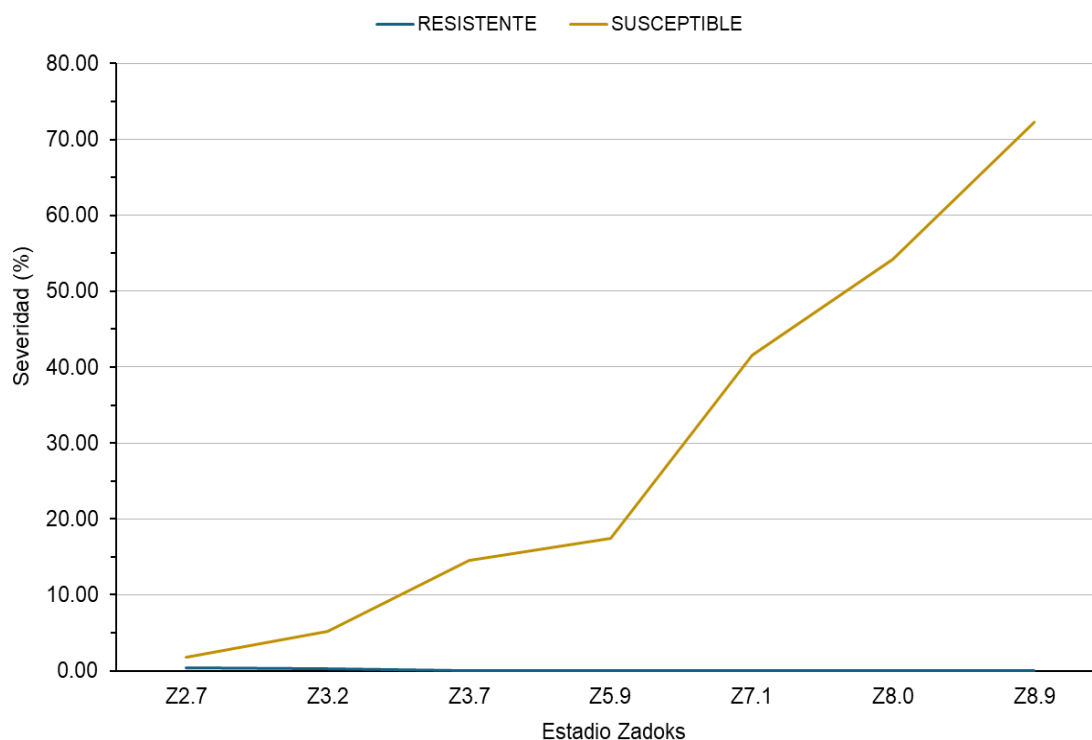
4.2 Ensayo de control genético

4.2.1 Evolución de la enfermedad

La enfermedad se detectó desde los primeros estadios fenológicos; sin embargo, la severidad aumentó de manera progresiva a lo largo del ciclo del cultivo, con un incremento marcadamente más acelerado en el cultivar susceptible. En este sentido, el testigo enfermo del cultivar susceptible presentó diferencias significativas respecto del testigo del cultivar resistente (Figura 5). En particular, a partir de los estadios Z2.5 - 2.7 se observó un aumento pronunciado de la severidad, alcanzando valores superiores al 70% en los estadios finales del ciclo, mientras que el cultivar resistente mantuvo niveles mínimos, por debajo del NC, 4% de severidad.

Figura 5

Evolución de la severidad de MRtr para el testigo enfermo de cada cultivar

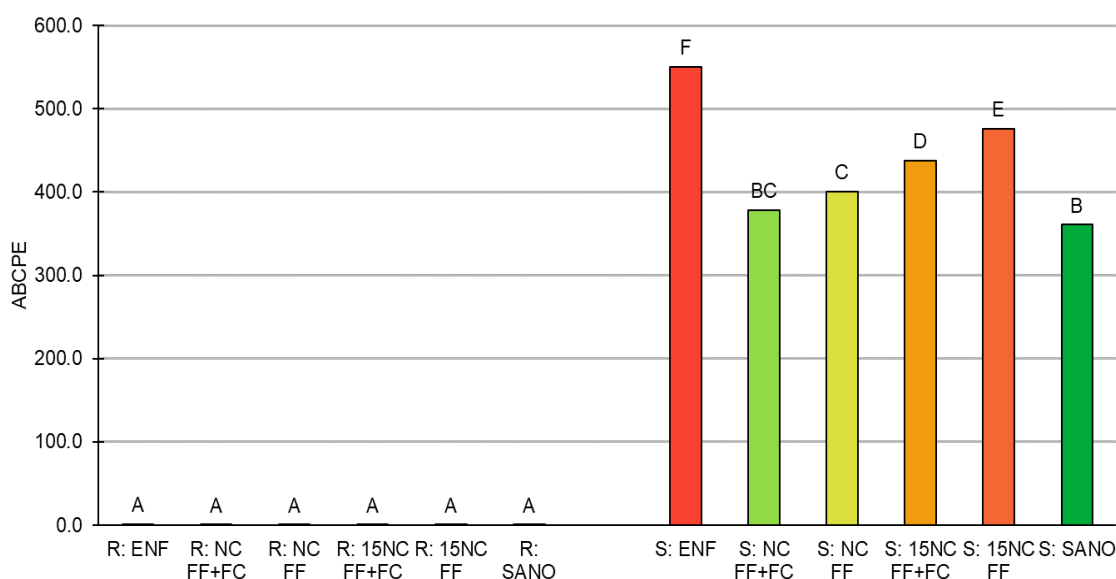


El aumento de la severidad coincidió con el incremento de la temperatura media y con mayores precipitaciones acumuladas durante el período de evaluación. Bajo estas condiciones, la enfermedad tendió a desarrollarse con mayor rapidez, especialmente cuando la temperatura superó los valores medios y las precipitaciones acumuladas excedieron el promedio histórico (Figuras 3 y 4). Asimismo, condiciones ambientales caracterizadas por temperaturas superiores a 15 °C y humedad relativa elevada, más de 10 horas de agua libre sobre la superficie foliar, resultan favorables para el desarrollo y la diseminación de la enfermedad (González et al., 2019; Pereyra et al., 2005).

Se observaron diferencias significativas, p -valor < 0,0001 (Tabla 3) para las variedades, los fungicidas y la interacción variedad por fungicida. Los cultivares evaluados presentaron diferentes comportamientos frente a MRtr en relación a la cantidad de enfermedad expresada como ABCPE (p -valor < 0,0001; Tabla 3; Figura 6). El cultivar con mejor comportamiento fue Osiris, mientras que Grace demostró comportamiento deficitario frente a la enfermedad. Estos resultados coinciden con lo presentado en las evaluaciones de INIA e INASE en 2024, y con resultados similares de Vahamidis et al. (2020).

Tabla 3*Análisis de varianza del ABCPE para el ensayo de control genético*

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
ABCPE	48	1,00	1,00	5,91	
<i>Análisis de la varianza (SC tipo III)</i>					
F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	2351555,07	14	167968,22	1018,82	<0,0001
Bloque	219,64	3	73,21	0,44	0,7231
Variedad	2251643,65	1	2251643,65	13657,52	<0,0001
Fungicida	50273,55	5	10054,71	60,99	<0,0001
Variedad*fungicida	49418,24	5	9883,65	59,95	<0,0001
Error	5440,54	33	164,86		
Total	2356995,61	47			

Figura 6*ABCPE por tratamiento de los cultivares evaluados en el ensayo de control genético*

Nota. R: cultivar resistente, S: cultivar susceptible, ENF: testigo enfermo, FF: fungicida foliar, FC: fungicida curasemilla, 15NC: aplicación 15 días pos NC. Medias con distinta letra indican diferencias significativas (Tukey: $p=0,05$).

