

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EVALUACIÓN DE FUNGICIDAS CURASEMILLAS PARA EL CONTROL DE
Pyrenophora teres f. teres EN CEBADA**

por

Rocío FERNÁNDEZ GAY

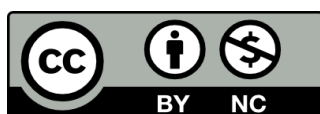
**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

MONTEVIDEO

URUGUAY

2025

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



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Dra.) Cintia Palladino

Tribunal:

Ing. Agr. (Dra.) Cintia Palladino

Ing. Agr. (Mag.) Silvana González

Ing. Agr. (Mag.) Oscar Bentancur

Fecha:

12 de setiembre de 2025

Estudiante:

Rocío Fernández Gay

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a quienes, de diversas maneras, hicieron posible la culminación de este proyecto.

En primer lugar, a mi padre, mi faro y guía constante, por el inestimable legado de fortaleza y perseverancia que me ha transmitido.

A las tres mujeres más importantes de mi vida: mi Mamá, mi tía Moni y mi hija, quienes me brindaron siempre su apoyo incondicional y amor inquebrantable.

Un agradecimiento muy especial a mis amigos, especialmente a Julieta y Laura que, junto a sus familias, me ofrecieron un invaluable apoyo y compañía durante mi estadía en Montevideo.

Mi sincero reconocimiento a mi directora de tesis, Cintia, cuyo acompañamiento, dirección y paciencia fueron absolutamente fundamentales para el desarrollo y la culminación exitosa.

A Silvana González, por su valiosa contribución y apoyo.

Finalmente, agradezco también al Ing. Agr. Sebastián Bonansea y a todo el equipo agronómico y técnico de AMBEV por su excelente disposición y colaboración, elementos esenciales para la realización de esta tesis.

Gracias, gracias, gracias.

TABLA DE CONTENIDO

<u>PÁGINA DE APROBACIÓN.....</u>	<u>3</u>
<u>AGRADECIMIENTOS</u>	<u>4</u>
<u>LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.....</u>	<u>6</u>
<u>RESUMEN.....</u>	<u>7</u>
<u>SUMMARY</u>	<u>8</u>
<u>1. INTRODUCCIÓN</u>	<u>9</u>
<u>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</u>	<u>11</u>
2.1 MANCHA EN RED	11
2.2 PÉRDIDAS ECONÓMICAS	15
2.3 MANEJO INTEGRADO DE ENFERMEDADES	15
<u>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</u>	<u>20</u>
3.1 EXPERIMENTO DE CAMPO.....	20
3.1.1 Determinaciones.....	21
3.2 EXPERIMENTO DE LABORATORIO	22
3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	22
<u>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	<u>24</u>
4.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS	24
4.2 EXPERIMENTO DE CAMPO.....	25
4.2.1 Implantación.....	25
4.2.2 Incidencia	27
4.2.3 Severidad.....	29
4.3 EXPERIMENTO DE LABORATORIO	34
<u>5. CONCLUSIÓN</u>	<u>37</u>
<u>6. BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>38</u>
<u>7. ANEXO</u>	<u>46</u>

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas	Páginas
Tabla 1 <i>Detalles de los tratamientos de fungicidas curasemilla</i>	21
Tabla 2 Humedad Relativa en el año 2023 y en la serie histórica 2002-2022.....	25
Tabla 3 <i>Efecto del fungicida curasemilla sobre la implantación e incidencia de MRtr</i>	26
Tabla 4 <i>Carga fúngica de los tratamientos post aplicación del curasemilla</i>	35

Figuras	Páginas
Figura 1 <i>Síntomas de mancha en red tipo red en fases vegetativa del cultivo</i>	12
Figura 2 <i>Ciclo de Drechslera teres</i>	13
Figura 3 <i>Escala visual de severidad de la mancha en red tipo red (Pyrenophora teres f. teres)</i> ...	22
Figura 4 <i>Condiciones climáticas en la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” Paysandú</i>	24
Figura 5 Severidad de MRtr en el ciclo de la cebada y los tratamientos curasemillas	30
Figura 6 ADCPE de severidad de MRtr y %EFC de los tratamientos curasemilla	33

RESUMEN

La mancha en red tipo red MRtr, causada por *Pyrenophora teres* f. *teres*, representa una amenaza significativa para la producción de cebada, y el tratamiento químico de semillas emerge como una estrategia preventiva clave para limitar su introducción y dispersión en los cultivos. Con el objetivo de evaluar la eficiencia de cinco tratamientos curasemillas en el control de MRtr durante las etapas iniciales del desarrollo de la cebada, se realizó un experimento de campo, bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se utilizó el cultivar Explorer de susceptibilidad alta –intermedia con una carga fúngica inicial de 5%. Los tratamientos consistieron en las siguientes mezclas de principios activos formulados para tratamiento de semillas: metalaxil, penflufen, protioconazol; fluxapirroxad + triticonazol; difenoconazol + fludioxinil + sedaxane + tiametoxam; carbendazim + iprodiona + tiram; azoxistrobina + iprodiona + metalaxil + triticonazol, más un testigo sin tratamiento. Las variables evaluadas fueron porcentaje de implantación e incidencia a 13 días post emergencia (DPE, Z1.3), y severidad a 31 (Z2.2), 50 (Z3.0) y 73 (Z4.3) DPE, a partir de las cuales se calculó la curva de progreso de la enfermedad (ADCPE) y el porcentaje de eficiencia de control (%EFC). Las condiciones climáticas durante el ensayo fueron altamente favorables para el desarrollo de la MRtr. No se observaron diferencias significativas en implantación ni en la incidencia temprana (13 DPE). En Z2.2 la severidad fue alta, cercana al nivel crítico, sin diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, los tratamientos si se diferenciaron estadísticamente en Z3.0. En este estadio, las mezclas con fluxapirroxad + triticonazol y sedaxane + fludioxinil + difenoconazol + tiametoxam mostraron los niveles de severidad más bajos. El análisis del ADCPE confirmó que estas dos combinaciones fueron las más efectivas para limitar la progresión de la MRtr, demostrando así el mejor control relativo en las condiciones específicas del ensayo. No obstante, EFC de estos tratamientos fue baja, < 50%, lo que subraya que, en condiciones de alta presión de inóculo y clima favorable, el curasemilla por sí solo no fue suficiente para mantener la enfermedad por debajo de los niveles críticos. Esto resalta la necesidad de complementar estas herramientas con otras prácticas dentro de un manejo integrado, priorizando el monitoreo constante y el uso responsable de fungicidas.

Palabras clave: *Drechslera teres* f. *teres*, mancha en red, *Hordeum vulgare*, control químico

SUMMARY

Net blotch (NB), caused by *Pyrenophora teres* f. *teres*, represents a significant threat to barley production. Chemical seed treatment emerges as a key preventive strategy to limit its introduction and spread in crops. To evaluate the efficacy of five seed treatment fungicides in controlling NB during the initial stages of barley development, a field experiment was conducted using a randomized complete block design with four replicates. The cultivar *Explorer*, which has high to intermediate susceptibility, was used with an initial fungal load of 5%. The treatments consisted of the following active ingredient formulations for seed treatment: metalaxyl, penflufen, prothioconazole; fluxapiroxad + triticonazole; difenoconazole + fludioxonil + sedaxane + thiamethoxam; carbendazim + iprodione + thiram; azoxystrobin + iprodione + metalaxyl + triticonazole, along with an untreated control. The evaluated variables were percentage of plant emergence and disease incidence at 13 days post-emergence (DPE, growth stage Z1.3), and disease severity at 31 (Z2.2), 50 (Z3.0), and 73 DPE (Z4.3). From these, the area under the disease progress curve (AUDPC) and the percentage of control efficacy (%CE) were calculated. Weather conditions during the trial were highly conducive to MRtr development. No significant differences were observed among treatments for plant emergence or early disease incidence (13 DPE). At Z2.2, disease severity was high—approaching the critical threshold—but no significant differences were detected between treatments. However, significant differences emerged at Z3.0, where the mixtures containing fluxapiroxad + triticonazole and sedaxane + fludioxonil + difenoconazole + thiamethoxam exhibited the lowest severity levels. AUDPC analysis confirmed that these two combinations were the most effective in limiting NB progression, thus providing the best relative control under the specific trial conditions. However, the %CE of these treatments was too low, <50%, highlighting that under conditions of high inoculum pressure and favorable weather, seed treatment alone was insufficient to maintain disease levels below critical thresholds. This underscores the importance of integrating seed treatments with additional disease management strategies, emphasizing continuous monitoring and the responsible use of fungicides within an integrated disease management framework.

Keywords: Drechslera teres f. *teres*, net blotch, *Hordeum vulgare*, chemical control

1. INTRODUCCIÓN

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) es un cultivo de secano de gran importancia en Uruguay, representando más del 30% del área sembrada en la zafra 2023/2024 (Oficina de Programación y Política Agropecuaria [OPYPA], 2024). Las condiciones agroecológicas del país propician que las enfermedades foliares sean un factor limitante clave para alcanzar rendimientos y calidad óptimos.

La Mancha Red (MRtr), causada por el patógeno *Drechslera teres* (Sacc.) Shoem. (teleomorfo *Pyrenophora teres* (Drechs.) es una enfermedad que se ve favorecida por prácticas como el monocultivo, la siembra directa y el uso de semilla infectada, las condiciones óptimas para la infección son temperaturas de 15 a 25 °C y al menos 10 horas de agua libre sobre la superficie foliar (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], 2005). Se han documentado pérdidas de rendimiento en grano que oscilan entre el 10 y el 40% en diversos países. Estas pérdidas dependen en gran medida del momento del ciclo del cultivo en que se desarrolla la enfermedad y la severidad alcanzada. Específicamente, las infecciones tempranas (previas al macollaje) pueden provocar pérdidas significativas, llegando a un 30-40% en el rendimiento del grano. Adicionalmente, la MRtr deteriora la calidad del grano al reducir el porcentaje de granos de mayor calibre, lo que disminuye su valor comercial y compromete su aptitud para la maltería, un destino crucial para la cebada producida en el país (Pereyra et al., 2011).

El manejo integrado de la MRtr contempla diversas estrategias, entre las cuales la elección de cultivares con resistencia genética constituye una medida de alto impacto. Sin embargo, la selección del cultivar a sembrar no siempre se basa en este criterio, sino en su rendimiento potencial, lo que frecuentemente conduce a la utilización de materiales con intermedio a alta susceptibilidad a *Pyrenophora teres*.

Otra medida clave es el uso de semilla libre de infección, ya que el tratamiento de semillas representa una herramienta fundamental para evitar la introducción del patógeno en áreas donde se siembra cebada por primera vez, así como su reintroducción en zonas donde se practica la rotación de cultivos. Si bien existen estudios sobre la eficiencia de tratamientos fungicidas para el control de la MRtr (González, 2015; Pereyra & González, 2024), y las evaluaciones de curasemillas con principios activos registrados están disponibles anualmente (Cartilla de evaluación de curasemillas INIA), se consideró fundamental ampliar estas evaluaciones en otro ambiente. Esto permite observar el desempeño de estos principios activos en un contexto diferente, aportando datos complementarios a los ya existentes.

