

Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales



Trabajo final de carrera

“Efecto de roya de la hoja del trigo sobre el rendimiento y sus principales componentes ecofisiológicos”

Carrera: Ingeniería Agronómica

Alumno: Maximiliano Gortari

Legajo: 27246/6

DNI: 37.982.662

Mail: maxigortari@hotmail.com

Director del trabajo: Dr. MSc. Matías Schierenbeck

Co-director del trabajo: PhD. MSc. María Rosa Simón

Fecha de entrega: 8 de Octubre de 2019

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis está dedicada a mi padre, hermano y parientes, por su apoyo y empuje durante toda la carrera. Y también a esas personas que hoy ya no están presentes pero que siempre he sentido su apoyo desde el cielo.

-Un especial agradecimiento al Dr. Matías Schierenbeck y la Dra. María Rosa Simón por su constante dedicación, apoyo y ayuda a lo largo del desarrollo de este trabajo. Y también a la Dra. Ginna Paola Rozo Ortega por su colaboración y su aporte ya que mi trabajo forma parte de su tesis doctoral.

- A mis compañeros y amigos de la Facultad y de la vida, quienes siempre preguntaban y se preocupaban por mi avance y por no bajar los brazos a lo largo de esta etapa universitaria.

- Al Ing. Agr Martín Pardi, personal no-docente de la Estación Experimental J.Hirschhorn y otras personas por su colaboración en la conducción de los ensayos a campo.

Organización de la tesis

	Página
Resumen	4
INTRODUCCIÓN GENERAL	
1.1 Descripción del cultivo, situación mundial y nacional.	5
1.2 Enfermedades fúngicas que afectan el cultivo de trigo.	7
1.3 Roya de la hoja en trigo	8
1.4 Efecto de enfermedades fúngicas sobre la generación de biomasa y rendimiento en trigo.	10
1.5 Fungicidas como herramienta de manejo en el cultivo de trigo.	12
OBJETIVOS E HIPÓTESIS DEL TRABAJO	
2.1 Hipótesis	13
2.2 Objetivo general	14
2.3 Objetivos específicos	14
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1 Diseño experimental del ensayo a campo.	14
3.2 Evaluaciones realizadas.	16
RESULTADOS	
4.1 <i>Condiciones climáticas</i>	18
4.2 <i>Evolución de las enfermedades durante el llenado de granos</i>	20

<i>4.3 Respuestas de la duración de área foliar total y verde ante la presencia de las enfermedades foliares</i>	22
4.4 Biomasa aérea en tres estadios y acumulada en post- antesis	23
4.5 Radiación fotosintéticamente activa absorbida (RFAa) en post-antesis y Eficiencia en el uso de la radiación absorbida (EURabs)	26
4.6 Incidencia de las enfermedades foliares en el rendimiento y sus componentes	30

DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES

5.1 Discusión	33
6.2 Conclusiones	41
6.3 Bibliografía	42

RESUMEN

La roya de la hoja (RH) (*Puccinia triticina* Eriks) constituye una de las principales restricciones bióticas que afectan la expresión de los rendimientos del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en todo el mundo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de inoculaciones artificiales de este patógeno fúngico biotrófico, sobre los atributos ecofisiológicos vinculados a la generación de biomasa y rendimiento. Se condujo un ensayo durante 2017 en la Estación Experimental J.Hirschhorn (FCAyF-UNLP; La Plata, Argentina) utilizando un diseño de parcela dividida en bloques al azar con tres repeticiones. La parcela principal fue el tratamiento de fungicidas: 1) con fungicida (CF); 2) sin fungicida (SF) y las subparcelas, cuatro genotipos trigos primaverales proveniente del cruzamiento *Seri* × *Babax* (S×B3, S×B10, S×B84 y S×B146) pertenecientes al Programa de Mejoramiento del CIMMyT. Se realizaron evaluaciones de severidad (% de hoja cubierta por la enfermedad) de las enfermedades presentes más importantes desde antesis+10 hasta madurez fisiológica, se estimó el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), biomasa aérea, duración del área foliar verde (DAFV) y total (DAFT), radiación fotosintéticamente activa absorbida (RFAa), eficiencia de uso de la radiación (EUR), rendimiento y sus componentes. Los tratamientos inoculados con *P. triticina* redujeron la biomasa aérea acumulada en post antesis un 68,5% frente al tratamiento protegido, explicado por disminuciones en la DAFV (-67%), la RFAa (-60%) y EUR (-23,2%). La reducción en el rendimiento (26,4 a 64,4% en los distintos genotipos) se debió a las disminuciones que RH provocó en el número de granos.m⁻² (0,9% a 36,3 %) y en el peso de mil granos (20,9% a 44%). Los resultados indican que el tratamiento con fungicida disminuyó la severidad, ABCPE, lo cual permitió mayor DAFV, RFAa, mayor EURa e incrementos en la biomasa aérea en post-antesis. Efectos positivos de la utilización de fungicidas permitieron incrementar el rendimiento y sus componentes.

1 INTRODUCCION.

1.1 Descripción del cultivo, situación mundial y nacional.

El trigo pan (*Triticum aestivum L.*) representa el 30% de la producción mundial de cereales, el 20% de las calorías consumidas en la dieta humana (FAO, 2014) y una importante fuente de proteínas en países en desarrollo (Pierbattisti, 2016). La distribución geográfica mundial de este cultivo, es muy amplia debido a su gran importancia como fuente de alimento. Por su parte, es considerado único por las propiedades especiales de su harina, la cual forma una masa cohesiva utilizada en todo tipo de panificaciones (Peña *et al.*, 2005; De la Horra *et al.*, 2012).

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) indicó que la producción mundial de trigo para la campaña 2018/2019 fue de 730,9 millones de toneladas (MT), siendo los principales productores la Unión Europea (137,6 MT), China (131,43 MT), India (99,7 MT), Rusia (71,6 MT) y Estados Unidos (51,28 MT) (World Wheat Production, 2019) en una superficie de 220 millones de hectáreas cosechadas, lo que representa un tercio de los suelos cultivados del mundo (Satorre & Slafer, 1999).

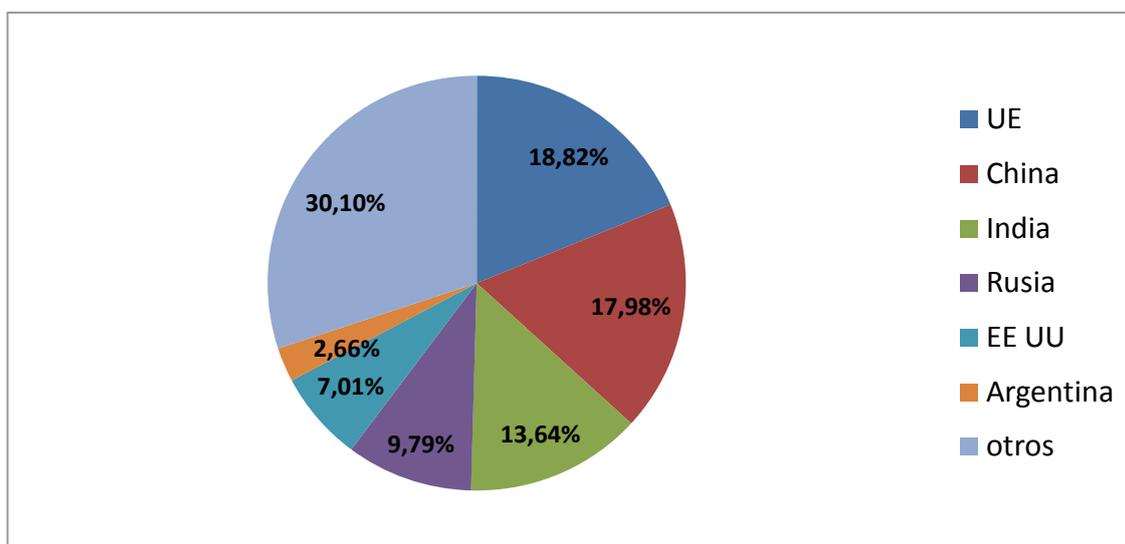


Gráfico 1. Producción mundial de trigo por países (estimación campaña 18/19) (Fuente: World Wheat Production, 2019).