Para la variedad resistente los valores de ABCPE fueron bajos en todos los tratamientos, sin observarse diferencias significativas entre estrategias de control ni el testigo sin aplicación (Figura 6). Este comportamiento refleja el aporte del componente genético en la disminución del progreso de la enfermedad, atenuando el impacto del momento de aplicación y del uso de curasemilla. La menor severidad registrada indica que, en variedades con resistencia genética, los mecanismos de defensa de la planta limitan el crecimiento y desarrollo del patógeno, y el control químico adquiere un rol complementario, lo que posibilita reducir el número de aplicaciones. Este resultado refuerza la importancia de integrar la resistencia varietal como una herramienta adicional dentro de estrategias de manejo más sustentables. Es importante señalar que los tratamientos correspondientes a la variedad resistente no requirieron aplicaciones

foliares, dado que no alcanzaron el nivel crítico de la enfermedad, a excepción del testigo sano al que se le efectuaron a tiempo fijo tres aplicaciones.

En la variedad susceptible, los tratamientos con la aplicación de fungicidas a NC presentaron valores de ABCPE significativamente menores en comparación con aquellos con aplicación 15 días post NC (Figura 6), lo que evidencia una mayor eficiencia del control cuando el fungicida se aplica en estados iniciales del desarrollo de la enfermedad. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Pereyra y Germán (2012), quienes señalan que, en cultivares altamente susceptibles a MRtr como Grace, la respuesta más efectiva se obtiene cuando fungicidas con elevada eficiencia y residualidad (mezclas de triazoles y estrobilurinas) se aplican al inicio de las epidemias.

En las aplicaciones a NC, no se observaron diferencias significativas en el nivel de enfermedad entre los tratamientos con y sin curasemilla, lo que indica que, bajo estas condiciones, su uso no aporta beneficios adicionales al control logrado con el fungicida foliar. En cambio, cuando las aplicaciones se realizaron 15 días post NC, la incorporación del curasemilla permitió reducir significativamente el progreso de la enfermedad, evidenciando un efecto complementario sobre el control de la MRtr. Estos resultados sugieren que el momento de aplicación del fungicida foliar ejerce una mayor influencia que el uso del curasemilla sobre el control de la MRtr en variedades susceptibles. En concordancia, resultados similares fueron reportados por Erreguerena y Quiroz (2016), quienes observaron que una única aplicación tardía en Z3.9 no fue suficiente para controlar enfermedades foliares como la MRtr; sin embargo, cuando las aplicaciones tardías se combinaron con el uso de curasemilla, el control mejoró significativamente. González et al. (2019) concluyeron que la mezcla de curasemilla a base de fluxaproxad + triticonazol, utilizada también en el ensayo, mantiene una residualidad efectiva hasta el estadio fenológico Z3.0 en un cultivar de cebada susceptible a Ptt.

Al testigo sano de la misma variedad, al que se le realizaron tres aplicaciones a partir del NC, tuvo un resultado similar al tratamiento con curasemilla y aplicación foliar a NC. A su vez, este último presentó un resultado parecido al tratamiento sin curasemilla con aplicación foliar a NC. Esto refuerza la importancia de realizar aplicaciones tempranas, al momento del NC indicado por González et al. (2021), dado que ayuda a reducir tanto la enfermedad como el número de aplicaciones durante el ciclo del cultivo.

Los resultados anteriormente descritos pueden explicarse en parte por las condiciones ambientales registradas durante el período de evaluación. En torno a Z5.9, las temperaturas y las precipitaciones acumuladas fueron por encima de la media (Figura 3 y 4), lo que pudo haber favorecido el desarrollo más intenso de la enfermedad (Figura 5). En este contexto, la enfermedad se desarrolla paulatinamente los primeros 7 días post aplicación para ambos momentos de aplicación, para luego avanzar con mayor velocidad (Figura 5). Esta explosión en la epidemia pudo haber reducido el control de los fungicidas, los cuales no fueron capaces de minimizar el impacto de la enfermedad debido al momento de aplicación de los tratamientos y a su residualidad. Además, el menor control de MRtr podría atribuirse a las características de los fitosanitarios usados. La piraclostrobina no tiene sistemía, por lo que presenta limitaciones para controlar infecciones en tejido nuevo (Bartlett et al., 2002). Por su

parte, fluxaproxad presenta mayor eficacia cuando se aplica de manera preventiva (Avenot & Michailides, 2010; Semar et al., 2011). En evaluaciones similares, la mezcla mostró un buen control de la MR cuando se aplicó dentro de las 24 horas posteriores a la inoculación; sin embargo, en el presente ensayo las aplicaciones se realizaron varios días después del inicio de la infección, lo que explicaría la menor eficiencia observada (Mejía, 2014). Por consiguiente, en cultivares muy susceptibles a MRtr y en condiciones ambientales favorables para su desarrollo, se debería aplicar en los primeros síntomas o un NC menor al sugerido por González et al. (2021).

4.2.2 Rendimiento

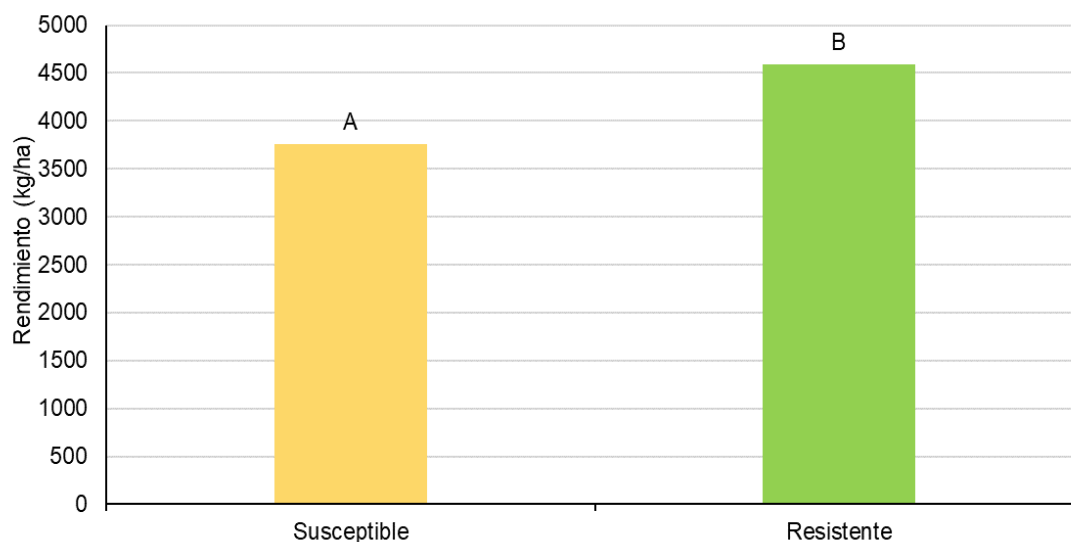
La variedad fue el único factor que afectó significativamente el rendimiento (p -valor $< 0,0001$), donde la variedad resistente resultó en un mayor rendimiento en comparación a la variedad susceptible, habiendo una diferencia del 18% explicada parcialmente por el efecto variedad (Figura 7; Tabla 4). Estos resultados son congruentes con los reportados por McLean y Hollaway (2019), quienes observaron mermas de hasta un 23% en el rendimiento a causa del mismo patógeno. Khan (1987) demostró que la MRtr afecta el rendimiento tanto en etapas tempranas (Z1.4 - Z1.6) como tardías (Z7.5). No obstante, el autor señala que las infecciones iniciales tienen un impacto menor en el rendimiento en comparación con aquellas que se desarrollan hacia el fin de ciclo.