En este contexto, se llevó a cabo esta tesis con el objetivo de aportar conocimiento al manejo de la MRtr mediante la evaluación del efecto de distintos fungicidas curasemilla en el inicio y la evolución de la MRtr en los primeros estadios de crecimiento del cultivo de cebada.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 MANCHA EN RED

La Mancha en red de la cebada es causada por *Pyrenophora teres*, 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 longitudinal. La fase anamorfa (asexual), *Drechslera teres*, produce conidióforos pardos claros y conidias cilíndricas septadas, y también picnidios con conidias hialinas en una matriz mucilaginosa. *Pyrenophora teres* Drechsler [Anamorfo: *Drechslera teres* (Sacc.) Shoem] Seca reticulada de la cebada. Según Smedegård-Petersen (1972) existen dos formas de la enfermedad, la mancha en red tipo red 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 o a nivel genético y fisiopatológico, aunque son morfológicamente similares (Akhavan et al., 2016; Campbell et al., 1999; Liu et al., 2010). La distinción entre Ptt y Ptm radica en diferencias de crecimiento fúngico y a la expresión de síntomas en el hospedero (Lightfoot & Able, 2010). Ptm germina más lentamente, forma más vesículas intracelulares y causa muerte celular en el área de penetración, mientras que Ptt muestra un crecimiento hifal más extenso antes de la formación de apresorios. El tiempo de infección de Ptm es menor que Ptt (Liu et al., 2010). *Pyrenophora teres* f. *teres* actúa como necrótrofo, creciendo intercelularmente, mientras que Ptm es hemibiotrófico, con una fase inicial biotrófica y luego necrotrófica. Ptm muestra tasas de crecimiento necrotrófico y saprotrófico superiores a Ptt (Liu et al., 2010). Ambas formas producen toxinas, proteínicas y derivadas de la aspergilomarasmina, que inducen necrosis y clorosis; Ptt produce más toxinas en cultivo, aunque la composición y cantidad en planta son desconocidas (Lightfoot & Able, 2010).

Los síntomas ocasionados por Ptt son fácilmente reconocibles, comenzando con la aparición de diminutos puntos o manchas de color marrón en las hojas basales (Figura 1a). Estas lesiones primarias se alargan y desarrollan las distintivas estrías necróticas de color marrón oscuro, que se entrecruzan longitudinal y transversalmente, formando el patrón en red característico (Figura 1b). A menudo, las lesiones están circundadas por áreas amarillentas (clorosis) o de tejido muerto (necrosis). En infecciones más avanzadas, estas lesiones pueden unirse y formar grandes bandas marrones de bordes irregulares (Figura 1c), lo que puede resultar en la muerte prematura y el secado de la hoja entera.

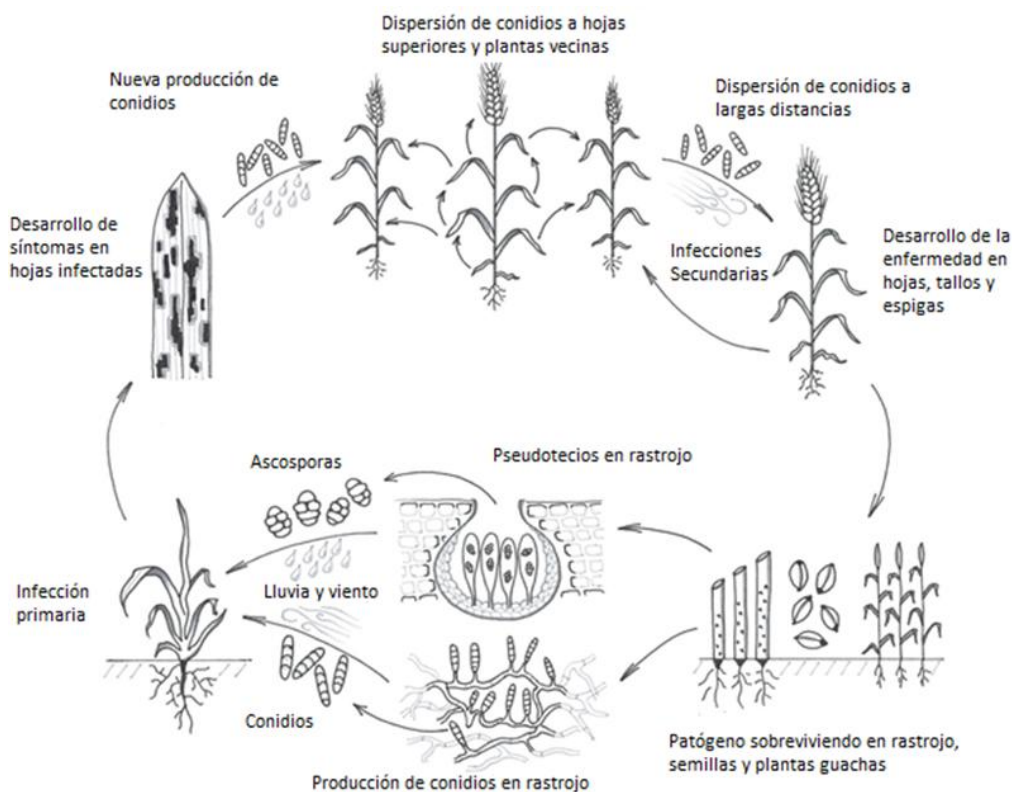
Figura 1

Síntomas de mancha en red tipo red en fases vegetativa del cultivo



Nota. a) Planta de cebada en el estadio de Z2.2 con pequeñas manchas de mancha en red; b) síntoma característico de la enfermedad, con estrías necróticas cruzadas dando una apariencia de red; y c) hojas de la planta en Z3.0 con lesiones grandes y con halo clorótico.

El hongo Ptt sobrevive entre zafras del cultivo en rastrojo y semilla infectada, principalmente como micelio (Kinzer, 2015; Liu et al., 2010; Martin et al., 2021; Suciú et al., 2021; Tini et al., 2022; Vasighzadeh et al., 2022). Al final de la temporada de cultivo, el micelio en el rastrojo forma unas estructuras de reproducción sexual llamadas pseudotecios (Liu et al., 2010; McLean et al., 2009; Ronen et al., 2019). Dentro de estos pseudotecios, se desarrollan esporas sexuales (ascosporas) que son una fuente clave para el inicio de la enfermedad y ayudan al hongo a sobrevivir en condiciones difíciles. La formación y maduración de estas estructuras sexuales se ve favorecida por temperaturas bajas y humedad constante (McLean et al., 2009). En el rastrojo infectado, el hongo también puede producir esporas asexuales (conidios), que sirven para iniciar la enfermedad al comienzo de la temporada (Poudel, 2018; Smedegård-Petersen, 1972).

Figura 2*Ciclo de Drechslera teres*

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

Pyrenophora teres f. *teres* se propaga principalmente a través de la semilla, contaminando tanto su cáscara como su interior (Abebe, 2021; Liu et al., 2010; McLean et al., 2009; Youcef-Benkada et al., 1994). Esta vía de transmisión permite la dispersión de la enfermedad a largas distancias (Abebe, 2021; González, 2011a; Liu et al., 2010). Cuando la infección se origina en la semilla, un síntoma característico es la aparición de una línea oscura y necrosada a lo largo de la primera hoja de la plántula joven. Ptt puede infectar las primeras hojas en crecimiento bajo temperaturas relativamente bajas, en el rango de 10 a 15°C (McLean et al., 2009). Esta infección inicial desde la semilla puede facilitar la expansión de la enfermedad desde la base de las hojas en plantas pequeñas. Sin embargo, la transmisión efectiva de la enfermedad desde la semilla a la plántula depende de varios factores: la tasa de transmisión de Ptt, el porcentaje de semillas infectadas, la resistencia del cultivar de cebada y las condiciones ambientales (González et al., 2019; Singh & Mathur, 2004). Existe una relación directa: a mayor infección de la semilla, mayor probabilidad de que la enfermedad se manifieste en la planta (González, 2011a). Complementando esto, algunos estudios han demostrado que, si el 40% de las semillas están enfermas, esto puede resultar en que el 4,5% de las plántulas jóvenes estén enfermas, y la severidad de la enfermedad puede alcanzar el 5,8% cuando la planta comienza a

crecer en altura (González et al., 2019), aunque vale aclarar que esta evaluación se llevó a cabo con un cultivar con susceptibilidad intermedia, con cultivares de susceptibilidad intermedia a alta, como por ejemplo Explorer se esperarían valores significativamente mayores.

La dispersión del inóculo inicial es llevada a cabo por ascosporas y conidios que se mueven por el viento y lluvia (Jordan, 1981; Shipton et al., 1973). La cantidad de ascosporas que salen del rastrojo en el suelo puede ser muy alta, hasta 250.000 por metro cuadrado (Jordan & Allen, 1984). Su liberación es favorecida por períodos largos de hojas húmedas, más de 16 horas con humedad del aire > 85% (Martin & Clough, 1984) o por la lluvia (Deadman & Cooke, 1989; Jordan, 1981), y con temperaturas de 1 a 35 °C, o de 15 a 32 °C si las hojas no están húmedas (Van den Berg & Rossnagel, 1991).

La infección primaria comienza cuando los conidios y ascosporas germinan sobre las hojas (Liu et al., 2010; Martin et al., 2021; Suciú et al., 2021). Para que las ascosporas infecten el tejido de la planta, necesitan una humedad del aire mayor a 95% (McLean et al., 2009). Los conidios, en cambio, necesitan agua libre y temperaturas por encima de 2 °C para germinar (Shaw, 1986). La esporulación también necesita de agua libre, 4 horas, temperaturas entre 15 °C y 25 °C y un 100% humedad relativa (Mathre, 1982; Liu et al., 2010).

Para que la infección logre establecerse, se necesita un período de humedad adecuado de 5 a 30 horas, en ocasiones se necesita más tiempo, seguido de temperaturas favorables (Liu et al., 2010). Después de germinar, las esporas desarrollan tubos de germinación y estructuras de anclaje llamadas apresorios para poder penetrar (Lightfoot & Able, 2010). Ptt entra principalmente por los espacios entre las células de la superficie de la hoja (epidermis), estomas (Lightfoot & Able, 2010), o directamente atravesando la cutícula (Van Caesele & Grumbles, 1979).

Tras la infección primaria y la aparición de las manchas necróticas típicas de mancha en MRtr en las hojas, Ptt produce estructuras llamadas conidióforos sobre estas lesiones. Dichas estructuras dan origen a las esporas asexuales o conidios, que constituyen el inóculo secundario (Arnst et al., 1978; Kinzer, 2015; Shipton et al., 1973; Smedegård-Petersen, 1972). Estos conidios son cruciales, ya que, al dispersarse, se convierten en la fuente principal de nuevas infecciones (Poudel, 2018), permitiendo una rápida propagación de la enfermedad dentro del cultivo. El establecimiento de estas infecciones secundarias, que impulsan la epidemia en el follaje, puede ocurrir tan solo 14-20 días después de la infección primaria bajo condiciones favorables (McLean et al., 2009). Las condiciones ideales para el desarrollo de las mismas son temperaturas entre 15 °C y 25 °C, 100 % HR y 4h agua libre (Mathre, 1982). La gravedad de la enfermedad en el cultivo

depende de cuántas veces se repite este ciclo de infección secundaria (INIA, 2005), y la enfermedad generalmente avanza de abajo hacia arriba en la planta. El buen entendimiento del ciclo de Ptt es fundamental para poder manejar la enfermedad y evitar pérdidas de rendimiento de grano (Murray & Brennan, 2010; Plessl et al., 2005).

2.2 PÉRDIDAS ECONÓMICAS

La MRtr es una enfermedad de gran preocupación a nivel mundial en el cultivo de cebada, causando pérdidas económicas significativas. Se han reportado pérdidas de rendimiento de grano significativas en regiones como Europa (hasta 40% en Alemania en años húmedos) y países como Australia, Canadá, Sudáfrica y Estados Unidos (Akhavan et al., 2016; McLean et al., 2010; Plessl et al., 2005). En el Cono Sur, las pérdidas de rendimiento de grano han variado entre 13 y 33% (Germán, 2007; INIA, 2005; Moya & Sisterna, 2012; Pereyra & Germán, 2013).