Estudios realizados por Byrnes & Bumb (1998) estiman que para el año 2025 la producción de trigo deberá superar los 1000 MT para poder satisfacer la creciente

demanda mundial. Asimismo, estudios recientes de Godfray *et al.*, (2010) y Hall & Richards (2013) indican que la población mundial alcanzará los 9500 millones de habitantes en 2050 y que la demanda mundial de alimentos aumentará a una tasa anual del 1,6% aproximadamente. Teniendo en cuenta esta proyección, el rendimiento promedio mundial debería llegar a 4,4 t/ha. Ante esta problemática, diversos autores concuerdan en que el aumento del rendimiento es la estrategia más factible para alcanzar los niveles de demanda proyectados (Evans, 1999; Borlaug, 2007) ya que el incremento de superficies productivas implicaría la destrucción de ecosistemas naturales incrementado el efecto negativo que el cambio climático ya ejerce sobre el cultivo. Lo mencionado anteriormente constituye un desafío muy grande para la agricultura mundial ya que actualmente, el rendimiento promedio se encuentra cercano a las 3,26 t/ha.

En nuestro país, el trigo ha sido el cereal de siembra invernal más importante históricamente. La superficie sembrada tuvo fluctuaciones con picos de 7 Mha en el año 2000, momento a partir del cual disminuyó drásticamente debido fundamentalmente a restricciones en la comercialización y al insuficiente incentivo para la siembra, produciéndose nuevamente un incremento en los últimos años. Para la última campaña, informes elaborados por la Bolsa de Comercio de Rosario (2019) mostraron una superficie sembrada de 6,46 Mha, una producción de 19 MT y un rendimiento promedio nacional de 3,07 t/ha. Por su parte, el sector productivo argentino se encamina a obtener en esta campaña una cosecha récord de trigo, sobre la base de una superficie estimada en 6,87 Mha, que si bien seguirán revisándose mensualmente hasta llegar a la configuración final, representan un aumento del 6,4% respecto a la anterior campaña. Con rindes tendenciales, ello facilitaría una producción de 21,5 MT y un rendimiento promedio nacional de 3,2 t/ha, habilitando una nueva marca histórica para las exportaciones del grano. Las estimaciones de producción para la campaña 2019/20, pese a los problemas de excesos hídricos en el inicio, la dificultad de cambiar de ciclo de semilla y una nueva ola de entusiasmo por el maíz

que limitaron la posibilidad de alcanzar los 7 Mha, son igualmente muy prometedoras y apuntan a dejar un nuevo hito en la historia del trigo.

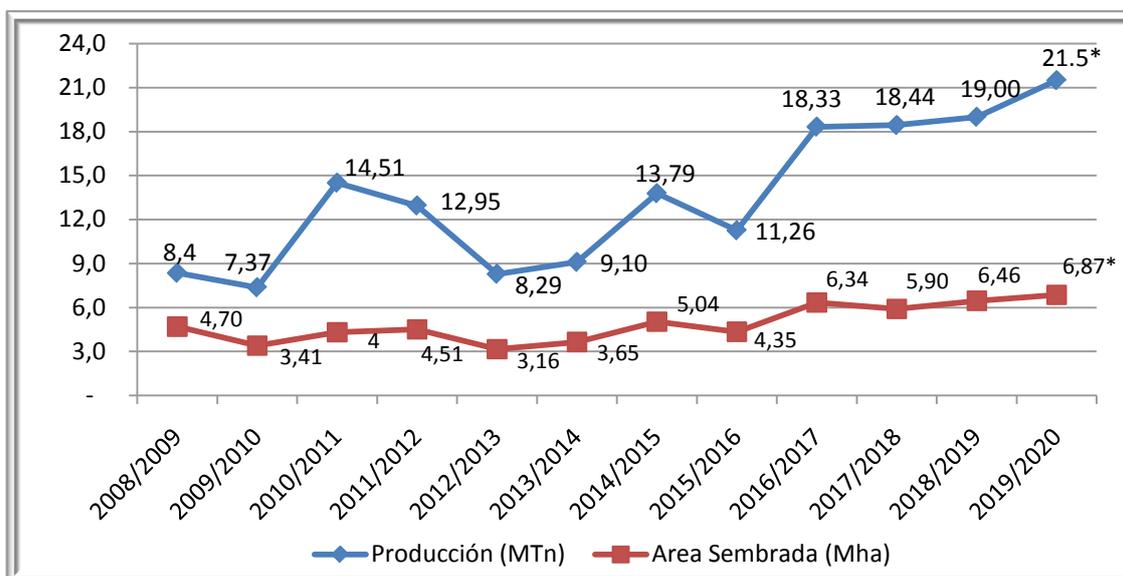


Gráfico 2: Datos de trigo en el último decenio en Argentina (Bolsa de Comercio de Rosario, 2019).*Estimado

1.2 Enfermedades fúngicas que afectan el cultivo de trigo.

El cultivo de trigo puede ser afectado por un grupo considerablemente amplio de agentes patógenos. Estos organismos parásitos utilizan los tejidos de la raíz, tallos, hojas y espigas para cumplir su ciclo de vida a expensas de la planta (Wiese, 1977; Zillinsky, 1984). Dentro de dichos patógenos se destacan los agentes causales de enfermedades de origen fúngico, principalmente foliares. La importancia de este complejo fúngico aumenta particularmente en relación con las condiciones climáticas del norte de la provincia de Buenos Aires, sur de Santa Fe y sur de Córdoba, caracterizadas por inviernos benignos y primaveras lluviosas que favorecen el desarrollo de diversas patologías, entre ellas, roya de la hoja (*Puccinia triticina* Eriks), mancha amarilla (*Drechslera tritici-repentis* Died Shoemaker/ teleomorfo *Pyrenophora tritici-repentis* Died Drechs), septoriosis o mancha de la hoja (*Zymoseptoria tritici* (Desm.) Quaedvlieg & Crous/ teleomorfo *Mycosphaerella graminicola* Fuckel Schroter in Cohn) que también se ve favorecida en el SE de la

Provincia de Buenos Aires, especialmente por la humedad, golpe blanco o fusariosis de la espiga (*Fusarium graminearum* Schwabe), oidio (*Blumeria graminis* (DC.) E.O. Speer f.sp. *tritici* /*Oidium monilioides*), y pietín (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*). Por su difusión, frecuencia de aparición y niveles de desarrollo epidémico, se considera a estas enfermedades como las de mayor importancia relativa por los daños que ocasionan al trigo (Annone, 2001; Schierenbeck, 2015). En los últimos años también ha sido de notoria importancia en varias regiones trigueras, la roya amarilla causada por *Puccinia striiformis* Westend. f. sp. *tritici* Erikson.

Las enfermedades causadas por hongos se clasifican en función del hábito nutricional del patógeno: (i) biotróficos, definidos como los patógenos que obtienen nutrientes del tejido vivo del hospedante (ej. *Puccinia triticina* y *Blumeria graminis*); (ii) necrotróficos, son hongos que causan la muerte de tejidos, obtienen su energía a partir de éstos y frecuentemente producen toxinas (ej. *Pyrenophora tritici-repentis*); y (iii) situaciones intermedias, es decir patógenos hemibiotróficos, donde el organismo cumple una etapa asintomática sobre tejido vivo, pero a medida que avanza la infección se establecen finalmente como necrotróficos (ej. *Zymoseptoria tritici*) (Koeck *et al.*, 2011). Por otro lado, dependiendo del número de ciclos que cumpla el patógeno, algunos hongos sólo cumplen un ciclo por año, es decir son monocíclicos, en tanto que otros son policíclicos, cumpliendo varios ciclos por año. Estos últimos, pueden causar epifitias que son rápidas y explosivas (Wiik, 2009).