Tabla 4

Análisis de varianza del rendimiento (kg/ha) para el ensayo de control genético

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Rendimiento	48	0,64	0,49	10,29	
<i>Análisis de varianza (SC tipo III)</i>					
F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	10938597,34	14	781328,38	4,24	0,0003
Bloque	247045,05	3	82348,35	0,45	0,7214
Variedad	8270701,46	1	8270701,46	44,84	<0,0001
Fungicida	1997068,06	5	399413,61	2,17	0,0819
Variedad*fungicida	423782,78	5	84756,56	0,46	0,8033
Error	6086268,28	33	184432,37		
Total	17024865,61	47			

Figura 7
Rendimiento (kg/ha) en función de la variedad



Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas (Tukey: $p=0,05$).

El rendimiento en grano está determinado por el número de espigas por superficie, el número de granos por espiga y el peso individual de los granos, siendo este último el más afectado por las condiciones ambientales. Si bien existe cierto grado de compensación entre componentes, luego de anthesis el número de granos queda definido y el rendimiento final depende de condiciones favorables durante el llenado, ya que en esta etapa se define el peso final del grano (García, 1994). Considerando que el rendimiento integra distintos componentes, analizar el PMG permite detectar efectos que no se reflejan necesariamente en el rendimiento total. El PMG presentó diferencias significativas en el factor fungicida y la interacción variedad por fungicida (Tabla 5).

Tabla 5
Análisis de varianza de PMG (g) para el ensayo de control genético

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
PMG	48	0,60	0,43	4,88	
<i>Análisis de varianza (SC tipo III)</i>					
F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	260,58	14	18,61	3,54	0,0014
Bloque	39,64	3	13,21	2,51	0,0754
Variedad	6,09	1	6,09	1,16	0,2895
Fungicida	119,22	5	23,84	4,54	0,0029
Variedad*fungicida	95,63	5	19,13	3,64	0,0099
Error	173,44	33	5,26		
Total	434,02	47			

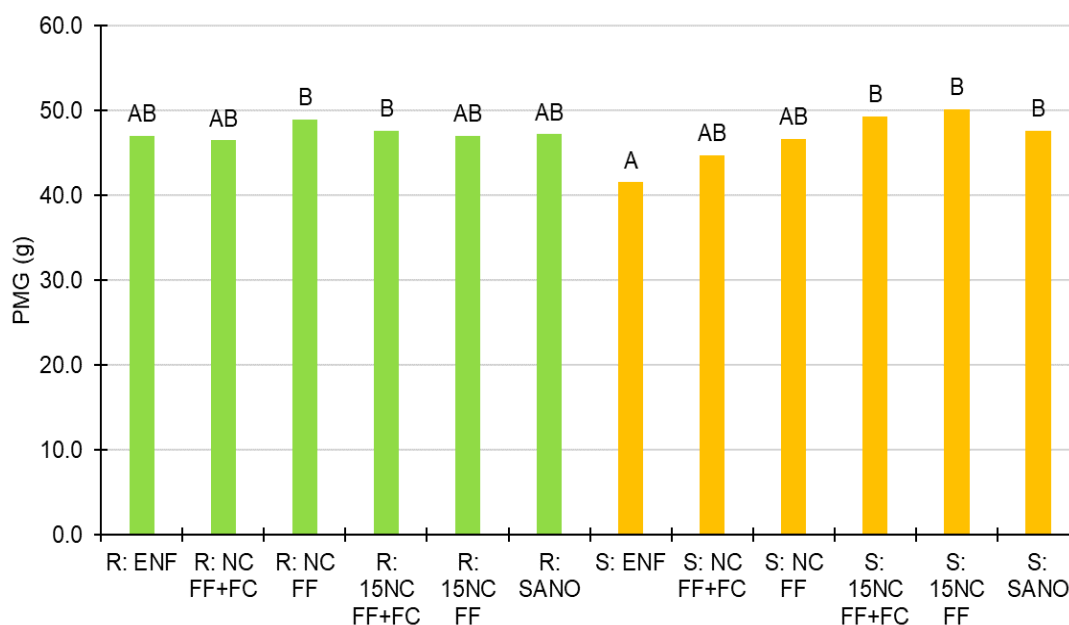
La enfermedad se desarrolla más rápido durante el estado fenológico de anthesis (Figura 6), etapa en la que ocurre el cuajado de granos y se define el número de granos/m², período crítico para el cultivo (García, 1994; Rawson & Macpherson, 2001). El proceso de cuajado puede verse comprometido, si la planta destina parte de sus reservas a frenar el avance de la enfermedad, reduciendo así el número de granos/m². No obstante, pudo haber ocurrido un fenómeno compensatorio entre los componentes

del rendimiento, ante una menor cantidad de granos, la planta podría haber incrementado el peso de estos. Este comportamiento explicaría por qué el PMG no mostró variaciones significativas entre variedades (Tabla 5), mientras que sí se observaron diferencias en el rendimiento.

El testigo enfermo del cultivar susceptible presentó valores de PMG que no difirieron del resto de los tratamientos evaluados (Figura 8). Sin embargo, el cultivar resistente sin aplicación de fungicidas presenta diferencias significativas con algunos de los tratamientos con curasemilla y fungicida foliar. Esto podría deberse al mayor desarrollo de la enfermedad en los últimos estadios del cultivo (Figura 6). Los resultados concuerdan con los obtenidos en la ENC para la zafra 2017 - 2018 (INIA & INASE, 2018).

Figura 8

PMG (g) promedio por tratamiento para ambos cultivares en el ensayo de control genético



Nota. R: cultivar resistente, S: cultivar susceptible, ENF: testigo enfermo, FF: fungicida foliar, FC: fungicida curasemilla, 15NC: aplicación 15 días pos NC. Medias con distinta letra indican diferencias significativas (Tukey: $p=0,05$).

En base a lo reportado por Vahamidis et al. (2020), la elevada severidad de la variedad Grace durante el llenado de grano, respecto a los demás cultivares que evaluaron, resultó en una merma significativa en el rendimiento, particularmente debido a la reducción del PMG. Khan (1987) reportó que cuando el PMG disminuía significativamente, en consecuencia, el rendimiento disminuía entre un 25 y 33%. En coincidencia Vahamidis et al. (2020), determinó que, en antesis, cuando había una diferencia de 32,5% de severidad, el PMG disminuía un 18%. En este ensayo, no se observaron diferencias entre variedades, las pérdidas en PMG variaron entre un 7 y 9% respecto al tratamiento testigo de la variedad.

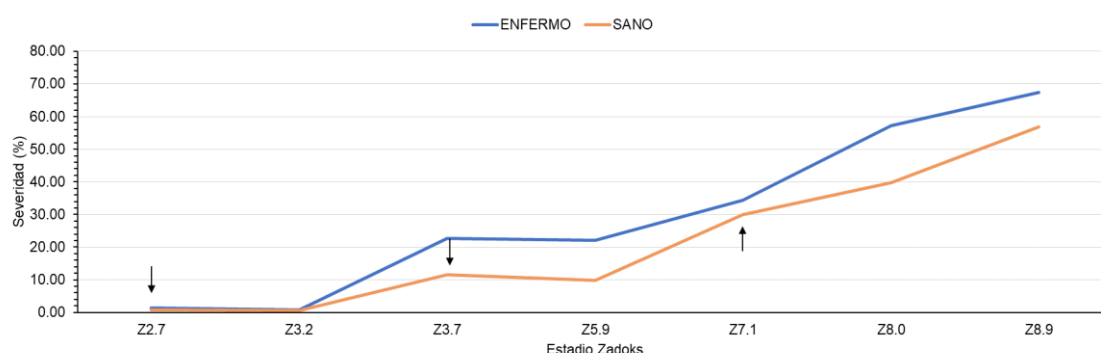
4.3 Ensayo de control químico

4.3.1 Evolución de la enfermedad

Se detectaron los primeros síntomas de la enfermedad a partir de Z2.7; no obstante, la severidad se intensificó de manera progresiva a lo largo del ciclo del cultivo luego de Z3.2. En este contexto, el testigo enfermo presentó un aumento de severidad más marcado en comparación con el testigo sano, el cual presentó aplicación en Z2.7, Z3.7 y Z7.1 (Figura 9). A partir del estadio Z5.9, se observó un aumento pronunciado de la severidad, alcanzando al final del ciclo valores superiores al 60 y 50% en el testigo enfermo y sano respectivamente. Al igual que lo observado en el ensayo de control genético, este aumento de la severidad coincidió con las condiciones climáticas registradas durante el período de evaluación, caracterizado por temperaturas y precipitaciones favorables para el desarrollo de la MRtr (Figura 3 y 4).