Esta enfermedad reduce la superficie fotosintética de las hojas, esencial para la producción de energía. Lo que limita la producción de carbohidratos necesarios para el llenado del grano, afectando su número y peso (Wallwork, 2007). Además de la reducción en rendimiento, la MRtr disminuye la calidad del mismo, afectando el contenido de carbohidratos y deteriorando la calidad cervecera y maltera, lo que agrava las pérdidas económicas (Jayasena et al., 2007; Kangor et al., 2017; Plessl et al., 2005; Vahamidis et al., 2020). La magnitud de las pérdidas asociadas a esta MRtr subraya la necesidad de adoptar estrategias de manejo efectivas para mitigar su impacto económico.

2.3 MANEJO INTEGRADO DE ENFERMEDADES

La implementación de medidas de Manejo Integrado de Enfermedades (MIE) es clave para maximizar los rendimientos y mejorar la calidad del grano de cebada. El MIE se basa en la combinación de diferentes estrategias, que incluyen manejos agronómicos, controles biológicos y químicos, así como la siembra de variedades resistentes y otras acciones complementarias. El objetivo es controlar mejor las enfermedades y disminuir los costos de cultivo (Tomić et al., 2024). Este enfoque influye notablemente en la curva de progreso de la enfermedad, modificando tanto el inicio como la tasa de avance al actuar directamente sobre el patógeno, la cebada y el ambiente (Madden et al., 2007).

El uso de cultivares resistentes es reconocido como la estrategia más eficiente, sostenible desde el punto de vista ambiental y económica para el control de enfermedades en la cebada. Un genotipo que posee resistencia puede, por sí mismo, reducir de forma importante o incluso eliminar la necesidad de tratamientos con fungicidas químicos (McLean et al., 2009). Este enfoque no solo beneficia el manejo sanitario, sino que también contribuye a mejorar el

rendimiento y la calidad del grano, que son objetivos fundamentales en los programas de mejora genética. La resistencia en una variedad se observa en las hojas a través de un menor número y tamaño de lesiones. Además, la planta resistente disminuye o retrasa la producción de esporas por parte del hongo, limita su crecimiento dentro de los tejidos infectados y secreta más sustancias naturales en su follaje que actúan contra el patógeno (Backes et al., 2021).

En la práctica, la selección de cultivares considerando su comportamiento sanitario es un factor clave, y las empresas malteras suelen planificar su distribución teniendo en cuenta su desempeño en diferentes zonas productoras. Por ejemplo, en el sur de Uruguay se recomienda no sembrar cultivares muy susceptibles a enfermedades como la roya de la hoja, la escaldadura y la MRtr, mientras que para el norte del país se desaconseja el uso de materiales altamente susceptibles a la mancha borrosa (Pereyra, 2023). Para ayudar a los productores en la planificación, instituciones como INIA y el Instituto Nacional de Semillas (INASE) publican anualmente los "Resultados experimentales de evaluación de trigos y cebadas para el registro nacional de cultivares" (INIA & INASE, 2004), que detallan; entre otros aspectos, la susceptibilidad de los cultivares a enfermedades como la MRtr. En la Evaluación Nacional de Cultivares se ha indicado que los cultivares de origen europeo pueden ser más susceptibles a la MRtr bajo las condiciones de Uruguay en comparación con los materiales locales (INIA & INASE, 2023).

A pesar de que los productores conocen el comportamiento sanitario de los cultivares en distintos ambientes, su elección se inclina por aspectos como el rendimiento potencial y la calidad maltera. Además, están condicionados por los contratos con las malterías, lo que limita su libertad de decisión. Esta situación provoca que una porción considerable del área de cebada en el país se siembre con cultivares de susceptibilidad intermedia a alta a MRtr. Para el año 2022, la distribución fue la siguiente: el 54% del área sembrada correspondió a cultivares R-MR (Resistente a Moderadamente Resistente), el 14% a cultivares I (Intermedios) y el 32% a cultivares MSS (Moderadamente Susceptibles a Susceptibles) (INIA & INASE, 2023). Como resultado, el control químico mediante fungicidas foliares se ha convertido en la principal estrategia para manejar la MRtr.

Otra medida de gran impacto es establecer el cultivo en chacras sin cebada en los dos ciclos previos ya que así se reduce la presión inicial de inóculo al facilitar la mineralización del rastrojo (Carmona et al., 2001). El periodo sin siembra de trigo o cebada depende de la supervivencia de cada hongo en el rastrojo. Estudios epidemiológicos en Uruguay sugieren que dos años sin cultivos susceptibles serían suficientes para controlar enfermedades dependientes

del rastrojo. En algunos casos, cuando las condiciones no son tan favorables para las enfermedades foliares, un año sin cultivo es suficiente (Germán et al., 2009).

La calidad sanitaria de la semilla es también una medida de considerable impacto, ya que incluso una baja presencia del patógeno puede causar daños significativos debido a su alta tasa de transmisión, 21% (Carmona et al., 1999). En Uruguay, en el período 1991-1993, se registró una tasa máxima de transmisión de Ptt a la plántula del 54% en lotes de semilla con alta infección (Pereyra et al., 2011). Se recomienda seleccionar semillas de lotes con baja severidad de Ptt, idealmente no superior al 6% de infección (Carmona, 2014; Carmona et al., 2001). A pesar de que el proceso de transmisión de Ptt de la semilla a la plántula no es 100% eficiente, un número reducido de semillas enfermas posee un alto potencial para diseminar rápidamente la enfermedad en el cultivo.

Evidencia de ensayos en Uruguay subraya la importancia de la calidad sanitaria de la semilla en el establecimiento de la MRtr en cebada. En años con el uso de cultivares altamente susceptibles, los Niveles Críticos (NC) de la enfermedad pueden alcanzarse incluso antes de Z3.0, lo que obliga a realizar aplicaciones de fungicidas foliares ya en la etapa de macollaje (González et al., 2019). Esta situación, que implica intervenciones tempranas y costosas, es claramente indeseable para un manejo eficiente del cultivo.

Este escenario, con sus costos económicos y riesgos ambientales asociados, podría mitigarse significativamente mediante decisiones de manejo responsable. Estas incluyen el análisis sanitario de la semilla para identificar y cuantificar la presencia de patógenos antes de la siembra, asegurando así un punto de partida más saludable para el cultivo (González et al., 2019). Ante la dificultad de obtener semilla completamente libre de infección, el uso de fungicidas curasemilla es aconsejable y fundamental para el manejo preventivo de la MRtr, evitando así la necesidad de intervenciones foliares tempranas que buscan corregir una situación ya establecida (Carmona et al., 2001).

Los fungicidas curasemillas son una herramienta fundamental en el manejo de enfermedades al inicio del cultivo de cebada. Su función principal es erradicar patógenos presentes en la semilla, bloquear su transmisión a las plántulas emergentes y ralentizar el progreso inicial de la enfermedad en el campo. Esto puede potenciar la eficacia de las posteriores aplicaciones de fungicidas foliares al reducir la presión de inóculo inicial proveniente de la semilla, la cual es una fuente de infección directa y relevante, especialmente considerando que una baja presencia del patógeno puede causar daños significativos (Carmona et al., 1999). La

eficiencia de los curasemillas también depende de factores como la calidad de cobertura, siendo cruciales equipos y moléculas que mejoren la distribución y adherencia (González, 2011a).

Dentro de los ingredientes activos empleados en tratamientos de semilla destacan las carboxamidas, pertenecientes al grupo FRAC 7 (SDHI, inhibidores de la succinato deshidrogenasa). Estas moléculas, entre ellas fluxapirroxad, sedaxane y penflufen, actúan bloqueando la respiración mitocondrial del hongo, lo que interfiere en la producción de energía y limita el crecimiento inicial del patógeno (Bayer, 2025), brindando una acción preventiva prolongada debido a su sistemía. Su introducción en cebada representó un avance significativo, han demostrado eficacia frente a *Pyrenophora teres* f. *teres*, así como frente a otros patógenos transmitidos por semilla (Carabet et al., 2023; González et al., 2019). No obstante, su modo de acción de sitio único implica un alto riesgo de resistencia, lo que hace imprescindible su uso en mezclas con otros grupos químicos como triazoles, fenilpirroles o estrobilurinas, y siempre dentro del marco de un manejo integrado de enfermedades que combine rotación de ingredientes activos, monitoreo constante y prácticas agronómicas preventivas (Carmona & Sautua, 2016; Mejía et al., 2024).

Si bien algunos tratamientos químicos específicos (como iprodione, iminoctadine o guazatine) pueden ser efectivos para eliminar patógenos de la semilla (Carmona et al., 2001; Carmona & Sautua, 2016), su efectividad puede verse limitada cuando la incidencia inicial del patógeno en la semilla es mayor a 50%. En estos casos, incluso los mejores curasemillas alcanzan controles máximos del 80%, mientras otros se quedan en el 50% (González et al., 2024). Investigaciones recientes en Uruguay han revelado que la eficiencia de ciertos curasemillas para controlar enfermedades foliares, como el MRtr, puede ser de solo 40-50% en ambientes muy propicios para la enfermedad y en cultivares susceptibles (Pereyra & González, 2024). Esto subraya que, en las condiciones productivas del país, los tratamientos de semilla por sí solos podrían no ser una estrategia completamente suficiente para el manejo efectivo de las manchas foliares, especialmente si no se complementan con otras medidas.

Dado que la infección en la semilla cosechada se relaciona directamente con la infección en el campo, otra estrategia crucial dentro del MIE para obtener semilla sana es controlar la enfermedad en el cultivo con fungicidas foliares, siguiendo los Niveles Críticos (NC) establecidos, y realizando análisis sanitario previo a la siembra (Reis, 1991). Estos NC se definen como el nivel de severidad o incidencia de la enfermedad a partir del cual la pérdida en rendimiento justifica el costo de la aplicación, calculados en base a las funciones de pérdidas para el control de las mismas (INIA, 2005; Pereyra, 1996). Sin embargo, los valores de severidad y/o incidencia críticos resultantes en la situación actual, se encuentran muy cercanos a inicios de infección. Por

ejemplo, para el control de MRtr y Mancha en Red Tipo Spot se manejan NC aproximados de 50-60% de incidencia y 5-6% de severidad.

La eficacia del control químico foliar está supeditada al momento de aplicación, basado en NC que consideran la enfermedad, precio del grano y costo del fungicida/aplicación, impactando la rentabilidad, las condiciones ambientales y la selección y combinación adecuadas de ingredientes activos (como DMI, SDHI y Qol, fundamentales globalmente para el MRtr). Si bien se busca restringir las aplicaciones a cultivos susceptibles, a menudo resulta inevitable realizar dos o más aplicaciones, particularmente cuando las condiciones ambientales son muy favorables para el desarrollo de enfermedades y los NC se alcanzan prematuramente (INIA, 2005). Esta intensificación en la frecuencia de las aplicaciones foliares, si bien puede ser necesaria para proteger el potencial de rendimiento y calidad, conlleva un incremento directo en la presión de selección sobre las poblaciones de patógenos fúngicos, acelerando la evolución de la resistencia a los fungicidas de sitio único (Abebe, 2021; Vinale et al., 2008).

La práctica de tratamientos tempranos apenas se detecta una amenaza en cultivares susceptibles choca frontalmente con los principios del MIP. Éste promueve activamente la reducción de estas aplicaciones frecuentes e innecesarias, no solo por motivos económicos, sino también por razones ambientales cruciales y para preservar la eficacia a largo plazo de las herramientas químicas disponibles. El uso indiscriminado de fungicidas puede acarrear efectos negativos en el medio ambiente (vinculado al incremento general en la intensidad de uso de fitosanitarios en la región, la persistencia de residuos y el impacto en organismos no objetivo) y, principalmente, favorecer la aparición y el aumento de la resistencia (Abebe, 2021; Vinale et al., 2008). En el caso específico de Ptt, el desarrollo de resistencia a fungicidas de sitio único ha sido un patrón preocupante y documentado a lo largo de las décadas, con la aparición secuencial de resistencia a benzimidazoles (MBCs), inhibidores de la desmetilación (DMIs), inhibidores de la quinona externa (Qols) y, más recientemente, inhibidores del succinato deshidrogenasa (SDHIs), incluso documentándose en Argentina como uno de los primeros patógenos de cereales con resistencia a SDHIs en campo (Abebe, 2021; Mejía et al., 2024).