1.3 Roya de la hoja en trigo

Puccinia triticina (organismo causal de roya de la hoja) es un patógeno biotrófico policíclico que obtiene los nutrientes únicamente de tejidos vivos y utiliza estos recursos para su crecimiento y esporulación (Voegelé & Mendgen 2011; Ney *et al.*, 2013). Los procesos de infección requieren condiciones climáticas particulares, siendo favorables para su desarrollo temperaturas de 15 a 22 °C, con una óptima de 20 °C y un período de mojado de hoja o rocío no menor a 6 horas (Prescott *et al.*, 1986). El

patógeno puede completar su ciclo de infección a formación de nuevas pústulas en períodos relativamente cortos (8 a 10 días), por lo que su desarrollo epidémico se hace exponencial en forma rápida (Roelfs *et al.*, 1992). Los síntomas generados por *P. triticina* se presentan como pústulas rojizo-anaranjadas subepidérmicas (Ilustración 1). Los uredosoros de aproximadamente 2 mm se distribuyen irregularmente en el haz de la hoja, pudiendo alcanzar las vainas y espiguillas. Al final del ciclo del cultivo aparecen teleosoros castaño oscuros a negros, dispuestos al azar en el envés de las hojas y en las vainas.



Ilustración 1. Sintomatología de roya de la hoja (Adaptado de Nigel Cattlin).

A nivel mundial, Roelfs *et al.*, (1992) han mencionado que las pérdidas debidas a *P. triticina* son usualmente pequeñas (menores al 10%), pero pueden ser severas (30% o más). Por otro lado, Huerta-Espino *et al.*, (2011) mencionaron que las pérdidas de rendimiento ocasionadas por la enfermedad pueden alcanzar el 50%. En tanto que, para nuestro país, Campos (2014) documentó pérdidas superiores al 30% en cultivares altamente susceptibles.

La importancia de la enfermedad está asociada a la gran cantidad de superficie sembrada con cultivares susceptibles, lo que provoca una mayor producción de esporas. Esto último, ocasiona que una mayor cantidad de inóculo sobreviva en el verano y así, exista un reservorio de esporas para el siguiente ciclo del cultivo.

1.4 Efecto de enfermedades fúngicas sobre la generación de biomasa y rendimiento en trigo.

El rendimiento en grano del cultivo puede expresarse a través de la cantidad de biomasa generada y la proporción de ésta que es particionada hacia los órganos reproductivos, a esta relación se la conoce como índice de cosecha (IC) (Van der Werf, 1996; Bingham *et al.*, 2009). A su vez la producción de biomasa está determinada por la cantidad de radiación incidente durante el periodo de crecimiento (R inc), la eficiencia en la intercepción de radiación (% RI), la cual es función del índice de área foliar (IAF) y de la arquitectura del canopeo (determinada por el coeficiente k de extinción) (Miralles & Slafer, 1997); y la eficiencia de uso de la radiación (EUR) (Evans *et al.*, 1978; Gardner, 1985) (Gráfico 3).

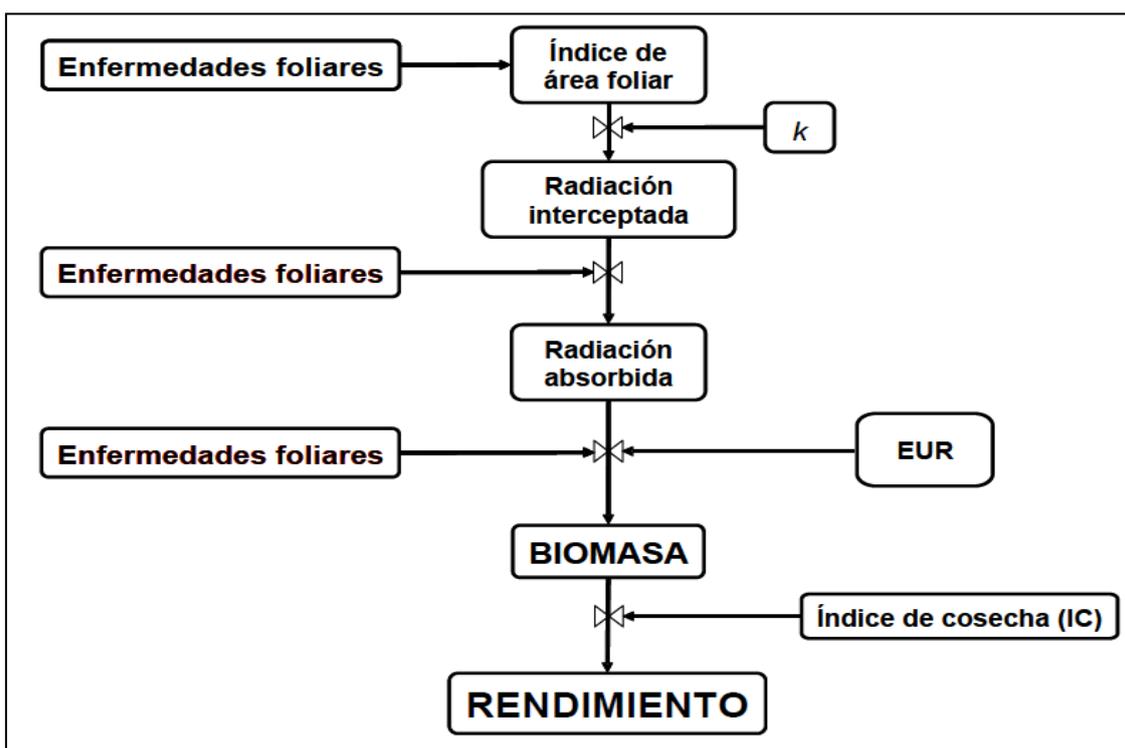


Gráfico 3. Esquema teórico de generación de biomasa y rendimiento en el cultivo de trigo. Se detallan los diferentes procesos que podrían ser afectados por las enfermedades foliares (Adaptado de Rabbinge, 1993).

Las enfermedades foliares pueden producir efectos variables sobre estos atributos que junto con el IC determinan el rendimiento del cultivo. En este sentido, Schierenbeck *et al.*, (2016) determinaron que tanto *P. triticina* como *Py. tritici-repentis*

disminuyen la radiación interceptada y absorbida por tejido verde, aunque *P. triticina* causa un mayor efecto sobre la eficiencia de uso de radiación.