Figura 9

Evolución de la severidad para los tratamientos testigos del ensayo de control químico



Nota. Las flechas indican los momentos de aplicación en el tratamiento testigo sano.

En relación a la cantidad de MRtr, los tratamientos se diferenciaron de forma significativa (p -valor $< 0,0001$; Tabla 6). El testigo enfermo y el sano se diferenciaron significativamente del resto de los tratamientos (p -valor $0,0001$; Tabla 7).

Tabla 6

Análisis de varianza de ABCPE para el ensayo de control químico

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
ABCPE	56	0,73	0,62	7,33	
<i>Análisis de varianza (SC tipo III)</i>					
F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	125105,10	16	7819,07	6,53	<0,0001
Bloque	246,57	3	82,19	0,07	0,9763
Tratamiento	124858,53	13	9604,50	8,02	<0,0001
Error	46725,83	39	1198,10		
Total	171830,94	55			

Tabla 7
Contrastes del ensayo de control químico

Tratamiento	F	p-valor
Enfermo vs resto	21,61	<0,0001
Sano vs resto	22,29	<0,0001
Temprano vs tardío	28,65	<0,0001
Innovador vs tecnológico	11,97	0,0013
Tecnológico vs integrador	5,78	0,0211
Innovador, momento	11,14	0,0019
Integrador, momento	17,14	0,0002
Innovador, curasemilla	8,69	0,0054
Sin curasemilla, momento	8,83	0,0051
Con curasemilla, momento	21,14	<0,0001

Al analizar los grupos de manejo, se observaron diferencias significativas entre el grupo innovador y el tecnológico, registrándose valores de ABCPE significativamente menores en el primero (p-valor = 0,0013). Este resultado indica que determinadas prácticas innovadoras lograron diferenciarse del testigo enfermo, evidenciando la existencia de alternativas para el manejo de la enfermedad, complementarias a las prácticas ya validadas tecnológicamente.

Asimismo, el contraste entre el grupo integrador y el tecnológico también resultó significativo (p-valor = 0,0211), siendo más eficaz el grupo integrador en el control de la enfermedad. En cambio, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos innovador e integrador (p-valor = 0,2979). Estos dos grupos tienen en común la utilización de un mismo bioestimulante foliar aplicado en conjunto con el fungicida.

Para este trabajo, los tratamientos aplicados una vez alcanzado el NC (aplicación temprana), presentaron diferencias significativas en comparación con aquellos en los que se aplicó 15 días después (p-valor <0,0001; Tabla 7). Estas diferencias podrían explicarse, al menos en parte, por el efecto de las condiciones ambientales durante el período de evaluación (Figura 3 y 4) y por el comportamiento sanitario del cultivar. Al analizar por grupos, para el innovador, el momento de aplicación tuvo un efecto significativo, con menores valores de ABCPE en las aplicaciones tempranas respecto a las tardías (p-valor = 0,0019). Asimismo, en el grupo integrador, se detectaron diferencias significativas a favor de aplicaciones tempranas (p-valor = 0,0002; Tabla 7).

La inclusión de curasemilla en los tratamientos innovadores presentaron diferencias significativas, indistintamente del momento de aplicación, siendo menor el ABCPE en los tratamientos que incluyeron esta práctica (p-valor = 0,0054). Al considerar todos los tratamientos sin curasemillas, se registraron diferencias significativas entre los que realizaban aplicaciones tempranas versus tardías (p-valor = 0,0051; Tabla 7). Sin embargo, sucede lo mismo con la utilización de curasemilla (p-valor < 0,0001; Tabla 7). Estos resultados, recalcan la importancia de realizar aplicaciones tempranas, considerando el NC; siendo el momento un factor clave para el control de la MRtr sobre todo en materiales susceptibles.

En este trabajo la severidad se redujo en un 30% al comparar al testigo enfermo con el testigo sano, al cual se le efectuaron tres aplicaciones de bioestimulante Armurox junto con el fungicida en Z2.7, Z3.7 y Z7.1. Tubana et al. (2017) en estudios previos realizados en roya del trigo, observaron que la severidad se redujo en aproximadamente un 20% al realizar tres aplicaciones foliares de Armurox a 2L/ha, sin embargo, no se registraron diferencias significativas en el rendimiento del grano. En este trabajo, el testigo enfermo también logró diferenciarse de algunos de los tratamientos (p-valor <0,0001, Tabla 7) por lo que sugiere que la utilización de curasemilla, consideración del NC para la aplicación foliar de fungicidas y la incorporación de bioestimulantes ayudaría en el control de MRtr.

La baja diferencia de ABCPE entre las medias de los tratamientos de los grupos de manejo en relación al tratamiento sin aplicación, testigo enfermo, indica que hubo una presión elevada de la enfermedad, donde una sola aplicación a NC no fue suficiente para frenar el progreso de la epidemia. En los tratamientos evaluados, la eficiencia de control (EC) de los fitosanitarios osciló entre 4,1% y 29,6% (Figura 10). Estos valores resultaron inferiores a los reportados por Pereyra y González (2024) para los mismos fungicidas evaluados en este ensayo, quienes informaron una alta eficiencia de control. La menor EC observada podría estar asociada a las condiciones climáticas registradas durante el ciclo del cultivo, caracterizadas por temperaturas y humedad relativa superiores al promedio histórico, lo que favoreció una alta presión de infección en todos los tratamientos y dificultó el control efectivo de la enfermedad.

Tabla 8

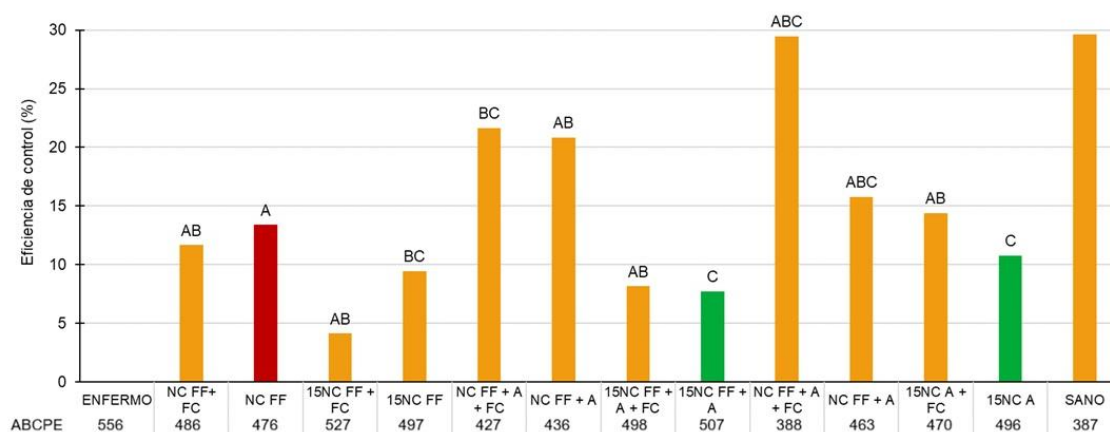
Análisis de varianza de la EC (%) de fitosanitarios del ensayo de control químico

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EC	52	0,86	0,81	41,05

<i>Análisis de varianza (SC tipo III)</i>					
F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	8796,46	15	586,43	15,15	<0,0001
Bloque	5661,76	3	1887,25	48,77	<0,0001
Tratamiento	3134,20	12	261,23	6,75	<0,0001
Error	1393,20	36	38,70		
Total	10189,66	51			

Figura 10

% EC de los fitosanitarios por tratamiento en el ensayo de control químico



Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas (Tukey: $p=0,05$).