Debido al amplio uso de cultivares con comportamiento sanitario deficiente frente a Ptt, a la siembra de cebada en chacras con antecedentes de trigo o cebada, a la escasa disponibilidad de fungicidas curasemilla eficientes frente a Ptt y a la baja sensibilidad de Ptt a los principales grupos químicos de fungicidas foliares en países vecinos, este trabajo se propone evaluar específicamente el efecto del uso de fungicidas curasemilla para el control de MRtr durante los primeros estadios de crecimiento del cultivo de cebada.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 EXPERIMENTO DE CAMPO

El ensayo se realizó en la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" de la Facultad de Agronomía, Paysandú; (Lat: 32°22'30"S Long: 58°03'43) en la zafra 2023/2024. La siembra del ensayo se realizó el 16 de junio de 2023 con el cultivar Explorer, caracterizado con una susceptibilidad de alta - intermedia a alta para MRtr (INIA & INASE, 2023). El lote de semilla sembrado presentó una incidencia de Ptt de 5% cuantificada en laboratorio mediante la técnica de blotter test (Neergaard, 1977). La siembra se realizó de forma convencional con el objetivo de asegurar que el desarrollo de la MRtr se debiera principalmente a la infección de la semilla utilizada y a las condiciones ambientales durante el desarrollo del cultivo. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron seis, cinco fungicidas curasemilla y un tratamiento testigo sin fungicida curasemilla (Tabla 1). El tamaño de cada unidad experimental fue de 5,70 m² (5 m de largo x 1,14 m de ancho).

La aplicación de los fungicidas curasemilla correspondiente a cada tratamiento se realizó en bolsas de nylon conteniendo 500 gramos de semilla, y se aplicó el tratamiento correspondiente siguiendo las recomendaciones de la etiqueta de los fungicidas (Tabla 1). La densidad de siembra fue de 250 plantas por m². Luego que se sembró el experimento de campo, la semilla que sobró fue utilizada para las determinaciones en el laboratorio.

Tabla 1*Detalles de los tratamientos de fungicidas curasemilla*

Tratamientos	Nombre Comercial	Empresa	Dosis (cc/100 Kg semilla)
T1. Testigo sin fungicida curasemilla	-	-	-
T2. Metalaxil (6,14) + penflufen (3,84) + protioconazol (7,68)	Evergol	Bayer	90
Fluxapiraxad (333 g/l)+triticonazol (100 g/l)	Sistiva + Premis	BASF	75 + 25
T3. Difenconazol (25)+ fludioxinil (25)+sedaxano (50)+tiametoxam (175)	Vibrance	Syngenta	250
T4. Carbendazim (200)+ iprodiona (100) + tiram (200)	Envi3n Invierno	Calister	200
T5. Azoxistrobina(40) + iprodiona (167) +metalaxil (50) +triticonazol (34)	Mecano	Proquimur	150

Nota. Para determinar la composici3n de los ingredientes activos y las dosis a utilizar se consultaron las etiquetas de los productos comerciales.

3.1.1 Determinaciones

Se evalu3 el porcentaje de implantaci3n en dos metros lineales en las 2 l3neas centrales de cada tratamiento a los 13 d3as DPE en Z1.2. Est3s l3neas fueron marcadas para realizar posteriores lecturas de sanidad. En el mismo estadio fenol3gico se evalu3 el porcentaje de incidencia de la enfermedad, con la siguiente f3rmula: Incidencia (%)= (n3mero de plantas enfermas/n3mero de plantas evaluadas)*100.

A los 31, 50 y 73 DPE se hizo lectura de severidad en 10 plantas seleccionadas al azar de las l3neas previamente marcadas. La severidad se calcul3 como porcentaje de tejido afectado por MRtr sobre el total de tejido de cada pl3ntula, utilizando una escala visual (Figura 3). En base a las lecturas de severidad se calcul3 el 3rea Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ADCPE) con la siguiente f3rmula: $\sum_i ((Y_i + Y_{i+1}) * (t_{i+1} - t_i)) / 2$ (Abbott, 1925).

Para evaluar el porcentaje de eficiencia de control (%EFC) de los tratamientos fungicida curasemilla se utilizaron los datos de ADCPE de MRtr y se calcul3 mediante la f3rmula: %EFC: $((ADCPE \text{ tratamiento testigo} - ADCPE \text{ tratamiento}) / ADCPE \text{ tratamiento testigo}) * 100$ (Abbott, 1925).

Figura 3

Escala visual de severidad de la mancha en red tipo red (Pyrenophora teres f. teres)



3.2 EXPERIMENTO DE LABORATORIO

En el laboratorio se evaluó con el método blotter test la carga fúngica del lote de semillas seleccionado después de ser tratado con los diferentes fungicidas curasemilla (ver ítem 3.1). Para cada tratamiento, se analizaron 200 semillas distribuidas en cuatro repeticiones de 50 semillas, siguiendo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las placas con las semillas se incubaron a 25 °C por un día y luego se congelaron a -20 °C durante 12 horas para detener el desarrollo del embrión. Después, se incubaron nuevamente a 25 °C durante seis días. Transcurrido este tiempo, se contó el número de semillas con esporulaciones fúngicas, utilizando una lupa estereoscópica de 40 aumentos, y la identificación del género de los hongos se confirmó mediante la observación de las estructuras de los mismos bajo microscopio (Neergaard, 1977). Se cuantificó la carga fúngica discriminada por patógenos y/o contaminantes de la semilla.

3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables implantación, incidencia, severidad, ADCPE y %EFC fueron analizadas mediante un análisis de varianza utilizando el procedimiento PROC GLIMMIX ANOVA. Para la comparación de medias, se aplicó la prueba de Tukey-Kramer al 5% en las variables de implantación, incidencia y severidad, siempre que se detectaron diferencias significativas entre tratamientos. En el caso de la variable ADCPE, se utilizó la prueba de Tukey-Kramer al 5%,

mientras que para %EFC se empleó Tukey-Kramer al 10%. Además, se realizó un análisis de correlación de Pearson entre la incidencia a los 13 días DPE y la carga fúngica de Ptt en cada tratamiento. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el software SAS (versión 9.4, SAS Institute).

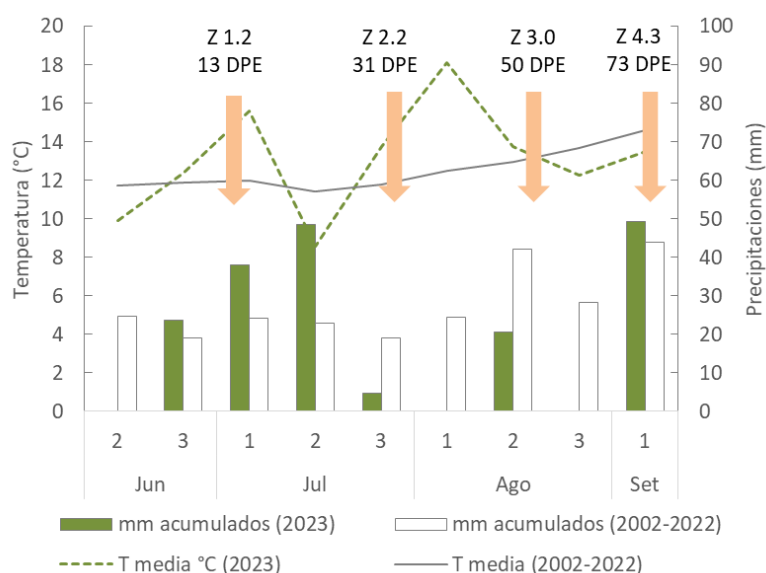
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS

Para el período inicial del ciclo del cultivo, comprendido desde la siembra (16 de junio) hasta los 13 DPE del cultivo, las precipitaciones acumuladas fueron de 62 mm, 19 mm que en el promedio histórico (2002-2022), lo que implicó una disponibilidad de humedad favorable para el establecimiento del cultivo (Figura 4). Asimismo, las temperaturas promedio durante este lapso fueron aproximadamente 2°C más cálidas que los valores históricos (2002-2022) y la humedad relativa (HR) de 84%, 4% más que el promedio histórico (Tabla 2).

Figura 4

Condiciones climáticas en la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” Paysandú



Nota. Los datos correspondientes al año 2023 reflejan el período de crecimiento del cultivo, mientras que los datos de 2002 a 2022 constituyen la serie histórica utilizada como referencia comparativa. Las flechas azules indican los momentos en que se realizaron las evaluaciones de la enfermedad, especificando los días post emergencia (DPE) y el estadio fenológico del cultivo según la escala de Zadoks en cada fecha de observación. Los números 1, 2 y 3 en el eje X representan las tres decenas de cada mes.

Tabla 2

Humedad Relativa en el año 2023 y la serie histórica 2002-2022

	HR (%)	
	2002/2022	2023
Jun	80	84
Jul	77	86
Ago	73	74
Set	71	83

En el segundo período, que abarcó de los 13 a los 31 DPE, se registró mayor acumulación de lluvias en el año de estudio (53 mm) en comparación con el promedio histórico (42 mm). Las temperaturas promedio en este lapso fueron de 11,2°C similares, a las de la serie histórica de 11,6°C, pero la HR fue 9,2 puntos porcentuales más que el promedio histórico (86%). Posteriormente, en la tercera etapa, de los 31 a los 50 DPE, las precipitaciones acumuladas fueron menores, 21 mm frente a 67 mm de la serie histórica. Y la temperatura promedio fue de 3 °C superior en el año de estudio que en la serie histórica 13°C. La HR fue similar entre los años evaluados, presentando un 73% (Figura 4, Tabla 2).

Finalmente, en el último tramo analizado, que comprende de los 50 a los 73 DPE, se registraron 49,2 mm de precipitaciones acumuladas (Figura 4). La temperatura promedio en este lapso de estudio fue 13,5°C ligeramente inferior, al promedio histórico que fue 14,6°C, no obstante, la HR alcanzó 83%, 12 puntos porcentuales más que en el registro histórico (Tabla 2).

Las condiciones climáticas durante el período de estudio fueron húmedas, con lluvias acumuladas de 115 mm y HR > a 86% en junio y julio, combinadas con temperaturas ligeramente más cálidas en junio y agosto, con un máximo de 14°C, lo que creó un ambiente altamente favorable para la infección y el desarrollo temprano de la MRtr. Aunque agosto y setiembre mostraron menos precipitaciones que lo normal, la HR se mantuvo elevada, lo que pudo mantener la presión de la enfermedad.

4.2 EXPERIMENTO DE CAMPO

4.2.1 Implantación

La densidad de plantas por metro cuadrado fue en promedio 189. No se logró la implantación objetivo, 250 pl/m², y esto pudo deberse a las condiciones ambientales ocurridas desde siembra hasta Z1.2. En ese período, se registraron precipitaciones acumuladas de 62 mm y temperaturas promedio de 8 °C. Estas condiciones llevaron a que no se observaran

diferencias significativas entre los tratamientos (p -valor = 0,2667; Tabla 3). Los resultados sugieren que las mezclas de fungicidas curasemillas evaluados fueron inocuas para la germinación y el establecimiento inicial de la cebada. Es decir, no causaron fitotoxicidad que disminuyera la implantación en comparación con el control, ni tampoco la mejoraron significativamente.