En este sentido se ha documentado que las enfermedades causadas por patógenos biotróficos (como *P. triticina*) producen profundos cambios en la fisiología de los hospedantes, ya que alteran el metabolismo de las plantas al parasitar las células vivas. Su presencia en el cultivo puede producir reducciones en la acumulación de biomasa debido a una disminución del área y de la capacidad fotosintética de las hojas, un aumento de la tasa respiratoria, la transpiración y una reducción de la tasa de translocación de los órganos afectados (McNew, 1960; Robert *et al.*, 2004; Agrios, 2005; Robert *et al.*, 2005; Serrago *et al.*, 2009; Schierenbeck *et al.*, 2016). Según Waggoner & Berger (1987), de los dos componentes fisiológicos determinantes de la biomasa aérea, las enfermedades afectan principalmente la eficiencia de interceptación de radiación (%RI) principalmente por reducciones de la cobertura verde (caída de hojas o muerte acelerada de macollos) y por área foliar enferma (y/o senescente), que no podrá ser utilizada para la generación de biomasa (Carretero *et al.*, 2009). El efecto de las enfermedades fúngicas foliares sobre el otro atributo que interviene en la producción de biomasa, la EUR, presenta resultados contradictorios entre diferentes autores. Bancal *et al.*, (2007) estudiando un “complejo de enfermedades foliares” en trigo sugieren que este atributo no se vería afectado. En el mismo sentido, Serrago *et al.*, (2009) reportaron que reducciones en la producción de biomasa post-floración debido a enfermedades foliares se debieron principalmente a disminuciones en el IAF total, IAF verde y a la duración del área foliar verde (DAFV) provocando una reducción en la capacidad del canopeo para interceptar radiación cuando predominaron enfermedades causadas por patógenos necrotrofos (como *Py.tritici-repentis*). Por otro lado, Robert *et al.*, (2005) consideran que la EUR se vería modificada según el hábito nutricional del patógeno y argumentan que enfermedades originadas por patógenos biotróficos podrían tener algún efecto sobre este atributo, debido a la interacción particular que este tipo de patógenos establece con las células del

hospedante. Estos cambios podrían ser debidos a reducciones en la tasa de fotosíntesis foliar (Rabbinge *et al.*, 1985; Zuckerman *et al.*, 1997), a aumentos en la tasa de respiración de los tejidos o a un consumo directo de asimilados (Boote *et al.*, 1983) y/o nitrógeno por parte de los patógenos (Schierenbeck *et al.*, 2019).

1.5 Fungicidas como herramienta de manejo en el cultivo de trigo.

Los fungicidas constituyen una importante herramienta en el control de enfermedades foliares para la producción de trigo (Gooding, 2006). La aplicación eficiente de los mismos, ha producido aumentos significativos en los rendimientos y la calidad comercial en el orden del 10-32% respecto al testigo sin control según momento de aplicación, tipo de molécula fúngica y susceptibilidad de los genotipos en relación a las enfermedades foliares (Castellarín *et al.*, 2004). El grupo de fungicidas más utilizado para el control de enfermedades foliares es el de los triazoles, los cuales se caracterizan por su acción sistémica, afectando las membranas de los patógenos mediante la inhibición de la síntesis de los esteroides (ISE). Los triazoles presentan efectividad sobre patógenos foliares (manchas, oídios y royas) y algunos para fusariosis. Las estrobilurinas son otro de los grupos de fungicidas ampliamente utilizados y poseen acción oligosistémica, alteran procesos respiratorios en mitocondrias, inhibiendo la respiración mitocondrial debido al bloqueo de la transferencia de electrones en el complejo del citocromo-bc 1. En este sentido, Dimmock & Gooding (2002) documentaron que la inclusión de estrobilurinas en los fungicidas para el control de enfermedades foliares en trigo, está asociada a aumentos en el rendimiento en grano, peso específico del grano y peso de mil granos. Dichos aumentos estarían relacionados con una prolongación del periodo verde de la hoja bandera, que contribuye con un 30-50% de los fotoasimilados para el llenado de grano, por lo que la longevidad de ésta se correlaciona estrechamente con la acumulación de materia seca en el grano. De esta forma, cualquier estrategia para proteger la senescencia de la hoja bandera es importante para asegurar altos

rendimientos y calidad (Blandino & Reyneri, 2009). Las carboxamidas al igual que las estrobilurinas inhiben la respiración mitocondrial pero a nivel del complejo II (Arregui & Puricelli, 2008). Poseen una elevada especificidad contra Basidiomicetes (agentes causales de royas y carbones) además de generar efectos positivos en la fisiología del vegetal como un aumento en la eficiencia de uso de agua (Smith *et al.*, 2013). Sumado a esto, se ha documentado que la incorporación de carboxamidas en las mezclas dobles de triazol + estrobilurina han mostrado tener un mejor efecto de control sobre la roya de la hoja en trigo (Fleitas *et al.*, 2015) y sobre manchas foliares en cebada (Carmona & Sautua, 2015). Teniendo en cuenta estos antecedentes, este trabajo final de carrera plantea evaluar la severidad de roya de la hoja y su efecto sobre la producción de biomasa, EUR, radiación fotosintéticamente activa absorbida (RFAa), rendimiento, componentes de rendimiento en cuatro genotipos pertenecientes al programa de mejoramiento del CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) con y sin aplicación de fungicidas, con el objetivo de contribuir a la comprensión de los efectos que ejerce este patógeno sobre la producción de biomasa y rendimiento.

2 OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE TRABAJO

2.1 Hipótesis

- Infecciones de *Puccinia triticina* generan reducciones en la generación de biomasa y rendimiento debido al impacto que este patógeno genera en los distintos atributos ecofisiológicos vinculados a estas variables.
- Los efectos de infecciones de *Puccinia triticina* en los atributos ecofisiológicos vinculados a la generación de biomasa y rendimiento, muestran respuestas diferenciales según los genotipos evaluados.
- Las aplicaciones de fungicida provocan reducciones en la severidad de roya de la hoja, provocando aumentos de rendimientos asociados a la mantención del

área foliar fotosintética, incrementos en la radiación absorbida por el cultivo durante el llenado del grano ya que evitan el consumo de fotoasimilados por parte del patógeno.

2.2 Objetivo general

Contribuir a la comprensión del efecto de roya de la hoja sobre los atributos ecofisiológicos asociados a la producción de biomasa y rendimiento en trigo y el efecto de los fungicidas en estos parámetros.

2.3 Objetivos específicos

- Evaluar la variabilidad genotípica para severidad de roya de la hoja, radiación absorbida e interceptada por el cultivo en post-antesis, producción de biomasa, eficiencia de uso de la radiación y rendimiento en cuatro cultivares de trigo con y sin control de enfermedades.
- Evaluar la variabilidad en la respuesta a infecciones de *P.triticina* en cuatro genotipos con y sin aplicación de fungicidas.
- Evaluar el efecto de los fungicidas sobre parámetros asociados a severidad, atributos asociados a la generación de biomasa y rendimiento en cuatro genotipos.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Diseño experimental del ensayo a campo.

Se condujo un ensayo en la Estación Experimental de los Hornos, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de La Plata. Se utilizó un diseño de parcela dividida en bloques al azar con tres repeticiones. La parcela principal fue el tratamiento de fungicidas: 1) con fungicida (CF); 2) sin fungicida (SF) y las subparcelas, cuatro genotipos trigos primaverales proveniente de un cruzamiento *Seri* × *Babax* (S×B3, S×B10, S×B84 y S×B146) pertenecientes al Programa de Mejoramiento del CIMMYT.

La preparación del suelo consistió en un esquema de labranza convencional, mediante disco, rastra y rolo. En las parcelas se realizó un barbecho químico con glifosato y en post-emergencia temprana se aplicó 100 cm³ + 5 g/ha (dicamba 48% - metsulfurón metil 60%). La siembra se llevó a cabo en el mes de julio utilizando una sembradora experimental a 20 cm entre líneas con una densidad de 250 plantas/m². Las parcelas tuvieron un largo de 5,50 m y un ancho de 1,40 m (7,7 m²).

El esquema de fertilización consistió en la aplicación dividida de 100 kg N/ha en dos momentos bajo la formulación de urea granulada (46-0-0). La primera fertilización se realizó a la siembra y la segunda a fines de macollaje (EC24) (Zadoks *et al.* 1974). La fertilización fosforada se realizó a la siembra mediante la aplicación de fosfato tricálcico granulado (0-46-0) a razón de 50 kg/ha.