El ANAVA de la EC presentó diferencias significativas entre tratamientos (p -valor $< 0,0001$; Tabla 8), así como entre los momentos de aplicación temprana y tardía (Figura 10). Dentro de los tratamientos de control temprano, el tratamiento del grupo innovador con el bioestimulante curasemilla Optimus se diferenció significativamente del resto, mientras que entre los de control tardío no se detectaron diferencias significativas (Figura 10). Estos resultados refuerzan aún más la importancia de la aplicación temprana combinada con el uso de curasemilla y mezclas adecuadas de fitosanitarios, como una estrategia para mejorar el control de la MRtr.

4.3.2 Rendimiento

Para esta variable no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (p -valor $> 0,05$; Tabla 9). El modelo resultó no significativo y su ajuste fue bajo ($R^2 = 0,31$), lo que sugiere que los factores evaluados explicaron una proporción baja de la variabilidad observada en el rendimiento.

Tabla 9

Análisis de varianza del rendimiento (kg/ha) para el ensayo de control químico

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
Rendimiento	56	0,31	0,03	12,40	
<i>Análisis de varianza (SC tipo III)</i>					
F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	3984273,50	16	249017,09	1,10	0,3873
Bloque	1080040,87	3	360013,62	1,59	0,2070
Tratamiento	2904232,63	13	223402,51	0,99	0,4807
Error	88223636,89	39	226247,10		
Total	12807910,39	55			

5 Conclusiones

Las estrategias de manejo químico para el control de MRtr en el cultivo de cebada evaluadas mostraron que el cultivar resistente mantuvo valores bajos de ABCPE, independientemente del uso de curasemilla y del momento de aplicación, lo que indica que la resistencia genética limita eficazmente el desarrollo de la enfermedad. En contraste, en el cultivar susceptible, las aplicaciones de fungicidas realizadas una vez alcanzado el NC resultaron significativamente más eficientes que las aplicaciones tardías, demostrando la importancia crítica del momento de intervención en el manejo químico de la MRtr. Además, el uso de fungicidas curasemillas contribuyó a reducir el progreso de la enfermedad, siendo una herramienta complementaria dentro del manejo.

No obstante, una sola aplicación en condiciones altamente predisponentes para el desarrollo de la enfermedad no resulta suficiente para frenar su progreso ni para evitar pérdidas de rendimiento en cultivares susceptibles. En este sentido, la respuesta a las estrategias de control depende marcadamente del comportamiento sanitario del cultivar, lo que refuerza la necesidad de ajustar las decisiones de manejo en función del material genético utilizado.

En relación a la incorporación de prácticas de manejo innovadoras como el uso de fungicidas curasemilla, fungicidas foliares y/o bioestimulantes en un cultivar susceptible a Ptt presentó diferentes resultados en el control de MRtr. La aplicación de un bioestimulante como curasemilla, fungicida curasemilla y/o la combinación de fungicida foliar más bioestimulante a NC de MRtr, lograron reducir significativamente la severidad de la enfermedad, en comparación con los tratamientos tecnológicos. No obstante, la eficiencia de control alcanzada fue baja, lo que indica que, si bien las estrategias evaluadas muestran potencial, su desempeño aún resulta insuficiente bajo las condiciones del estudio, muy predisponentes para MRtr. En este sentido, estos resultados sugieren que la integración de bioestimulantes dentro de los esquemas de manejo químico puede potenciar la eficiencia del control, contribuyendo a una reducción de la presión de selección sobre los fungicidas. Los resultados obtenidos destacan la importancia de adoptar un enfoque integral para el manejo de la MRtr, que contemple la integración de herramientas químicas, así como el comportamiento sanitario del cultivar, permitiendo optimizar la eficiencia del control.

En futuras investigaciones, sería conveniente evaluar las estrategias de manejo en más de una zafra, considerando el efecto año, dado que las condiciones ambientales influyen fuertemente en la dinámica epidemiológica de la MRtr. Asimismo, resultaría pertinente analizar diferentes momentos de aplicación en función del NC y de la evolución de la enfermedad, con el fin de optimizar el momento de intervención. Finalmente, profundizar en el estudio de la presencia de patotipos con sensibilidad reducida o resistencia a fungicidas, particularmente en relación al uso repetido de los fitosanitarios evaluados, en línea con las recomendaciones de la FRAC.

6 Bibliografía

- Agrios, G. N. (2005). *Plant Pathology* (5th ed.). Elsevier.
- Akhavan, A., Strelkov, S., Askarian, H., Kher, S., Fraser, M., Kutcher, H., & Turkington, K. (2017). Sensitivity of western Canadian *Pyrenophora teres* f. *teres* and *P. teres* f. *maculata* isolates to propiconazole and pyraclostrobin. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 39(1), 11-24.
<https://doi.org/10.1080/07060661.2017.1282541>
- Álvarez Canelo, L. A. (2023). *Evaluación del efecto de diferentes productos químicos y bioestimulantes en cuanto al rendimiento, calidad y desarrollo del cultivo de cebada maltera (Hordeum vulgare) en la zona de bajío mexicano* [Trabajo final de grado, Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra]. RI TecNM.
<https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/6588/1/AG15110015%20LUIS%20ANTONIO%20ALVAREZ%20CANELO.pdf>
- Armurox®: *Barrera activa de Silicio + L-α-aminoácidos*. (s.f.). Brometan.
<https://brometan.com.ar/wp-content/uploads/2024/12/FICHA-TECNICA-ARMUROX.pdf>
- Avenot, H. F., & Michailides, T. J. (2010). Progress in understanding molecular mechanisms and evolution of resistance to succinate dehydrogenase inhibiting (SDHI) fungicides in phytopathogenic fungi. *Crop Protection*, 29(7), 643-651.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.02.019>
- Backes, A., Guerriero, G., Ait Barka, E., & Jacquard, C. (2021). *Pyrenophora teres*: Taxonomy, morphology, interaction with barley, and mode of control. *Frontiers in Plant Science*, 12, Artículo e614951.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.614951>
- Bartlett, D. W., Clough, J. M., Godwin, J. R., Hall, A. A., Hamer, M., & Parr-Dobrzanski, B. (2002). The strobilurin fungicides. *Pest Management Science*, 58(7), 649-662. <https://doi.org/10.1002/ps.520>
- Baxter, B., Lopez-Ruiz, F., Chang, S., Turo, C., Mair, W., Dodhia, K., Zulak, K., Poole, N., Park, R., Chhetri, M., Williams, M., Ovenden, B., Milgate, A., & Simpfendorfer, S. (2025). NSW fungicide resistance update: Status of cereal pathogens. En R. Raymond (Ed.), *Corowa GRDC Grains Research Update 2025* (pp. 16-29). GRDC.
https://grdc.com.au/_data/assets/pdf_file/0034/617929/Combined-papers-Corowa-2025-web.pdf#page=1.00
- Botta, A., García-Gutiérrez, L., & Pérez-García, A. (2012). Evaluación del producto Armurox® como inductor de defensas en melón frente a oídio de cucurbitáceas. En E. Arrebola, F. M. Cazorla, A. Pérez, D. F. Romero, & J. A. Torés (Eds.), *XVI Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología* (p. 272). Grontal Soluciones Biotecnológicas; SEF.
- Botta, A., Sierras, N., Marín, C., Carrión, M., & Piñol, R. (2011). Powdery mildew protection with Armurox: An improved strategy for silicon application. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 1, 1032-1039.
<https://pdfs.semanticscholar.org/f47e/e4188fa9abb5366e1944f2fa6bde9702a164.pdf>