Tabla 3

Efecto del fungicida curasemilla sobre la implantación e incidencia de MRtr

Tratamiento	Mezcla de fungicidas	Plantas (m ²)	Incidencia*(m ²)
1	Testigo sin fungicida curasemilla	174	35
2	Metalaxil + penflufen+ protioconazol	172	24
3	Fluxapiroxad + triticonazol	193	23
4	Difenoconazol + fludioxinil + sedaxane + tiametoxam	213	24
5	Carbendazim + iprodiona + tiram	188	34
6	Azoxistrobina + iprodiona + metalaxil +triticonazol	193	30
CV %		13,34	39,48
p-valor		0,2667	0,5012

Nota. Observaciones realizadas a los 13 días post emergencia del cultivo. *incidencia de plantas enfermas con mancha en red tipo red (MRtr) en cada tratamiento.

Estos hallazgos son consistentes con estudios previos. Por ejemplo, Carmona et al. (2001) evaluaron el fungicida iprodiona a una dosis de 50 g/100 kg semilla solo, o en mezcla con triticonazol a razón de 2,5 g / 100 kg semilla o tiram a 150 g/100 kg semilla. También evaluaron iprodione a la mitad de la dosis; 25g/kg semilla sola o en mezcla con triticonazol (2,5 g/kg semilla), y los fungicidas tebuconazol (2,5 g/kg semilla) y fluariafol (2,5 g/kg semilla) solos, para el control de MRtr en cebada, y al igual que en este trabajo no se registraron diferencias en la emergencia. Esto sugiere que los fungicidas no causaron fitotoxicidad a las plantas y que, bajo esas condiciones, no hubo un beneficio notable en la implantación del cultivo. De manera similar, en otro estudio de Carmona et al. (2008) sobre la erradicación de enfermedades, se probaron los fungicidas curasemilla: iminocadina, guazatina y tiram + iprodiona a diferentes dosis, 150, 200, 250 y 300 g/100 kg de semilla de producto formulado, sin afectar significativamente la germinación de las semillas, que se mantuvo entre el 81% y el 87%. En un estudio de González (2015), que evaluó la eficiencia de curasemillas para Ptt en condiciones de campo con las mezclas de fungicidas: carbendazim (200 g/L) + iprodiona (100 g/L) + TMTD (200 g/L) a 200 g / 100 kg de semilla de producto formulado; azoxistrobin (50 g/L) + carbendazim

(125 g/L) + iprodiona (250 g/L) + protioconazol (25 g/L) a 200 g/ 100 kg de semilla del producto formulado y esta última mezcla también se probó a 250 g/100 kg de semilla de producto formulado. Sus resultados mostraron que no hubo diferencias significativas en la implantación de los tratamientos en comparación con el tratamiento control medida a los 15 post siembra.

No obstante, estos hallazgos contrastan con un estudio de Carabet et al. (2023); donde se evaluó el efecto de cinco tratamientos curasemilla: fluxapirroxad (100 ml/100 kg semilla), fludioxonil (150 ml/100 kg semilla), sedaxane (200 ml/100 kg semilla), protioconazol (50ml/100 kg semilla), tebuconazol (50 ml/100 kg semilla) y sedaxane + fludioxonil (200 ml/ 100 kg semilla) en el comportamiento sanitario de cebada inoculada con MRtr, durante dos años 2019 y 2020 en un sistema de monocultivo de cebada. Carabet et al. (2023) encontraron que la tasa de emergencia más baja se observó en las parcelas inoculadas con Ptt y no tratadas (70%), seguida por las parcelas no inoculadas y no tratadas (85%). En contraste las parcelas tratadas con las mezclas de fungicidas fludioxonil + sedaxane y protioconazol + tebuconazol alcanzaron el 100% de emergencia. Los resultados fueron atribuidos a la presencia de Ptt en semilla y/o en suelo.

4.2.2 Incidencia

El inicio de la epidemia de MRtr se manifestó en etapas muy tempranas del ciclo de crecimiento del cultivo. A los 13 DPE, en el estadio fenológico Z1.2, fue posible observar la sintomatología típica de la enfermedad sobre las hojas de las plántulas, indicando una infección temprana y activa (Figura 1b). Si bien no se observaron diferencias significativas en la incidencia de la enfermedad entre los tratamientos fungicidas curasemilla (p -valor= 0,5012, Anexo), hubo una tendencia a que los tratamientos 3 y 4; tratados con la mezcla de fluxapirroxad + triticonazol y la mezcla difenoconazol + fludioxinil + sedaxane + tiametoxam respectivamente; presentaron en promedio menos plantas enfermas que el resto de los tratamientos inclusive el testigo. En promedio, las parcelas tratadas con estos curasemillas presentaron 23 y 24 plantas enfermas/m² respectivamente, en contraste con las 35 plantas enfermas/m² observadas en las parcelas testigo. Es importante destacar que, en esta primera evaluación en Z1.2, el registro se basó únicamente en la presencia o ausencia de la enfermedad (incidencia), y no en su severidad (Tabla 3). Esto significa que una plántula con una infección apenas visible fue contabilizada de la misma manera que una con un daño más avanzado. Estos resultados, si bien muestran una tendencia positiva en la reducción de la incidencia temprana, son consistentes con la capacidad reportada de los curasemillas para reducir la infección inicial, aunque la magnitud del efecto y la significancia estadística pueden variar entre estudios. Por ejemplo, Carabet et al. (2023) en Rumanía, en ensayos realizados

durante 2019 y 2020, reportaron diferencias estadísticamente significativas en la utilización de fungicidas curasemilla para el control de MRtr. En 2019, observaron hasta 4,8 plantas enfermas por unidad de muestreo en parcelas inoculadas con Ptt y no tratadas, mientras que tratamientos como la mezcla de sedaxan y fludioxinil (200 ml/kg semilla) redujeron esta cifra a 0,62 plantas enfermas. En 2020, las parcelas inoculadas y sin tratar presentaron 4,43 plantas enfermas, frente a 0,48 plantas enfermas en las tratadas con la misma mezcla de fungicidas curasemillas, logrando un 87% de control.

De manera similar, y coincidiendo con esta capacidad de reducción, Carmona et al. (2001) en Argentina reportaron una notable reducción del 80% en la incidencia en implantación de MRtr en plántulas provenientes de semillas tratadas con mezclas de fungicidas como iprodiona (50 g/100 kg semilla) y triticonazol (2,5 g/100 kg semilla). Un ensayo de campo realizado por Carmona et al. (2008) también evaluó la incidencia de MRtr en dos escenarios: testigo sin tratar y semilla tratada con iprodiona + tiram, mostrando resultados contundentes a los 19 DPE: la incidencia de MRtr fue del 6,5% en las parcelas no tratadas, frente a un mínimo 0,30% en aquellas donde se aplicó el curasemilla.

Las diferencias observadas entre este trabajo de tesis y el de los autores Carabet et al. (2023) y Carmona et al. (2001, 2008), podría atribuirse a las diferentes presiones de inóculo de Ptt en los sitios de ensayo, por la inoculación artificial realizada en algunos tratamientos, o por el rastrojo del mismo cultivo. En el estudio de Carmona et al. (2008) se demostró que, a pesar de haber erradicado la enfermedad en el laboratorio, la enfermedad aun así se manifestó a campo, tanto en las parcelas con semillas tratadas como en las no tratadas. Considerando que en este estudio no existían otras fuentes de infección, la aparición de la enfermedad en las plúmulas tras la germinación demostró que las semillas aun presentaban infección, constituyendo una fuente importante de contagio en el campo. Sin embargo, la cantidad de focos de infección iniciales fue mayor en las plántulas de la parcela sin tratar en comparación con la parcela tratada (Carmona et al., 2008). La capacidad de transmisión de la enfermedad de la semilla a la plántula en este estudio fue del 18,8% (Carmona et al., 2008). En esta tesis la tasa de transmisión de Ptt fue similar, 20,1% en el tratamiento testigo. Casos de altas tasas de transmisión de Ptt en semilla, donde el ambiente es altamente predisponente para la enfermedad, la protección temprana podría no ser suficiente para mantener bajos los niveles de esta (Erreguerena & Quiroz, 2016). Otra posible explicación para las altas tasas de transmisión radica en la subestimación de la carga fúngica inicial en la semilla, debido a la baja sensibilidad de métodos tradicionales como el Blotter test o el cultivo en medio selectivo. Si bien estos son económicos y fáciles de implementar, su capacidad de detección es limitada. En

Uruguay, González (2011b) evaluó la sensibilidad de distintos métodos de incubación —papel de filtro, agar PDA y el medio selectivo de Reis— y demostró que este último presenta mayor eficacia para la detección de *Drechslera teres*, *Bipolaris sorokiniana* y *Drechslera tritici-repentis*, aunque su uso está restringido por la necesidad de equipamiento específico y mayor costo de procesamiento. Estos resultados evidencian que incluso dentro de los métodos convencionales existen diferencias en sensibilidad, y que el riesgo de subestimar el inóculo en semillas tratadas es elevado. En contraste, los métodos moleculares, como la PCR y sus variantes (anidada, en tiempo real, múltiple), ofrecen una sensibilidad y especificidad significativamente mayores para detectar hongos en semillas, especialmente a bajas concentraciones. Más recientemente, han surgido herramientas moleculares más sensibles para la detección de patógenos en semillas de cebada. Por ejemplo, la técnica de PCR digital de gotas (ddPCR), descrita en el estudio de Zia et al. (2025); es considerada una tercera generación de PCR. Esta técnica, que se basa en la química de la sonda TaqMan, ha demostrado ser altamente eficaz para la detección y cuantificación sensible y selectiva de *Pyrenophora teres*, logrando detectar niveles tan bajos como picomoles/ μ l directamente desde las semillas de cebada.

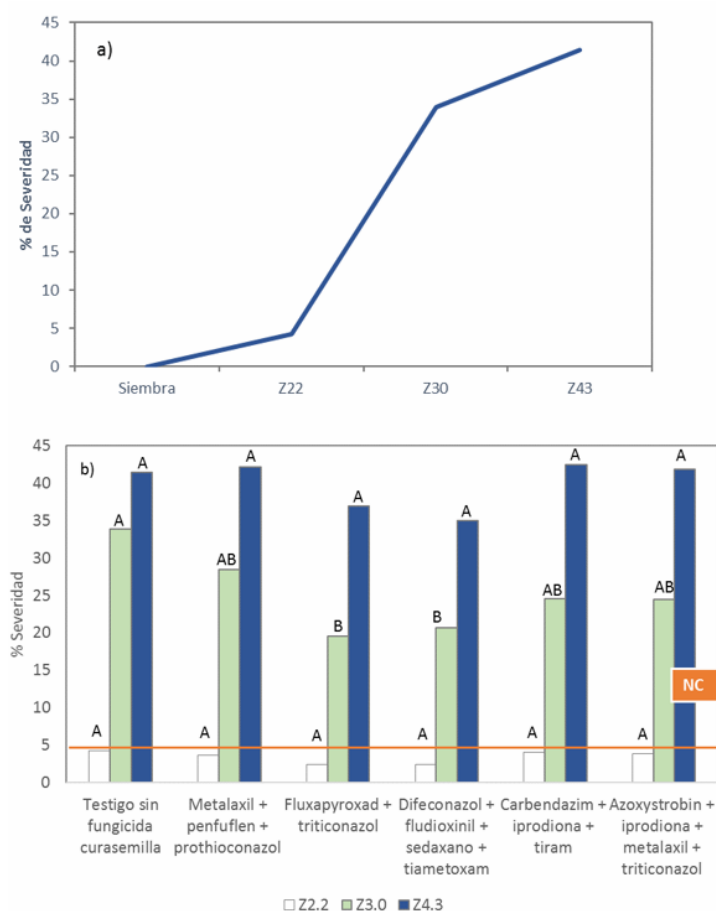
Una de las mejoras más significativas de la ddPCR es su capacidad para distinguir entre las dos formas económicamente importantes de *Pyrenophora teres*: *P. teres* f. *maculata* (Ptm), causante de la mancha foliar en red, y *P. teres* f. *teres* (Ptt), causante de la mancha foliar en red. Esto representa una ventaja crucial sobre los métodos tradicionales, como los ensayos de cultivo o las pruebas de osmótica/blotter, que no pueden hacer esta distinción y pueden incluso confundir *P. teres* con *P. graminea*. Además, a diferencia de otras técnicas de PCR cuantitativo como la qPCR, la ddPCR cuantifica basándose en un análisis de punto final, lo que la hace menos susceptible a la inhibición por parte de componentes de muestras complejas como las semillas, estableciéndola como una plataforma ideal para la detección de patógenos en semillas de cereales. La eficacia de este ensayo se ha validado mediante el cribado de una colección de semillas históricas de cebada (Zia et al., 2025).