A las subparcelas con fungicida se les aplicó la triple mezcla Basf Orquesta Ultra compuesta (1,2 l/ha) por Fluxapyroxad 50 g/l (carboxamida), Epoxiconazole 50 g/l (triazol) y Pyraclostrobin 81 g/l (estrobilurina) para asegurar un testigo con baja infección en cuatro estadios: 2-3 hojas, encañazón (EC31), hoja bandera desplegada (EC39) y anthesis (EC60). Las subparcelas sin fungicida (SF) fueron inoculadas con esporas de *P. triticina* en EC33 (3 nudos) y EC60. Para la inoculación se utilizó una mezcla de razas de alta frecuencia en nuestra zona triguera y virulentas sobre los cultivares en estudio, provistas por el Ing. Pablo Campos del INTA Bordenave. Para la vehiculización del inóculo, se utilizó talco común y se lo espolvoreó sobre las hojas con 0,5 mg de esporas por planta (Shtaya, 2015). Entre las sub-parcelas de fungicidas se realizó la intersembrado (7,7 m²) de avena (*Avena sativa* L) para disminuir el traspaso de inóculo entre parcelas SF y CF.



Ilustración 2. a-Siembra del ensayo; b -Vista parcial de la distribución de los bloques e intersiembra de avena para reducir la transmisión de inóculo.

3.2 Evaluaciones realizadas.

Se realizaron evaluaciones de severidad (% de hoja cubierta por la enfermedad) de las enfermedades presentes más importantes desde antesis+10 hasta madurez fisiológica en todas las hojas verdes de 10 macollos por parcela. Con estos datos se determinó el área bajo la curva de progreso de las enfermedades, ABCPE (Shaner & Finney, 1977).

En cada parcela, se determinó la biomasa aérea a partir de la extracción de una superficie de 0,30 m² (sectores de 0,5 m de tres surcos contiguos) y su posterior secado en estufa a 70°C durante 48 h en tres estadios [Antesis +10 días (Ant+10), Antesis +25 días (Ant+25) y Madurez fisiológica (MF)].

La Radiación Incidente (I_o) y Radiación transmitida (I_t) en post-antesis fueron evaluadas mediante un ceptómetro Cavadevices que cuantifica el flujo de fotones recibido expresado en $\mu\text{mol fotones m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Las mediciones se realizaron entre las 11 y las 14 h, con cielo despejado, en los tres estadios en que se evaluó la biomasa aérea. Dichas mediciones se realizaron en los surcos centrales de cada parcela determinando la radiación incidente (I_o) inmediatamente encima del canopeo y la radiación transmitida (I_t) a la base del cultivo (superficie del suelo) ubicando el sensor

en cinco posiciones a lo largo del entre-surco utilizando para los cálculos correspondientes el promedio de estas cinco mediciones. La E_i se calculó como la diferencia entre la radiación incidente y la transmitida, sobre la radiación incidente ($E_i = [I_o - I_t]/I_o$). Teniendo en cuenta las determinaciones de severidad de cada evaluación, se calculó la Eficiencia de absorción (E_a) como el % de radiación que es absorbida por tejido funcional (IAFV) sobre el total de la radiación incidente, siendo la fórmula para un momento determinado [$E_a = E_i * (1 - \%Severidad/100)$].

La eficiencia de intercepción (E_i) para los días entre fechas sucesivas de muestreo se obtuvo por interpolación lineal. Con el cálculo diario de estas eficiencias y la radiación fotosintéticamente activa incidente diaria (RFA) obtenida de una estación meteorológica situada en el lugar de los experimentos, se calculó la cantidad de RFA absorbida en post-antesis. La eficiencia de uso de la radiación absorbida (EURabs) se calculó como la pendiente de la regresión entre la biomasa generada acumulada en post-antesis como variable dependiente y la radiación absorbida acumulada durante el mismo periodo.

Se evaluó también a la cosecha, el rendimiento y sus componentes: espigas.m⁻² (conteo de espigas en 5 metros lineales de cada parcela), granos.espiga⁻¹ (contando granos en 20 espigas por parcela), peso de mil granos (pesando los granos de la determinación anterior) y se determinó el rendimiento a la cosecha.

Las diferencias en las variables entre los genotipos, en los tratamientos con y sin fungicida se analizaron mediante análisis de varianza (ANVA) y las medias se compararon mediante LSD ($P < 0.05$) mediante el programa GenStat 12th edition.



Ilustración 3. a-Corte de biomasa aérea; b-Colocación de red antipájaros; c y d-Cosecha de parcelas.

4. RESULTADOS

4.1 Condiciones climáticas

Los datos climáticos de la Tabla 1 fueron registrados en una estación meteorológica Davis Vantage Pro2 situada en las cercanías de los ensayos.

Tabla 1. Temperatura media, humedad relativa ambiente, radiación incidente y precipitaciones registradas durante 2017 y media histórica (1964 a 2014) en la localidad de Los Hornos, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

	Temperatura (°C)		Humedad (%)	Radiación (Watt/m ²)	Precipitación (mm)	
	2017	1964-2014			2017	2017
Junio	11,9	10,6	72	1965	3,4	54,3
Julio	11,9	10,2	83	1622	104,7	64
Agosto	13,2	11,5	76	2612	100,6	61,5

Septiembre	14,0	13,5	83	3733	104,6	69,8
Octubre	16,2	16,5	76	5392	95	96,4
Noviembre	18,3	19,2	69	6583	24,2	98,4
Diciembre	22,2	22,3	70	6827	104,0	78,9
			Total	28734	536,5	523,3

Durante el 2017 se registraron mayores precipitaciones en los meses de julio, agosto, septiembre y diciembre con respecto a la precipitación media histórica.

Si se tiene en cuenta la precipitación acumulada entre julio y noviembre, en 2017 se registraron 429,1 mm, en tanto que en la media histórica se registraron 390,1 mm para el mismo periodo. Las temperaturas medias presentaron valores más bajos en los meses de octubre, noviembre y diciembre con respecto a la media histórica (Gráfico 4).

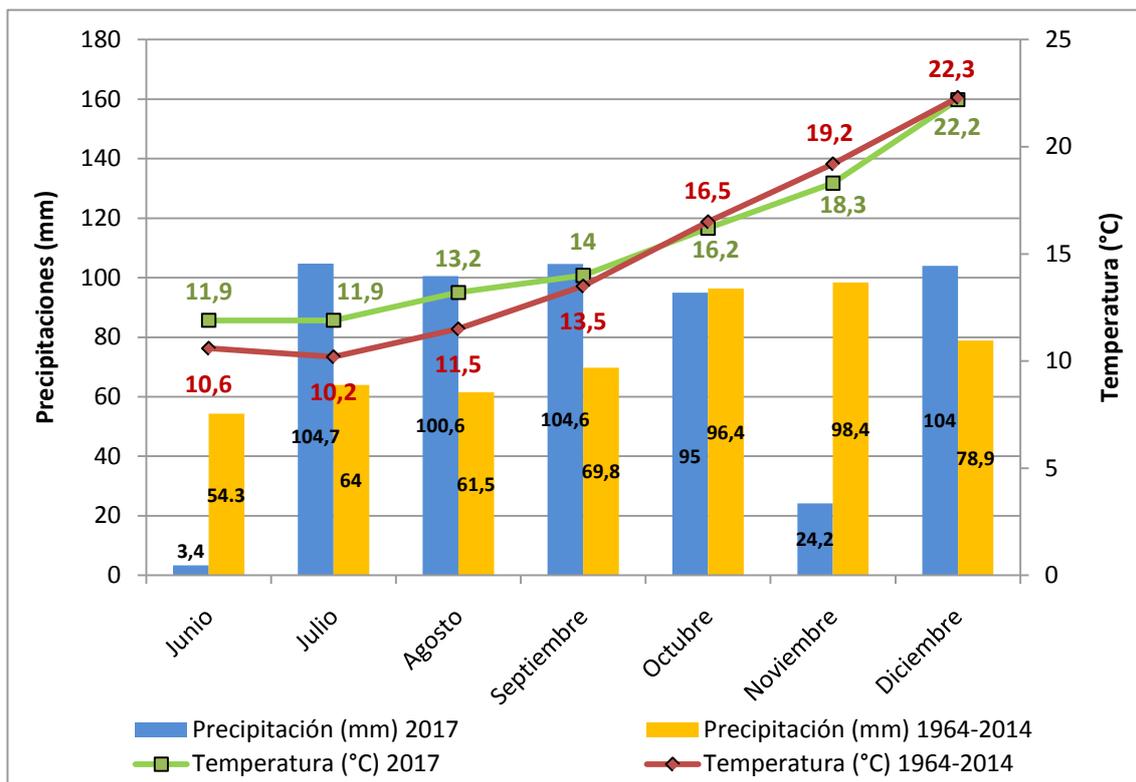


Gráfico 4. Comparativa de precipitaciones y temperaturas históricas con los datos registrados durante el 2017 en la Estación Experimental Julio Hirschhorn, Los Hornos.