- Cacique, I., Dominiciano, G., Moreira, W., Rodrigues, F., Cruz, M. F., Sierras, N., & Botta, A. (2013). Effect of root and leaf applications of soluble silicon on blast development in rice. *Bragantia*, 72(3), 304-309. <http://dx.doi.org/10.1590/brag.2013.032>
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1-2), 3-41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- Cantou, G. (Comp.). (2013). *Guía de buenas prácticas agrícolas: Para sistemas con agricultura de secano en Uruguay*. MGAP; MTO; Mesa Nacional de Entidades de Cebada Cervecera; Mesa Nacional de Trigo. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/Guia%20de%20buenas%20practicas%20agricolas%20en%20agricultura%20de%20secano%20-%20MGAP.pdf>
- Carabet, A., Grozea, I., Manea, D., Cotuna, O., Scedei, D., Iamandei, M., & Stef, R. (2023). *Pyrenophora teres*, host-pathogen interaction in barley under some seed treatment conditions. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 66(2), 161-166. https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2023/issue_2/Art20.pdf
- Carmona, M., & Sautua, F. (2022). *Confirmación de multiresistencia a fungicidas carboxamidas, estrobilurinas y cyproconazole del agente causal de la mancha en red (Pyrenophora teres f. teres) en Argentina: Causas y recomendaciones de manejo*. Universidad de Buenos Aires. <https://cebadacervecera.com.ar/wp-content/uploads/2022/05/Cebada-Sanidad-Resistencia-Mancha-en-red-2022.pdf>
- Castro, A., Castro, M., & Germán, S. (2017). Cambios en la oferta varietal de cebada: Desafíos para la producción. *Cangüé*, (38), 6-12. <https://inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/Cangue-n8017.p-Castro-et-al.pdf>
- Castro, M., Germán, S., Silva, P., & Pereyra, S. (2025). *Caracterización sanitaria de cultivares de cebada y trigo*. INIA. https://inia.uy/sites/default/files/pdf/Caracterizaci%C3%B3n%20sanitaria%2024%20pub%202025_2.pdf
- Ceretta, S., & Van Eeuwijk, F. (2008). Grain yield variation in malting barley cultivars in Uruguay and its consequences for the design of a trials network. *Crop Science*, 48(1), 167-180. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2135/cropsci2006.06.0428>
- Condón, F., & Germán, S. (2005). casos de uso de recursos genéticos en programas de mejoramiento de cereales de invierno en Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 9(1-2), 215-219. <http://www.acuedi.org/ddata/5612.pdf>
- Dahanayaka, B. A., Vaghefi, N., Knight, N. L., Bakonyi, J., Prins, R., Seress, D., Snyman, L., & Martin, A. (2021). Population structure of *Pyrenophora teres* f. *teres* barley pathogens from different continents. *Phytopathology*, 111(11), 2118-2129. <https://doi.org/10.1094/phyto-09-20-0390-r>
- Detección de multiresistencia a fungicidas de la mancha en red en cebada*. (2022, 1 de junio). Aapresid. <https://www.aapresid.org.ar/blog/deteccion-multiresistencia-fungicidas-mancha-red-cebada>

- Duczek, L. J., Sutherland, K. A., Reed, S. L., Bailey, K. L., & Lafond, G. P. (1999). Survival of leaf spot pathogens on crop residues of wheat and barley in Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 21(2), 165-173. <https://doi.org/10.1080/07060669909501208>
- Erreguerena, I., & Quiroz, F. (2016). *Impacto de las enfermedades foliares sobre la producción de la cebada: Tácticas de protección, criterios de aplicación y estrategias anti resistencia*. INTA. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/19716>
- European Biostimulants Industry Council. (s.f.) *Plant Biostimulants*. <https://biostimulants.eu/plant-biostimulants/>
- Fowler, R., Platz, G., Bell, K., Fletcher, S., Franckowiak, J., & Hickey, L. (2017). Pathogenic variation of *Pyrenophora teres* f. *teres* in Australia. *Australasian Plant Pathology*, 46(2), 115-128. <https://doi.org/10.1007/s13313-017-0468-1>
- Fungicide Resistance Action Committee. (2022a). *SBI Fungicides*. <https://www.frac.info/frac-teams/working-groups/sbi-fungicides/>
- Fungicide Resistance Action Committee. (2022b). *SDHI Fungicides*. <https://www.frac.info/frac-teams/working-groups/sdhi-fungicides/#open-tour>
- Fungicide Resistance Action Committee. (2024). *QoI Fungicides*. <https://www.frac.info/frac-teams/working-groups/qi-fungicides/qoi-fungicides/>
- Gamba, F., & Tekauz, A. (2011). Especialización fisiológica de una población local de *Pyrenophora teres* f. sp. *teres*. *Agrociencia (Uruguay)*, 15(1), 50-54. <https://agrocienciauruguay.uy/index.php/agrociencia/article/view/610/632>
- Gamba, F., Šišić, A., & Finckh, M. R. (2021). Continuous variation and specific interactions in the *Pyrenophora teres* f. *teres*–barley pathosystem in Uruguay. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128(2), 421-429. <https://www.jstor.org/stable/48768533>
- García, A. (1994). *Manejo del nitrógeno para aumentar productividad en trigo*. INIA <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2960/1/15630231007160012.pdf>
- Ghannoum, M. A., & Rice, L. B. (1999). Antifungal agents: Mode of action, mechanisms of resistance, and correlation of these mechanisms with bacterial resistance. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 501-517. <https://doi.org/10.1128/cmr.12.4.501>
- Giavini, E., & Menegola, E. (2010). Are azole fungicides a teratogenic risk for human conceptus? *Toxicology Letters*, 198(2), 106-111. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2010.07.005>
- Gisi, U., Sierotzki, H., Cook, A., & McCaffery, A. (2002). Mechanisms influencing the evolution of resistance to Qo inhibitor fungicides. *Pest Management Science*, 58(9), 859-867. <https://doi.org/10.1002/ps.565>
- Gómez, B. (2013, julio). Importancia de la cebada cervecera malteada para el Uruguay: Una exportación con industrialización nacional. *El País*. https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/doc_num.php?explnum_id=757