4.2.3 Severidad

La severidad en el testigo sin fungicida curasemilla evolucionó muy rápido, evidenciando que las condiciones climáticas fueron muy favorables para la MRtr. Estas condiciones impulsaron una infección temprana y generalizada de la enfermedad, pasando de 4% en Z2.2 a 41% de severidad en Z4.3 (Figura 4 y 5a).

Figura 5

Severidad de MRtr en el ciclo de la cebada y los tratamientos curasemillas



Nota. Severidad de los tratamientos fungicida curasemilla y el testigo en los estadios fenológicos Z2.2, Z3.0 Y Z4.3. La línea naranja indica el nivel crítico para mancha en red tipo red (MRtr). Las medias seguidas de letras diferentes difieren significativamente entre sí ($p < 0,05$) según la prueba de Tukey-Kramer.

En el estadio Z2.2, la severidad entre los tratamientos oscilo entre 2 y 4% y no se registraron diferencias entre los mismos (Figura 5b, Anexo). Estos porcentajes de severidad de MRtr se aproximaron al NC para la intervención con fungicidas foliares, según lo establecido por Pereyra (2023). Sin embargo, en la etapa fenológica Z3.0, la severidad superó ampliamente este umbral. Si bien en este ensayo no se evaluó la aplicación de fungicidas foliares, los resultados sugieren que esta debería haberse realizado antes de Z3.0. Ya que el cultivar utilizado era altamente susceptible a MRtr. Sin embargo, una aplicación antes de Z3.0 no es del todo aconsejable, ya que la planta se encuentra en una fase de desarrollo temprano, lo que podría resultar en que una proporción significativa del producto se deposite en el ambiente y el suelo, en lugar de alcanzar el objetivo. Además, la realización de aplicaciones tan tempranas

podría conducir a la necesidad de múltiples intervenciones a lo largo del ciclo del cultivo, lo que resulta inviable desde una perspectiva económica y ambiental. No obstante, en situaciones de alta presión de inóculo proveniente de rastrojos o semillas, en combinación con cultivares susceptibles y condiciones ambientales muy favorables para la enfermedad, se recomienda considerar la aplicación temprana para mitigar la velocidad de progresión de la enfermedad (Pereyra, 1996).

En el estadio Z3.0, los tratamientos con fluxapiraxad + triticonazol y difenoconazol + fludioxinil + sedaxano + tiametoxam mostraron una severidad significativamente menor (p -valor= 0,0084) que el tratamiento testigo, pero no difirió de los demás tratamientos. Estos resultados concuerdan con González et al. (2019), quien reportó que la mezcla de fungicidas curasemillas fluxapiraxad (333 g/l) + triticonazol (100 g/l), aplicada a una dosis de 75 cm³/100 kg de semilla + 25 cm³/100 kg de semilla, ofreció protección a las plantas hasta la etapa de encañado. Asimismo, coinciden con las observaciones de Erreguerena et al. (2017), quienes evaluaron diversos tratamientos curasemillas: fluoxastrobina (5,625 gr/100 kg semilla) + protioconazol (5,625 gr/100 kg semilla) + tebuconazol (0,75 gr/100 kg semilla) fluxapiraxad (8,325 gr/100 kg semilla) + triticonazol (7,5 gr/100 kg semilla) sedaxano (10 gr/100 kg semilla) + difenoconazol (5 gr/100 kg semilla) + fludioxinil (5 gr/100 kg semilla) + tiametoxam (35 gr/100 kg semilla) en combinación con fungicidas foliares. Sus resultados indicaron que estos curasemillas controlaron eficazmente las enfermedades foliares en las etapas tempranas del cultivo, un efecto que se extendió incluso a estadios avanzados, en muchos casos haciendo innecesaria la aplicación foliar en encañazón y requiriendo solo una aplicación complementaria en hoja bandera. Coincidentemente, los tratamientos con fluxapiraxad + triticonazol y difenoconazol + fludioxinil + sedaxano + tiametoxam fueron los más destacados en su estudio.

En este contexto, McLean y Hollaway (2019), en ensayos de cuatro años (2012-2016) realizados en Australia, también reportaron una fuerte supresión de la MRtr con tratamientos de dos o tres aplicaciones foliares de (protioconazol + tebuconazol a 210 + 210 g/L), aplicado a una tasa de 300 mL/ha (2012-2014) o 150 mL/ha (2015). De manera similar a nuestros resultados, destacaron una supresión moderada con fungicidas curasemilla o una sola aplicación foliar en etapas vegetativas, en comparación con el control no tratado. Particularmente relevante es su hallazgo de que el fluxapiraxad, aplicado a la semilla como (333 g/L de fluxapiraxad) a una tasa de 150 mL/100 kg de semilla, proporcionó reducciones significativas en la severidad de la MRtr, especialmente durante los primeros estadios de crecimiento de la cebada, logrando mejoras en el rendimiento de grano de hasta un 20% y una mejor calidad en años con condiciones climáticas normales (baja humedad, temperaturas

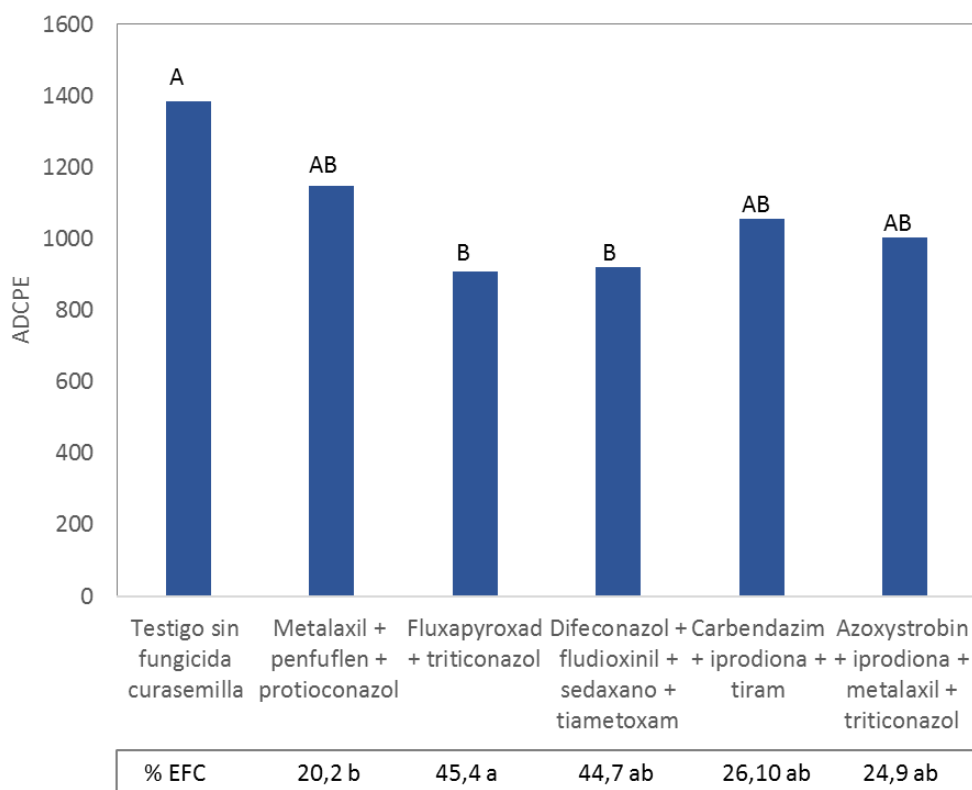
moderadas). Sin embargo, estos autores advirtieron que, en años con un ambiente muy favorable para la enfermedad, ninguna estrategia de aplicación por sí sola. Ya sea, aplicación de fungicida en semilla o foliar proporcionó un control completo de la MRtr, sugiriendo la necesidad de más de dos aplicaciones en cultivares muy susceptibles y reforzando la idea de que los curasemillas, si bien son una base sólida, pueden requerir ser complementados con aplicaciones foliares oportunas en escenarios de alta presión.

Más adelante en el ciclo del cultivo, específicamente en el estadio Z4.3, no se observaron diferencias significativas en la severidad de MRtr entre los tratamientos con fungicida curasemilla y el testigo (p -valor= 0,0284). Esto podría deberse a las condiciones ambientales favorables para la enfermedad, que propiciaron un desarrollo epidémico explosivo (Figuras 4 y 5b y Tabla 2).

En cuanto a la cantidad de enfermedad expresada como ADCPE, las mezclas fluxapiraxad + triticonazol y difenoconazol + fludioxinil + sedaxane + tiametoxam presentaron diferencias significativas con el resto al tratamiento testigo, pero no difieren de los tratamientos evaluados (p -valor= 0,0040), presentando los valores más bajos, con 908 y 920 respectivamente. Esto se traduce en una reducción promedio del 34% de la enfermedad en comparación con el testigo sin tratar, que registró un ADCPE de 1384 (Figura 6).

Figura 6

ADCPE de severidad de MRtr y %EFC de los tratamientos curasemilla



Nota. El área debajo de la curva de progreso de la enfermedad (ADCPE) presentó las medias seguidas de letras diferentes mayúsculas difieren significativamente entre sí ($p < 0,05$) según la prueba de Tukey. La eficiencia de control (%EFC) de la mancha en red tipo red (MRtr) presentó las medias seguidas de letras diferentes minúsculas difieren significativamente entre sí ($p < 0,10$) según la prueba de Tukey-Kramer.

Estos resultados concuerdan con los hallados por Couretot et al. (2020), quienes investigaron el efecto tratamientos curasemillas en el control MRtr en el cultivar susceptible Traveller. El estudio se realizó con una carga fúngica del 12% de MRtr en la semilla y los tratamientos evaluados incluyeron: iprodiona + flutriafol (100 + 75 ml/100 kg de semilla), fluxapiroxad + triticonazol (75 + 25 ml/100 kg de semilla), protioconazol + fluoxastrobin + tebuconazol (150 ml/100 kg de semilla), difenoconazol + fludioxonil + sedaxano (200 ml/100 kg de semilla), y un testigo sin fungicida curasemilla. Sus hallazgos indicaron que todos los tratamientos curasemillas (fluxapiroxad + triticonazol; protioconazol + fluoxastrobin + tebuconazol; y difenoconazol + fludioxonil + sedaxano) redujeron significativamente ADCPE en comparación con el testigo sin fungicida curasemilla. De estos, el tratamiento con fluxapiroxad

+ triticonazol fue el más efectivo, presentando un ADCPE de 13,56, muy inferior al ADCPE de 301,11 registrado en el testigo.

En esta tesis, si bien se registraron diferencias en la cantidad de MRtr entre los tratamientos, la EFC en general fue baja, con valores que oscilaron entre 20 y 45%. La mezcla de fluxapirroxad + triticonazol presentó la mayor EFC promedio (45%) y se diferenció significativamente del tratamiento con metalaxil + penfuflen + protioconazol. No obstante, su EFC no difirió del resto de los tratamientos, presentando valores similares (Figura 6).