4.2 Evolución de las enfermedades durante el llenado de granos

La dinámica de enfermedades en post-antesis presentó un mayor porcentaje de severidad en el tratamiento sin fungicidas (SF) comparado con el tratamiento con fungicidas (CF) en el que, si bien hubo presencia de las enfermedades, estas fueron en magnitudes menores debido a las aplicaciones, las cuales de cualquier manera no pudieron controlar en forma total las enfermedades (Gráfico 5).

El tratamiento CF tuvo menor porcentaje de severidad comparado con el tratamiento SF. Comparando estos últimos tratamientos, el mayor % de severidad lo tuvo el genotipo S×B10 (Gráfico 5b). Mientras que para los tratamientos CF, el menor % de severidad lo tuvo el genotipo S×B146 (Gráfico 5d).

Durante el ensayo, el patógeno inoculado *P.triticina* fue predominante. Sin embargo, también se evidenció la presencia de enfermedades hemibiotróficas (*Z. tritici*), necrotróficas (*Py. tritici-repentis*) y biotróficas [*P. striiformis* (durante el llenado) y *P. graminis* (a fin del llenado)] en las parcelas enfermas. Las dinámicas de severidad se describen en el Gráfico 5.

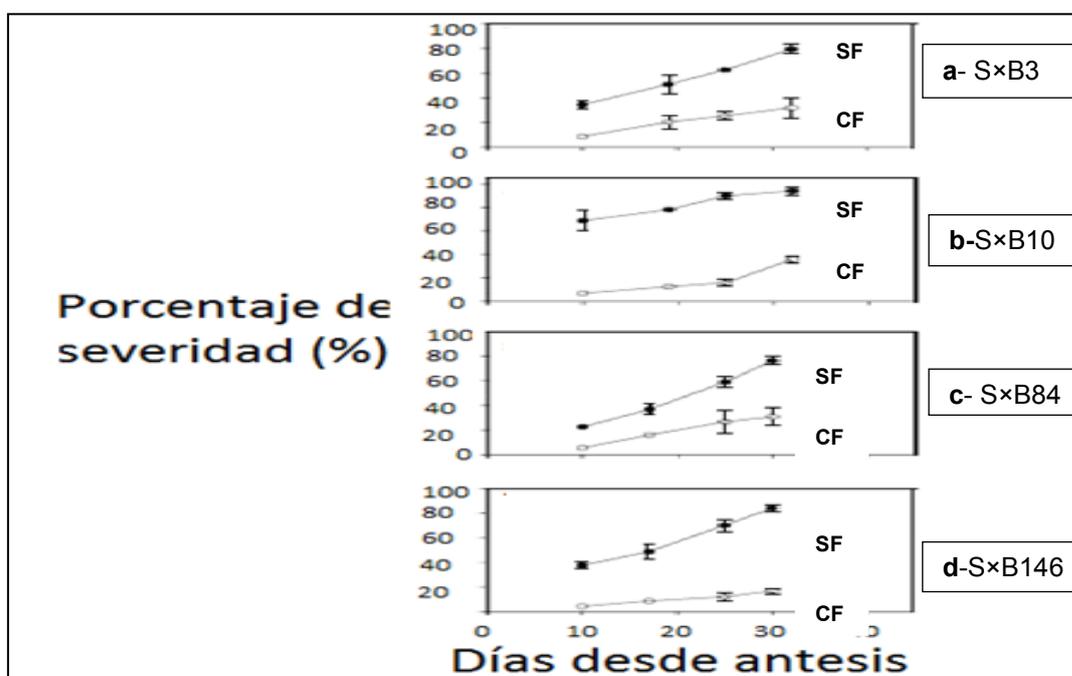


Gráfico 5. Dinámica del porcentaje de severidad de las enfermedades foliares durante el llenado de los granos, cada punto representa el promedio de las tres repeticiones para el tratamiento con fungicida (círculos vacíos) y el tratamiento sin fungicida (círculos llenos) para los genotipos S×B3 (a), S×B10 (b), S×B84 (c) y S×B146 (d).

El ABCPE tomada de las dinámicas de severidad durante el llenado de los granos se indica en la Tabla 2. Los resultados del análisis de varianza del ABCPE, mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los *Genotipos (G)* y *Tratamientos (T)* así como interacciones entre *Genotipos y Tratamientos (G × T)* significativas. Las medias del ABCPE del tratamiento SF fueron mayores comparadas con el tratamiento CF y esta respuesta se dio generalmente en todos los genotipos. En términos generales, el ABCPE del tratamiento SF fueron mayores comparadas con el tratamiento CF y esta respuesta se dio generalmente en todos los genotipos. En términos generales, el ABCPE del tratamiento SF fue 345,6 % mayor que en el tratamiento CF. Al realizar comparaciones dentro de cada genotipo entre los tratamientos, para el CF, el genotipo S×B146 fue el que mostró el menor valor de ABCPE, sin embargo para el tratamiento SF el ABCPE se incrementó un 574,5%. Contrariamente el genotipo S×B10 fue el que registró el mayor valor de severidad para el tratamiento SF, mostrando un incremento del ABCPE respecto al tratamiento CF de 491,1%. Por su parte, los genotipos S×B3 y el S×B84 mostraron incrementos intermedios del ABCPE en los tratamientos SF respecto a los tratamientos CF, de 246,6% y 218,7% respectivamente.

Tabla 2. Medias de área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), correspondiente a los Genotipos S×B3, S×B10, S×B84 y S×B146 con los respectivos tratamientos con fungicida (CF) y sin fungicida (SF) y la interacción Genotipos × Tratamientos.

Comparación de medias		ABCPE
Genotipos		
S×B3		881 b
S×B10		1100 a
S×B84		671 c
S×B146		729 bc
Tratamientos		
Con fungicida (CF)		379 b
Sin fungicida (SF)		1310 a
Genotipos × Tratamientos		
S×B3	CF	508 d
	SF	1253 b
S×B10	CF	372 de
	SF	1827 a
S×B84	CF	421 de
	SF	921 c
S×B146	CF	216 e
	SF	1241 b
Genotipos (G)		**
Tratamientos (T)		**
G × T		**

Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD $P < 0.05$ ** y $P < 0.10$ * para Genotipos, Tratamientos y Genotipos × Tratamientos (G × T).

El siguiente histograma del Gráfico 6 compara los valores de ABCPE en los distintos genotipos para el tratamiento CF con el tratamiento SF. Como se puede observar, la

tendencia indica que los genotipos del tratamiento SF presentan mayor ABCPE, demostrando mayor severidad que los del tratamiento CF.