- González, S. (2011). Patología de semillas en trigo y cebada. En S. Pereyra, M. Díaz de Ackermann, S. Germán, & K. Cabrera (Eds.), *Manejo de enfermedades en trigo y cebada* (pp. 63-73). INIA.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2534/1/18429160911193955.pdf>
- González, S. (2015). *Evaluación de productos curasemillas para el control de Pyrenophora teres en semillas de cebada y Fusarium spp. en semillas de trigo*.
<https://www.calister.com.uy/wp-content/uploads/2017/02/INIA-Calister-Resultado-Invierno-2015.pdf>
- González, S. (2021). Avances: Bioestimulantes del crecimiento vegetal como complemento del tratamiento químico para el control de *Pyrenophora teres f. teres* en semillas de cebada. *Revista INIA*, (67), 41-45.
<https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/Revista-INIA-67-Dic-2021-11.pdf>
- González, S., Pereyra, S., & González, N. (2021). *Caracterización de curasemillas evaluados para el control de patógenos causales de enfermedades en trigo y cebada en base a su transmisión de semilla a plántula*. INIA.
<https://inia.uy/sites/default/files/pdf/Caracterizacion%20CURASEMILLAS%202021.pdf>
- González, S., Rossi, C., & Pereyra, S. (2019). Sanidad de semillas de trigo y cebada: Eslabón clave en el manejo de enfermedades. *Revista INIA*, (56), 57-61.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12599/1/Revista-INIA.2019.-n.56-p.-57-61..pdf>
- Graner, A., Foroughi-Wehr, B., & Tekauz, A. (1996). RFLP mapping of a gene in barley conferring resistance to net blotch (*Pyrenophora teres*). *Euphytica*, 91, 229-234.
<https://doi.org/10.1007/BF00021075>
- Howell, H. N., & Andrews, K. L. (1987). *Utilización de prácticas culturales en manejo integrado de plagas*. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6899/pr%C3%A1cticas_culturales?sequence=1
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria & Instituto Nacional de Semillas. (2018). *Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivos de cebada cervecera: Período 2017*. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/9378/1/PubCebadaPeriodo2017.pdf#page=51.06>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria & Instituto Nacional de Semillas. (2024). *Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivos de cebada: Período 2023*. https://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_CI/Ano2023/PubCebadaPeriodo2023.pdf
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria & Instituto Nacional de Semillas. (2025). *Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivos de cebada: Período 2024*. https://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_CI/Ano2024/PubCebadaPeriodo2024.pdf
- Jalakas, P., Tulva, I., Kangor, T., Sooväli, P., Rasulov, B., Tamm, Ü., Mati, K., Hannes, K., & Merilo, E. (2018). Gas exchange-yield relationships of malting barley genotypes treated with fungicides and biostimulants. *European Journal of Agronomy*, 99, 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.07.001>

- Jalli, M. (2011). Sexual reproduction and soil tillage effects on virulence of *Pyrenophora teres* in Finland. *Annals of Applied Biology*, 158(1), 95-105. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2010.00445.x>
- Khan, T. N. (1987). Relationship between net blotch (*Drechslera teres*) and losses in grain yield of barley in Western Australia. *Australian Journal Agricultural Research*, 38(4), 671-679. <https://doi.org/10.1071/AR9870671>
- Lammari, H., Rehus, A., Stammler, G., & Benslimane, H. (2020). Sensitivity of the *Pyrenophora teres* population in Algeria to quinone outside inhibitors, succinate dehydrogenase inhibitors and demethylation inhibitors. *Plant Pathology Journal*, 36(3), 218-230. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.09.2019.0237>
- Larran, S. (2022). Cebada cervecera: Manejo de enfermedades. En M. R. Simón & S. I. Golik (Coords.), *Cereales de invierno* (pp. 345-371). Universidad Nacional de La Plata. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/156675/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Liu, Z., Ellwood, S. R., Oliver, R. P., & Friesen, T. L. (2010). *Pyrenophora teres*: Profile of an increasingly damaging barley pathogen. *Molecular Plant Pathology*, 12(1), 1-19. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00649.x>
- Los productos biológicos avanzan en los cultivos extensivos del Mercosur. (2020). *Revista Verde*, (87), 54. <https://drive.google.com/file/d/1oEWJ3vIppXADpUvzIdNyVGwmUUuoG4tj/view?usp=sharing>
- Mair, W. J., Deng, W., Mullins, J. G. L., West, S., Wang, P., Besharat, N., Ellwood, S. R., Oliver, R. P., & Lopez-Ruiz, F. J. (2016). Demethylase inhibitor fungicide resistance in *Pyrenophora teres* f. sp. *teres* associated with target site modification and inducible overexpression of *Cyp51*. *Frontiers in Microbiology*, 7, Artículo e1279. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01279>
- McLean, M., & Hollaway, G. (2019). Control of net form of net blotch in barley from seed-and foliar-applied fungicides. *Crop and Pasture Science*, 70(1), 55-60. <https://doi.org/10.1071/CP18142>
- McLean, M., Wepler, R., Howlett, B., & Hollaway, G. (2016). Spot form of net blotch suppression and yield of barley in response to fungicide application in the Wimmera region of Victoria, Australia. *Australasian Plant Pathology*, 45(1), 37-43. <https://doi.org/10.1007/s13313-015-0387-y>
- Mejía, C. A. (2014). *Estudio de la sensibilidad de aislados de Drechslera teres a diferentes fungicidas en cebada* [Tesis de maestría, Universidad de Buenos Aires]. FAUBA Digital. <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/maestria/2019mejiaalvarezcarlosandres.pdf>
- Mejía, C. A., Sautua, F. J., & Carmona, M. A. (2024). Sensitivity of Argentine *Pyrenophora teres* f. *teres* isolates to different fungicide mixtures. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 57(3), 219-236. <https://doi.org/10.1080/03235408.2024.2350719>
- Melgarejo Nárdiz, P., García-Jiménez, J., Jordá Gutiérrez, M. C., López González, M. M., Andrés Yeves, M. F., & Duran-Vila, N. (Coords.). (2010). *Patógenos de plantas descritos en España*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. <http://www.arprovi.com/publicaciones/patogenos.pdf>

- Melloy, P., Jayasena, K., Mclean, M., Snyman, L., Thomas, G., Hills, A., Galea, V., & Galloway, J. (2024). *Efficiently limiting yield loss from net-blotch in barley - a meta-analysis*. https://era.dpi.qld.gov.au/id/eprint/13758/1/Paper-Melloy-Paul-BarleyNetBlotchMetaanalysis_2024.pdf
- Moustafa, N. A. (2017). Use of Linear Correlation between in Vitro And in Vivo Tests for Evaluating Efficiency of Some Fungicides in Controlling Net Blotch of Barley (*Hordeum Vulgare*). *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, 8(2), 35-45. https://journals.ekb.eg/article_38428_a93d4ff867d6388bf3a761bb7111db58.pdf
- Optimus®: *Protección global al estrés biótico y abiótico*. (s.f.). Brometan. <https://brometan.com.uy/wp-content/uploads/2025/03/FICHA-TECNICA-OPTIMUS-Uruguay-scaled.jpg>
- Pedroza-Sandoval, A., & Samaniego, J. A. (2009). Análisis del área bajo la curva de progreso de las enfermedades (ABCPE) en patosistemas agrícolas. En N. B. Martínez, L. S. Rojas & R. P. Pacheco (Eds.), *Tópicos selectos de estadística aplicados a la fitosanidad* (pp. 179-190). Colegio de Postgraduados <http://doi.org/10.13140/2.1.4475.7767>
- Pereyra, S., & Díaz de Ackermann, M. (2007). Uso de fungicidas para el control de roya de la hoja en cebada y trigo. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Jornada de Cultivos de Invierno* (pp. 15-24). <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6742/1/Jornada-INIA-Cultivos-de-Invierno-2007.pdf;invierno>
- Pereyra, S., & Germán, S. (2011). Manchas foliares en cebada: reconocimiento, epidemiología y estrategias de manejo. En S. Pereyra, M. Díaz de Ackermann, S. Germán & K. Cabrera (Eds.), *Manejo de enfermedades de trigo y cebada* (pp. 139-157). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2534/1/18429160911193955.pdf>
- Pereyra, S., & Germán, S. (2012). Manejo de enfermedades en trigo y cebada en un contexto de márgenes reducidos. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Jornada Cultivos de invierno* (pp. 15-25). <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/650/1/112761020512113354.pdf>
- Pereyra, S., & González, N. (2024). *Eficiencia de fungicidas para enfermedades en trigo y cebada*. INIA. <https://www.inia.uy/sites/default/files/pdf/Fungicidas%20T RIGO%20y%20CEBADA%20marzo%202024.pdf>
- Pereyra, S., Díaz de Ackermann, M., & Stewart, S. (2005). *Manual de identificación de enfermedades en cereales de invierno*. (2ª ed.). INIA. https://inia.uy/sites/default/files/publications/2024-06/BD%2061_2a%20ed_2005_ampliada.pdf
- Pereyra, S., Palladino, C., Pérez, C., & González, S. (2024, 9-10 de abril). *Manejo de mancha en red tipo red y ramulariosis de cebada: Perspectivas para 2024* [Contribución]. IV Jornada Nacional de Cultivos de invierno, Mercedes. <https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-11/Silvia-Pereira.-Cintia-Palladino-Jornada-Cultivos-Invierno-2024-MRTR.pdf>