La EFC de los tratamientos registrada en esta tesis concuerda con investigaciones recientes en Uruguay que han revelado que la eficiencia de ciertos curasemillas para controlar enfermedades foliares, como el MRtr, puede ser de solo 40-50% en ambientes muy propicios para la enfermedad y en cultivares susceptibles (González et al., 2024) y con los resultados de evaluaciones nacionales de fungicidas curasemilla para el control de MRtr en cebada realizadas por INIA LE y con. Sin embargo, en dichas evaluaciones, llevadas a cabo entre 2013 y 2023, la mezcla más efectiva utilizada en este estudio (fluxapirroxad + triticonazol) alcanzó una EFC de entre 50 % y 70 %. La menor eficacia observada en el presente ensayo podría explicarse por condiciones ambientales específicas, como una alta presión de inóculo y períodos prolongados de humedad, así como por la variabilidad en la agresividad del patógeno entre zafras. Estos resultados subrayan la importancia de realizar evaluaciones periódicas que permitan disponer de información actualizada para el manejo eficiente de MRtr.

4.3 EXPERIMENTO DE LABORATORIO

Todos los tratamientos presentaron una carga fúngica inicial de Ptt inferior a la del testigo (Tabla 4), el cual registró una carga de 5%. En particular, la mezcla con difeconazol + fludioxinil + sedaxane + tiametoxam no mostró detección de Ptt en semilla.

Tabla 4*Carga fúngica de los tratamientos post aplicación del curasemilla*

Trat	Mezcla de fungicidas	<i>Alternaria</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Bipolaris</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Drechslera</i>	<i>Epicoccum</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Penicillium</i>
1	Testigo sin fungicida curasemilla	100	0	1	31	5	4	1	0
2	Metalaxil + penflufen + protioconazol	92	0	0	7	2	0	0	0
3	Fluxapiroxad +triticonazol	84	0	0	8	1	0	0	0
4	Difenoconazol + fludioxinil +sedaxane +tiametoxam	65	0	0	11	0	0	0	0
5	Carbendazim + iprodiona + tiram	97	0	1	18	2	1	0	0
6	Azoxistrobina + iprodiona + metalaxil +triticonazol	96	0	0	21	1	0	0	0

Nota. Con marco naranja la carga fúngica para *Drechslera teres*.

A pesar de la baja o nula carga fúngica de Ptt de algunos tratamientos, todos lograron desarrollar la enfermedad de MRtr y superar el NC a estadios fenológicos tempranos (macollaje). Esto demuestra que los tratamientos de semillas no siempre garantizan un control total. Por lo tanto, su eficacia debe valorarse por su capacidad de reducir el nivel de inóculo en condiciones de campo, ya que la semilla no es la única fuente de inóculo (Carmona et al., 2008).

Además, la baja correlación entre la carga fúngica inicial y el número de plantas enfermas con MRtr (incidencia) registrada a los 13 DPE (Pearson $r = 0,28$; $p = 0,1804$) sugiere que, como se mencionó anteriormente, la metodología empleada para el análisis de patología de semilla en este estudio podría haber subestimado la carga inicial de Ptt (Patiño Moscoso et al., 2023). Esto concuerda con recomendaciones de no realizar pruebas de patología en semillas previamente tratadas con fungicidas curasemilla. El tratamiento puede inhibir la esporulación de patógenos superficiales y enmascarar la presencia de hongos localizados en el embrión o en tejidos internos, que demoran en manifestarse. Como consecuencia, se puede llegar a subestimar la carga fúngica real (Carmona & Sautua, 2016; González et al., 2019). En este sentido, metodologías moleculares de mayor sensibilidad, como la PCR o la ddPCR, han demostrado una capacidad superior para la detección precisa de *Pyrenophora teres* en semillas tratadas (Patiño Moscoso et al., 2023).

Estos resultados refuerzan la limitación de los métodos tradicionales de diagnóstico en semillas tratadas, ya que la detección depende en gran medida del medio de incubación utilizado, como lo demostró González (2009). Esto evidencia que los test convencionales pueden subestimar la presencia de patógenos como Ptt, especialmente cuando se encuentran en niveles bajos o localizados en el embrión, como ocurre frecuentemente en semillas de cebada.

5. CONCLUSIÓN

En esta tesis, los tratamientos de fungicidas curasemillas no afectaron negativamente la emergencia de las plántulas, ya que no se registraron diferencias significativas en la cantidad de plantas logradas por metro cuadrado a los 13 días posteriores a la siembra. Tampoco se observaron diferencias en la incidencia inicial de MRtr entre tratamientos, lo que indica que, bajo las condiciones del ensayo, los productos no presentaron efectos negativos sobre la germinación y no incidieron en la infección temprana de la enfermedad.

Las mezclas de fluxapiroxad + triticonazol y difenoconazol + fludioxinil + sedaxane + tiametoxam fueron las más mantuvieron la menor cantidad de MRtr, con una reducción del 34% respecto al testigo sin tratar. Sin embargo, ningún tratamiento logró llegar a Z3.0 con la severidad por debajo del nivel crítico para la decisión de una aplicación de fungicidas foliares. De hecho, los niveles de severidad ya se aproximaban a este valor en Z2.2, lo que pone en evidencia tanto la alta susceptibilidad del cultivar Explorer como la favorable predisposición ambiental para el desarrollo de la enfermedad durante el año en estudio. A su vez, considerando la elevada tasa de transmisión de Ptt desde la semilla hacia la plántula, es probable que la metodología empleada para estimar la carga fúngica haya subestimado el nivel inicial de inóculo presente en la semilla.

La eficiencia de control alcanzada por las mezclas más destacadas en este estudio se ubicó en torno al 45%, un valor considerado a bajo. Este resultado podría reflejar una tendencia decreciente en la efectividad de ciertos principios activos, posiblemente asociada a una creciente presión de selección sobre las poblaciones de Ptt. Estos hallazgos subrayan la importancia de un monitoreo continuo tanto de la eficacia de los fungicidas curasemilla actualmente en uso como de las nuevas moléculas con acción fúngica que ingresen al mercado. Asimismo, ponen de manifiesto la necesidad de revisar y actualizar permanentemente las estrategias de manejo sanitario, con el objetivo de asegurar su sustentabilidad y eficacia a largo plazo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18(2), 265-267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- Abebe, W. (2021). Barley net blotch disease management: A review. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, 7(9), 69-81.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.5554528>
- Akhavan, A., Turkington, T. K., Askarian, H., Tekauz, A., Xi, K., Tucker, J. R., Kutcher, H. R., & Strelkov, S. E. (2016). Virulence of *Pyrenophora teres* populations in western Canada. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 38(2), 183-196.
<https://doi.org/10.1080/07060661.2016.1159617>
- Arnst, B. J., Sheridan, J. E., & Grbavac, N. (1978). Two important fungal seed-borne diseases of barley in New Zealand: Net blotch caused by *Drechslera teres* (Sacc.) Shoemaker and leaf stripe caused by *Drechslera graminea* (Rabenh. Ex Schlecht.) Shoemaker. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 21(4), 697-701.
<https://doi.org/10.1080/00288233.1978.10427469>
- 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>
- Bayer. (2025, 14 de marzo). *Fungicides modes of action*.
<https://www.cropscience.bayer.us/articles/bayer/fungicide-modes-action>
- Campbell, G. F., Crous, P. W., & Lucas, J. A. (1999). *Pyrenophora teres* f. *maculata*, the cause of *Pyrenophora* leaf spot of barley in South Africa. *Mycological Research*, 103(3), 257-267. <https://doi.org/10.1017/S0953756298007114>
- 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. (2014). *Umbrales para el control de las enfermedades foliares del maíz 2014*. Agroconsultas. https://aws.agroconsultasonline.com/documento.html?op=d&documento_id=426

- Carmona, M., Barreto, D., Moschini, R., & Reis, E. (2008). Epidemiology and Control of Seed-borne *Drechslera teres* on Barley. *Cereal Research Communications*, 36(4), 637-645.
<https://doi.org/10.1556/CRC.36.2008.4.13>
- Carmona, M., & Sautua, F. (2016). *Roya amarilla del trigo: Nuevas razas en el mundo, monitoreo y uso de fungicidas*. Universidad de Buenos Aires.
https://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/wp-content/uploads/2016/03/CARMONA-SAUTUA_Roya-amarilla-2017_FAUBA.pdf
- Carmona, M. A., Barreto, D., & Reis, E. M. (1999). Detection, transmission and control of *Drechslera teres* in barley seed. *Seed Science and Technology*, 27(2), 761-769.
- Carmona, M. A., Barreto, D., & Reis, E. M. (2001). Efecto del fungicida iprodione y sus mezclas con thiram y triticonazole en el control de *Drechslera teres* en semillas de cebada. *Fitopatología Brasileira*, 26(2), 176-179.
- Couretot, L., Samoiloff, A., Russian, H., Labbate, M., Magnone, G., Arza, E., & Hraste, L. (2020). *Evaluación de tratamientos de semilla en Hordeum vulgare con fungicidas para el control de infecciones tempranas de Drechslera teres* [Póster]. 1er Congreso Argentino de Semillas: Germinando nuevas ideas, Córdoba.
https://www.academia.edu/101081178/Evaluaci%C3%B3n_de_tratamientos_de_semilla_en_Hordeum_vulgare_con_fungicidas_para_el_control_de_infecciones_tempranas_de_Drechslera_teres
- Deadman, M. L., & Cooke, B. M. (1989). An analysis of rain-mediated dispersal of *Drechslera teres* conidia in field plots of spring barley. *Annals of Applied Biology*, 115(2), 209-214.
<https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1989.tb03378.x>
- Erreguerena, I., Quiroz, F., & Giménez, F. (2017). *Red de protección ante enfermedades de cebada: Campaña 2016-2017*. INTA. https://www.researchgate.net/publication/325120569_Red_de_Proteccion_de_Cebada_Campana_2016-2017
- Erreguerena, I. A., & Quiroz, F. J. (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>
- Germán, S. (2007). Roya de la hoja en S. Cultivos de Invierno: Epidemiología de la enfermedad y comportamiento varietal. En Instituto Nacional De Investigación Agropecuaria (Ed.), *Jornada de Cultivos de Invierno* (pp. 1-13). <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6742/1/Jornada-INIA-Cultivos-de-Invierno-2007.pdf>

- Germán, S., Pereyra, S., & Díaz, M. (2009). Consideraciones sobre enfermedades de cultivos de secano en la coyuntura agropecuaria actual. *Revista INIA*, (17), 63-67.
<https://inia.uy/sites/default/files/publications/2024-06/revista-INIA-17-German.pdf>
- González, S. (2011a). 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. (2011b). *Sensibilidad de tres métodos de incubación de semillas para el diagnóstico de Drechslera tritici-repentis, Bipolaris sorokiniana y Drechslera teres* [Póster]. Congreso argentino de fitopatología, Mar del Plata.
[https://ainfo.inia.uy/consulta/busca?b=ad&id=33353&biblioteca=vazio&busca=autor:a:%22Gonz%C3%A1lez,%20S.%22&qFacets=autoria:%22Gonz%C3%A1lez,%20S.%22&ort=&paginacao=t&paginaAtual=1](https://ainfo.inia.uy/consulta/busca?b=ad&id=33353&biblioteca=vazio&busca=autor:a:%22Gonz%C3%A1lez,%20S.%22&qFacets=autoria:%22Gonz%C3%A1lez,%20S.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1)
- 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., Pereyra, S., & González, N. (2024). *Caracterización de curasemillas evaluados para el control de patógenos causales de enfermedades en trigo y cebada*. INIA.
<https://www.inia.uy/sites/default/files/pdf/Caracterizaci%C3%B3n%20curasemillas%20trigo%20y%20cebada%202024.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>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (Ed.). (2005). *Jornada técnica de cultivos de invierno*. INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6745/1/INIA.2005.SAD.n.404.pdf>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria & Instituto Nacional de Semillas. (2004). *Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de trigos y cebadas de los 3 últimos años para el registro nacional de cultivares: Período 2001-2002-2003*.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12434/1/Jornada-invierno-2004.pdf>

- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria & Instituto Nacional de Semillas. (2023). *Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de cebada: Período 2022*. https://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_CI/Ano2022/PubCebadaPeriodo2022.pdf
- Jayasena, K. W., Van Burgel, A., Tanaka, K., Majewski, J., & Loughman, R. (2007). Yield reduction in barley in relation to spot-type net blotch. *Australasian Plant Pathology*, 36(5), 429-433. <https://doi.org/10.1071/AP07046>
- Jordan, V. L., & Allen, E. C. (1984). Barley net blotch: Influence of straw disposal and cultivation methods on inoculum potential, and on incidence and severity of autumn disease. *Plant Pathology*, 33(4), 547-559. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1984.tb02879.x>
- Jordan, V. W. L. (1981). Aetiology of barley net blotch caused by *Pyrenophora teres* and some effects on yield. *Plant Pathology*, 30(2), 77-87. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1981.tb01232.x>
- Kangor, T., Sooväli, P., Tamm, Y., Tamm, I., & Koppel, M. (2017). Malting barley diseases, yield and quality – responses to using various agro-technology regimes. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B Natural Exact and Applied Sciences*, 71(1-2), 57-62. <https://doi.org/10.1515/prolas-2017-0010>
- Kinzer, K. M. D. (2015). *Characterizing Pyrenophora teres f. maculata in the northern United States and impact of spot form net blotch on yield of barley* [Disertación doctoral, North Dakota State University]. NDSU Repository. <https://hdl.handle.net/10365/25318>
- Lightfoot, D. J., & Able, A. J. (2010). Growth of *Pyrenophora teres* in planta during barley net blotch disease. *Australasian Plant Pathology*, 39(6), 499-507. <https://doi.org/10.1071/AP10121>
- 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>
- Madden, L. V., Hughes, G., & van den Bosch, F. (2007). *The study of plant disease epidemics*. American Phytopathological Society.
- Martin R., & Clough K. S. (1984). Relationship of airborne spore load of *Pyrenophora teres* and weather variables to net blotch development on barley. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 6(2), 105-110. <https://doi.org/10.1080/07060668409501569>

- Martin, R., McLean, M. S., Snyman, L., & López-Ruiz, F. J. (2021). Advances in understanding the epidemiology, molecular biology and control of net blotch and the net blotch barley interaction. En R. Oliver (Ed.), *Achieving durable disease resistance in cereals* (pp. 477-523). Burleigh Dodds Science Publishing.
- Mathre, D. E. (Ed.). (1982). *Compendium of Barley Diseases*. American Phytopathological Society.
- 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://www.publish.csiro.au/cp/CP18142>
- McLean, M. S., Howlett, B. J., & Hollaway, G. J. (2009). Epidemiology and control of spot form of net blotch (*Pyrenophora teres* f. *maculata*) of barley: A review. *Crop and Pasture Science*, 60(4), 303-315. <https://doi.org/10.1071/CP08173>
- McLean, M. S., Howlett, B. J., & Hollaway, G. J. (2010). Spot form of net blotch, caused by *Pyrenophora teres* f. *maculata*, is the most prevalent foliar disease of barley in Victoria, Australia. *Australasian Plant Pathology*, 39(1), 46-49. <https://doi.org/10.1071/AP09054>
- Mejía, C., Sautua, F., & 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>
- Moya, P., & Sisterna, M. N. (2012). Estudios preliminares de biocontrol de mancha en red de la cebada en semilla, con cepas de *Trichoderma* spp: Ensayos in vitro. *Revista Sanidad de Semillas*, 2(22). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/74886>
- Murray, G. M., & Brennan, J. P. (2010). Estimating disease losses to the Australian barley industry. *Australasian Plant Pathology*, 39(1), 85-96. <https://doi.org/10.1071/AP09064>
- Neergaard, P. (1977). *Seed pathology*. Wiley.
- Oficina de Programación y Política Agropecuaria. (2024). *Anuario OPYPA 2024*. MGAP.
<https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/anuario-opypa-2024>
- Patiño Moscoso, M. A., Osorio Guerrero, K. V., Flórez Gómez, D. L., Sarmiento Moreno, L. F., Vargas Ramírez, D. N., & Medina Mérida, M. J. (2023). *Manual ilustrado de hongos presentes en semillas de cultivos semestrales: Arroz, maíz, soya y sorgo*. Agrosavia.

- Pereyra, S. (1996). Enfermedades de cebada en Uruguay: Reconocimiento, epidemiología y estrategias de manejo. En M. Díaz (Ed.), *Manejo de enfermedades en cereales de invierno y pasturas* (pp. 105-123). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8447/1/111219240807135200-Pereyra-p.105-123.pdf>
- Pereyra, S. (2023, 11-12 de abril). *Claves para el manejo de enfermedades foliares en cebada* [Contribución]. III Jornada nacional de cultivos de invierno, Uruguay. <https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/Enfermedades-foliares-cebada-SPereyra.pdf>
- Pereyra, S., & Germán, S. (2013). *Relevancia y manejo de las enfermedades de cebada en Uruguay* [Contribución]. 4o Congreso Latinoamericano de Cebada, Bahía Blanca. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3091/1/Pereyra.pdf>
- Pereyra, S., Germán, S., & Díaz, M. (2011). Del patógeno al cultivo: sus interacciones y alternativas de manejo en la producción de trigo y cebada. En E. Hoffman, A. Ribeiro, O. Ernst, & F. O. García (Eds.), *II Simposio Nacional de Agricultura de Secano* (pp. 89-110). Hemisferio Sur.
- Pereyra, S., & González, N. (2024). *Eficiencia de fungicidas para enfermedades en trigo y cebada*. INIA. <https://www.inia.uy/sites/default/files/pdf/Fungicidas%20TRIGO%20y%20CEBADA%20marzo%202024.pdf>
- Plessl, M., Heller, W., Payer, H. -D., Elstner, E. F., Habermeyer, J., & Heiser, I. (2005). Growth parameters and resistance against *Drechslera teres* of spring barley (*Hordeum vulgare* L. cv. Scarlett) grown at elevated ozone and carbon dioxide concentrations. *Plant Biology (Stuttgart)*, 7(6), 694-705. <https://doi.org/10.1055/s-2005-873002>
- Poudel, B. (2018). *Occurrence and genetic and pathogenic characterisation of Pyrenophora teres f. teres, P. teres f. maculata and their hybrids* [Disertación doctoral, University of Southern Queensland]. University of Southern Queensland Repository. <https://doi.org/10.26192/5c0da9c4f69d0>
- Reis, E. M. (1991). Integrated disease management: The changing concepts of controlling head blight and spot blotch. En D. A. Saunders (Ed.), *Wheat for the nontraditional, warm areas: A proceedings of the international conference* (pp. 195-200). CIMMYT.

- Ronen, M., Sela, H., Fridman, E., Perl-Treves, R., Kopahnke, D., Moreau, A., Ben-David, R., & Harel, A. (2019). Characterization of the Barley Net Blotch pathosystem at the center of origin of host and pathogen. *Pathogens*, 8(4), Artículo e275. <https://doi.org/10.3390/pathogens8040275>
- Shaw, M. W. (1986). Effects of temperature and leaf wetness on *Pyrenophora teres* growing on barley cv. Sonja. *Plant Pathology*, 35(3), 294-309. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1986.tb02018.x>
- Shipton, W. A., Khan, T. N., & Boyd, W. J. R. (1973). Net Blotch of Barley. *Review of Plant Pathology*, 52(5), 269-288.
- Singh, D., & Mathur, S. B. (2004). *Histopathology of seed-borne infections*. CRC Press.
- Smedegård-Petersen, V. (1972). Perithecial and pycnidial stages of *Pyrenophora teres* and *Pyrenophora graminea* in Denmark. *Friesia*, 10, 61-85.
- Suciu, L. A., Şopterean, L., Russu, F., Giurgiu, C., Morea, A., Florian, V., Barşon, G., & Crişan, I. (2021). Effectiveness of fungicides with different modes of action against net blotch disease of two-rowed spring barley. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca: Agriculture*, 78(2), 101-108. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-agr:2021.0011>
- 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., & Milovanović, T. P. (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>
- 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 Caesele, L., & Grumbles, J. (1979). Ultrastructure of the interaction between *Pyrenophora teres* and a susceptible barley host. *Canadian Journal of Botany*, 57(1), 40-47. <https://doi.org/10.1139/b79-009>

- Van den Berg, C. G. J., & Rossnagel, B. G. (1991). Epidemiology of spot-type net blotch on spring barley in Saskatchewan. *Phytopathology*, 81(11), 1446-1452.
<http://doi.org/10.1094/Phyto-81-1446>
- Vasighzadeh, A., Sharifnabi, B., Javan-Nikkhah, M., & Stukenbrock, E. H. (2022). Infection experiments of *Pyrenophora teres f. maculata* on cultivated and wild barley indicate absence of host specificity. *European Journal of Plant Pathology*, 163(4), 749-759.
<https://doi.org/10.1007/s10658-022-02496-9>
- Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E. L., Marra, R., Barbetti, M. J., Li, H., Woo, S. L., & Lorito, M. (2008). A novel role for Trichoderma secondary metabolites in the interactions with plants. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 72(1), 80-86.
- Wallwork, H. (2007). The role of minimum disease resistance standards for the control of cereal diseases. *Australian Journal of Agricultural Research*, 58(6), 588-592.
https://www.researchgate.net/publication/234331694_The_role_of_minimum_disease_resistance_standards_for_the_control_of_cereal_diseases
- Youcef-Benkada, M., Bendahmane, B. S., Sy, A. A., Barrault, G., & Albertini, L. (1994). Effects of inoculation of barley inflorescences with *Drechslera teres* upon the location of seed-borne inoculum and its transmission to seedlings as modified by temperature and soil moisture. *Plant Pathology*, 43(2), 350-355. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1994.tb02695.x>
- Zia, R., Popper, Z. A., & Kildea, S. (2025). Barley disease screening: A multiplex digital droplet PCR approach for the detection of *Ramularia collo-cygni*, *Rhynchosporium graminicola*, and *Pyrenophora teres*. *Plant Pathology*, 74(6), 1752-1762.
<https://doi.org/10.1111/ppa.14123>

7. ANEXO*ANOVA Tipo III Evaluación del impacto de los tratamientos en la severidad, ADCPE y EFC*

Variable	Efecto	GL	GL exp	F	Pr > F
% Implantación	Bloque	3	15	1,07	0,3922
	Tratamiento	5	15	1,44	0,2667
% Incidencia en Z1.2	Bloque	3	15	2,82	0,0745
	Tratamiento	5	15	0,91	0,5012
Severidad Z2.2	Bloque	3	15	0,30	0,8229
	Tratamiento	5	15	3,88	0,0186
Severidad Z3.0	Bloque	3	15	0,65	0,5923
	Tratamiento	5	15	4,76	0,0084
Severidad Z4.3	Bloque	3	15	1,79	0,1928
	Tratamiento	5	15	3,45	0,0284
ADCPE	Bloque	3	15	0,83	0,4994
	Tratamiento	5	15	5,64	0,0040
EFC	Bloque	3	12	7,15	0,0052
	Tratamiento	4	12	3,42	0,0436

Nota. Análisis de varianza tipo III del efecto de los tratamientos sobre la severidad en los estadios fenológicos Z2.2, Z3.0, Z4.3; sobre ADCPE (Área debajo de la curva de progreso de la enfermedad) y la EFC (Eficiencia de control de la enfermedad). Se presentan los grados de Libertad para el efecto (GL) y del experimento (GL exp), el valor F y el p-valor (Pr > F) para los efectos “Bloque” y “Tratamiento”.