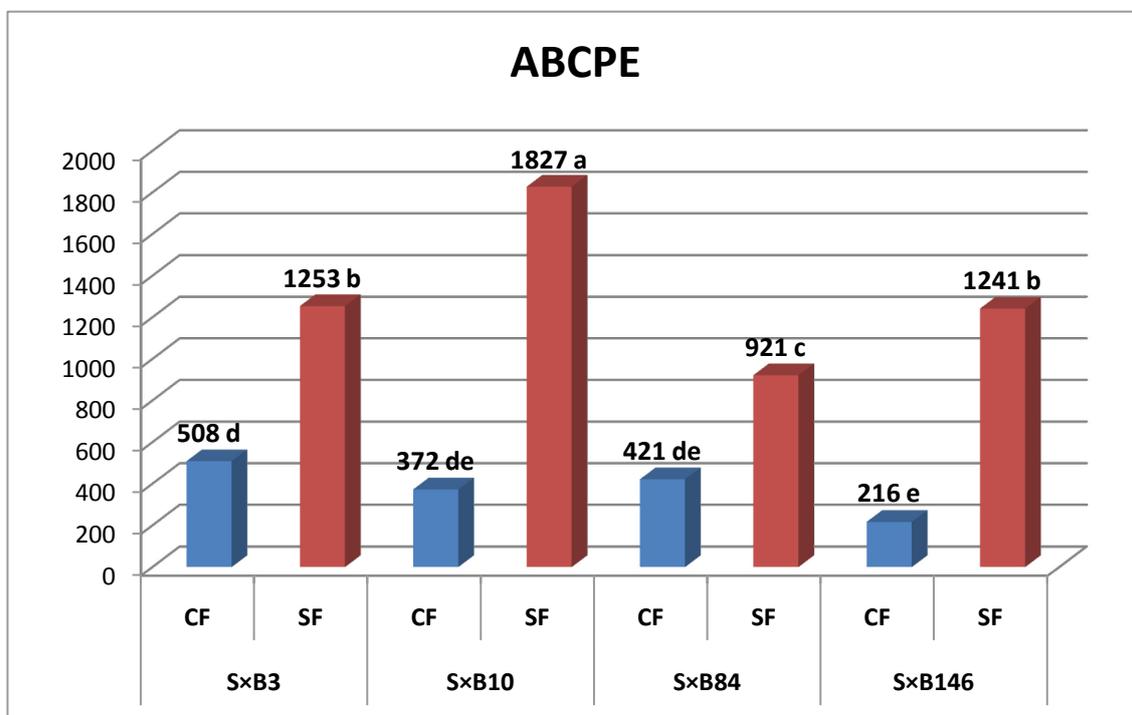


Gráfico 6. Histograma comparando el tratamiento CF con el SF para área bajo la curva de progreso de la enfermedad en los cuatro genotipos SxB3, SxB10, SxB84 y SxB146. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias

4.3 Respuestas de la duración de área foliar total y verde ante la presencia de las enfermedades foliares

La duración de área foliar total DAFT (m^2/m^2 días) y la duración de área foliar verde DAFV (m^2/m^2 días) presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos CF y SF, para la DAFT estas reducciones fueron del 43,28% mientras que para la DAFV del 67,05%.

Tanto en la DAFT como en la DAFV, no hubo diferencias significativas entre genotipos y tampoco en la interacción entre $G \times T$. En esta última, para la DAFT, las reducciones variaron entre un 37,17% para el genotipo SxB84 y un 46,92% para el genotipo SxB3. Para la DAFV, las reducciones fueron más importantes, variaron entre un 50,08% para el genotipo SxB84 y un 85,07% para el genotipo SxB10. Al realizar

una comparación entre los dos parámetros se observó que el tratamiento SF mostró mayores reducciones en la DAFV comparados con la DAFT.

Tabla 3. Medias de la duración de área foliar total DAFT y duración de área foliar verde DAFV, correspondientes a los Genotipos S×B3, S×B10, S×B84 y S×B146, con los respectivos Tratamientos con fungicida (CF) y sin fungicida (SF) y la interacción Genotipos × Tratamientos.

Comparación de medias	DAFT (m ² /m ² días)	DAFV (m ² /m ² días)	
Genotipos			
S×B3	87,1	60,4	
S×B10	78,2	48,5	
S×B84	67,2	47,3	
S×B146	68,8	50,2	
Tratamiento			
Con Fungicida (CF)	96,1 a	77,7 a	
Sin Fungicida (SF)	54,5 b	25,6 b	
Genotipo × Tratamiento			
S×B3	CF	113,8	87,3
	SF	60,4	33,6
S×B10	CF	101,8	84,4
	SF	54,6	12,6
S×B84	CF	82,6	63,1
	SF	51,9	31,5
S×B146	CF	86,3	75,8
	SF	51,2	24,6
Genotipos (G)	n.s.	n.s.	
Tratamientos (T)	**	**	
G × T	n.s.	n.s.	

Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD P <0.05 ** y P<0.10 * para Genotipos, Tratamientos y Genotipos × Tratamientos (G x T).

4.4 Biomasa aérea en tres estadios y acumulada en post- antesis

La biomasa presentó diferencias significativas en general entre *Tratamientos* para los tres estadios evaluados y para biomasa acumulada en post-antesis. Los *Genotipos* presentaron diferencias significativas en Ant+10, Ant+25 y biomasa acumulada en post- antesis. Para la interacción *Tratamiento × Genotipo* no se detectaron diferencias

significativas en ninguno de los tres estadios y tampoco en la acumulación de biomasa post-antesis (Tabla 4).

Tabla 4. Medias de la biomasa aérea para Antesis+10, Antesis+25 y Madurez Fisiológica correspondientes a los Genotipos S×B3, S×B10, S×B84 y S×B146, con los respectivos Tratamientos con fungicidas (CF) y sin fungicidas (SF) y la interacción Genotipos × Tratamientos.

Comparación de medias	Biomasa aérea (g/m ²)			Acumulación biomasa en post-antesis (g/m ²)	
Genotipos	Ant+10	Ant+25	MF	entre Ant+10 a MF	
S×B3	1169,8 c	1659,6 ab	1590,6	420,7 a	
S×B10	1378,8 a	1553,2 b	1684,8	306,0 b	
S×B84	1275,0 b	1606,3 ab	1666,2	391,3 ab	
S×B146	1258,3 b	1779,0 a	1648,6	390,3 ab	
Tratamiento					
Con fungicida (CF)	1340,9 a	1822,9 a	1914,3 a	573,4 a	
Sin fungicida (SF)	1200,1 a	1476,1 b	1380,8 b	180,7 b	
Genotipos × Tratamiento					
S×B3	CF	1274,7	1854,5	1872,7	598,0
	SF	1065,0	1464,7	1308,5	243,5
S×B10	CF	1427,3	1667,7	1959,0	531,7
	SF	1330,3	1438,7	1410,7	80,3
S×B84	CF	1329,6	1741,6	1875,7	546,1
	SF	1220,3	1470,9	1456,8	236,5
S×B146	CF	1332,0	2027,8	1949,8	617,8
	SF	1184,6	1530,2	1347,3	162,7
Genotipos (G)	**	*	n.s.	*	
Tratamientos (T)	*	**	**	**	
G × T	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	

Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD P <0.05 ** y P<0.10 * para Genotipos, Tratamientos y Genotipos × Tratamientos (G x T).

El siguiente histograma del Gráfico 7 compara la producción de biomasa aérea para el tratamiento CF (barra azul) y SF (barra roja). Como se puede observar, la tendencia indica que los tratamientos CF en los tres estadios evaluados y en biomasa acumulada han demostrado mayor producción que los del tratamiento SF.