- Petta, A., & Lavilla, M. (2023). Mancha en red de la cebada (*Hordeum vulgare*), causada por *Drechslera teres* y su efecto sobre el rendimiento. *Agronomía Mesoamericana*, 34(1), Artículo e50620.
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ragromeso/article/view/4781/5893>
- Picanço, B. B., Silva, B. N., & Rodrigues, F. A. (2022). Potentiation of soybean resistance against *Phakopsora pachyrhizi* infection using phosphite combined with free amino acids. *Plant Pathology*, 71(7), 1496-1510.
<https://doi.org/10.1111/ppa.13582>
- Poole, N. F., & Arnaudin, M. E. (2014). The role of fungicides for effective disease management in cereal crops. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 36(1), 1-11.
<http://doi.org/10.1080/07060661.2013.870230>
- Proyectos: Mejoramiento genético de cebada.* (s.f.). INIA.
<https://www.inia.uy/index.php/proyectos/mejoramiento-genetico-de-cebada>
- Rawson, H. M., & Macpherson, H. G. (2001). *Trigo regado: Manejo del cultivo*. FAO.
https://dn790008.ca.archive.org/0/items/bub_gb_7DFnSPSFA5kC/bub_gb_7DFnSPSFA5kC.pdf
- Rehfus, A., Miessner, S., Achenbach, J., Strobel, D., Bryson, R., & Stammler, G. (2016). Emergence of succinate dehydrogenase inhibitor resistance of *Pyrenophora teres* in Europe. *Pest Management Science*, 72(10), 1977-1988.
<https://doi.org/10.1002/ps.4244>
- Rehfus, A., Strobel, D., Bryson, B., & Stammler, G. (2017). Sensitivity of *Pyrenophora teres* to succinate dehydrogenase inhibitors in Europe. En H. B. Deising, B. Fraaije, A. Mehl, E. C. Oerke, H. Sierotzki & G. Stammler (Eds.), *Modern fungicides and antifungal compounds* (pp.175-180). Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft. https://plant-protection.net/fileadmin/documents/Verlag/02_SP/05_Reinhard/2016_Einzelbeitraege/29_Rehfus_et_al_Sensitivity_of_Pyrenophora_teres_to_Succinate_Dehydrogenase_Inhibitors_in_Europe_0294-sp-2017-Reinh-29-9.pdf
- Reis, E. M. (1991). *Mancha en red de la cebada: Biología, epidemiología y control de Drechslera teres*. INIA.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2933/1/111219220807104540.pdf>
- Semar, M., Strobel, D., Strathmann, S., & Groeger, U. (2011). Xemium®-the BASF fungicide innovation. En H. W. Dehne, H. B. Deising, U. Gisi, K. H. Kuck, P. E. Russell, & H. Lyr (Eds.), *Modern fungicides and antifungal compounds: VI Proceedings of the 16th International Reinhardsbunn Symposium* (pp. 63-68). DPG Spectrum Phytomedizin. https://reinhardsbunn-symposium.de/fileadmin/documents/Verlag/02_SP/05_Reinhard/0294-sp-2011-Reinh-8.pdf
- Sible, C. N., Seebauer, J. R., & Below, F. E. (2021). Plant biostimulants: A categorical review, their implications for row crop production, and relation to soil health indicators. *Agronomy*, 11(7), Artículo e1297.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11071297>

- Silva, B. N., Picanço, B. B. M., Hawerth, C., Silva, L. C., & Rodrigues, F. Á. (2022). Physiological and biochemical insights into induced resistance on tomato against septoria leaf spot by a phosphite combined with free amino acids. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 120, Artículo e101854. <https://doi.org/uy/10.1016/j.pmpp.2022.101854>
- Stammler, G., & Speakman, J. (2006). Microtiter method to test the sensitivity of *Botrytis cinerea* to boscalid. *Journal of Phytopathology*, 154(7-8), 508-510. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2006.01139.x>
- Stammler, G., Benzinger, G., & Speakman, J. (2007). A rapid and reliable method for monitoring the sensitivity of *Sclerotinia sclerotiorum* to boscalid. *Journal of Phytopathology*, 155(11-12), 746-748. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2007.01294.x>
- Stepanović, M., Rekanović, E., Milijašević-Marčić, S., Potočnik, I., Todorović, B., & Stepanović, J. (2016). Field efficacy of different fungicide mixtures in control of net blotch on barley. *Pesticidi i Fitomedicina*, 31(1-2), 51-57. <https://doi.org/10.2298/PIF1602051S>
- Tekauz, A. (1990). Characterization and distribution of pathogenic variation in *Pyrenophora teres* f. *teres* and *P. teres* f. *maculata* from western Canada. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 12, 141-148. <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/07060669009501017?needAccess=true>
- Tini, F., Covarelli, L., Ricci, G., Balducci, E., Orfei, M., & Beccari, G. (2022). Management of *Pyrenophora teres* f. *teres*: The causal agent of net form net blotch of barley, in a two-year field experiment in central Italy. *Pathogens*, 11(3), Artículo e291. <https://doi.org/10.3390/pathogens11030291>
- Tomić, A., Trkulja, V., Matić, S., Trkulja, N., Iličić, R., Scortichini, M., & Popović Milovanović, T. (2024). Net blotch (*Pyrenophora teres* Drechsler): An increasingly significant threat to barley production. *Plant Protection Science*, 60(1), 1-30. <https://doi.org/10.17221/122/2023-PPS>
- Tubana, B., Price, P., Datnoff, L., Botta, A., Sierras, N., & Marín, C. (2017). Potential of Armurox®, a soluble silicon and peptides biostimulant, as a foliar source of silicon in wheat. En N. B. Prakash, T. S. Sandhya, K. Sandhya, S. Majumdar, N. Hamsa, & T. Pallavi (Eds.), *7th International Conference on Silicon in Agriculture* (p. 103). University of Agricultural Sciences. <https://img1.wsimg.com/blobby/go/381336f2-9eab-4c05-b2ab-c21fdd1ba886/2017%20Silicon%20in%20Ag%20Program%20Abstrcts.pdf>
- Tully, D. B., Bao, W., Goetz, A. K., Blystone, C. R., Ren, H., Schmid, J. E., Strader, L. F., Wood, C. R., Best, D. S., Narotsky, M. G., Wolf, D. C., Rockett, J. C., & Dix, D. J. (2006). Gene expression profiling in liver and testis of rats to characterize the toxicity of triazole fungicides. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 215(3), 260-273. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2006.02.015>
- Vahamidis, P., Stefopoulou, A., Lagogianni, C. S., Economou, G., Dercas, N., Kotoulas, V., Kalivas, D., & Tsitsigiannis, D. I. (2020). *Pyrenophora teres* and *Rhynchosporium secalis* establishment in a Mediterranean malt barley field: Assessing spatial, temporal and management effects. *Agriculture*, 10(11), Artículo e553. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110553>

- Van Den Berg, C. G. J. (1988). *Epidemiology of Pyrenophora teres and its effect on again yield of Hordeum vulgare* [Disertación doctoral, Universidad de Saskatchewan]. Harvest. <https://harvest.usask.ca/items/77471020-1cbb-4891-8e70-cccc0810723c>
- Yakhin, O. I., Lubyaynov, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7, Artículo e2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
- 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>
- Ziminov Nolla, M. L. (2007). *Determinación de la variabilidad patogénica de Pyrenophora teres f. teres, organismo causal de la mancha en red en cebada* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/36691>