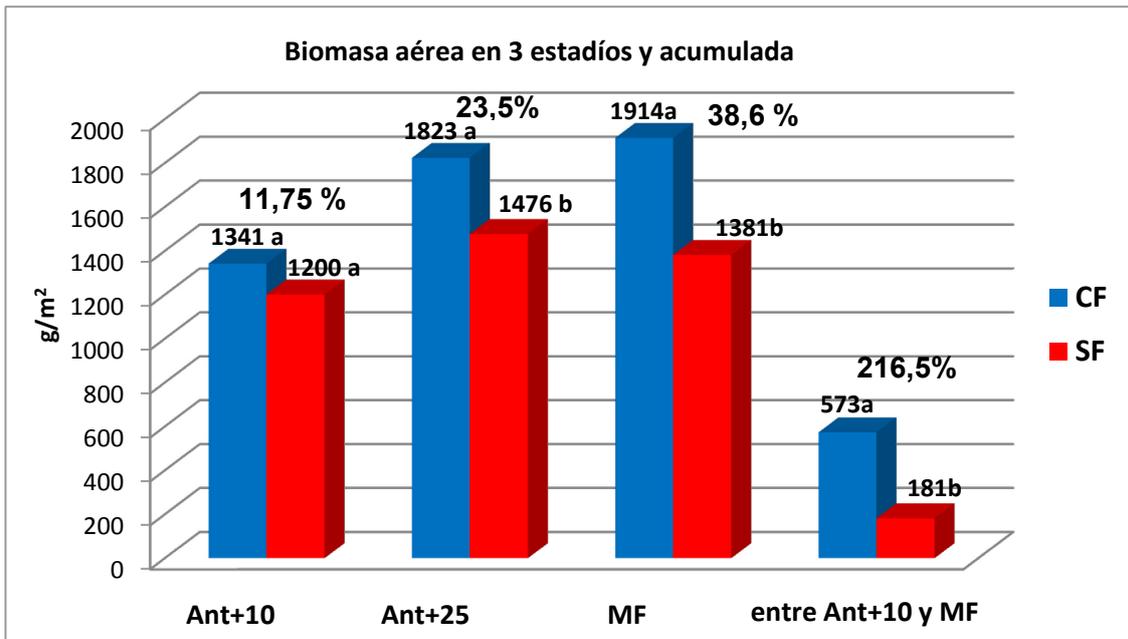


Gráfico 7. Histograma comparando el tratamiento CF con el SF para biomasa aérea en: Ant+10, Ant+25, MF y acumulada en post-antesis y porcentaje de aumento del tratamiento CF con respecto al SF. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias

En el histograma del Gráfico 8 se comparan la generación de biomasa aérea para los tratamientos CF y SF agrupando a los cuatro genotipos para los tres estadios evaluados (antesis+10, antesis+25 y madurez fisiológica) y la biomasa acumulada entre estos estadios.

Se puede observar que para los cuatro genotipos, se ha encontrado una mayor producción de biomasa cuando se aplicaron fungicidas. Comparando los cuatro genotipos en la interacción Tratamiento × Genotipo no hubo diferencias significativas, cabe destacar la mayor producción de biomasa en Ant+25 y MF para los cuatro genotipos evaluados.

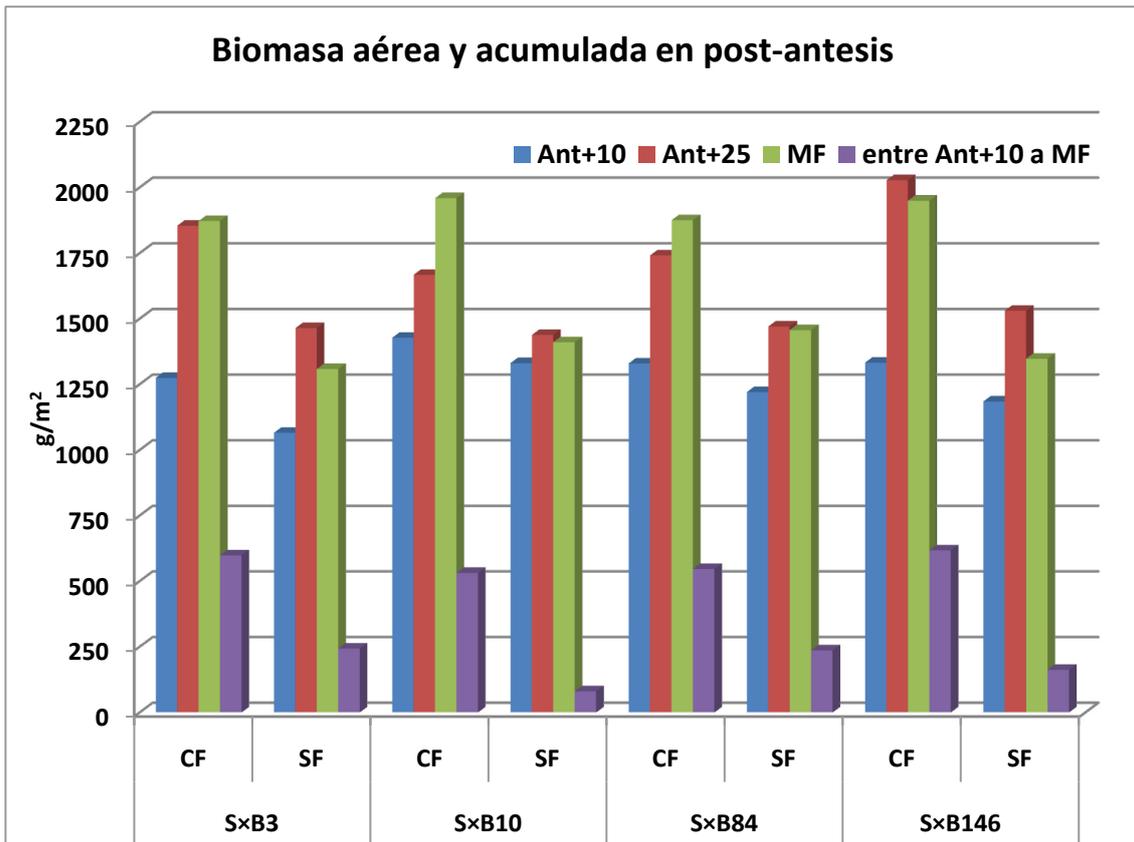


Gráfico 8. Histograma comparando el tratamiento CF con el SF con los cuatro genotipos SxB3, SxB10, SxB84 y SxB146, para biomasa aérea en Ant+10, Ant+25, MF y entre Ant+10 a MF (biomasa acumulada).

4.5 Radiación fotosintéticamente activa absorbida (RFAa) y Eficiencia en el uso de la radiación absorbida (EURabs) en post-antesis

La radiación fotosintéticamente activa absorbida (RFAa) presentó diferencias significativas entre Tratamientos en todos los estadios evaluados, entre Ant+10 a Ant+25 (271,8 vs 125,1), entre Ant+25 a MF (192,4 vs 60,6) y Acumulada (464,2 vs 185,7) (Gráfico 9, Histograma a y b). Los Genotipos presentaron diferencias significativas en el periodo entre Ant+25 a MF y RFAa acumulada. La interacción Tratamiento × Genotipo presentó diferencias significativas entre Ant+10 a Ant+25 y para la RFAa acumulada.

Con respecto a la eficiencia de uso de la radiación absorbida (EURa) se observaron diferencias significativas entre Genotipos ($P < 0.10$) y Tratamientos, mientras que para la interacción *Tratamiento* × *Genotipo* no se observaron diferencias significativas.

Tabla 5. Medias de la RFA absorbida entre Antesis+10 a Antesis+25 y entre ésta última a Madurez Fisiológica, y la EUR absorbida correspondientes a los Genotipos S×B3, S×B10, S×B84 y S×B146, con los respectivos Tratamientos con fungicida (CF) y sin fungicida (SF) y la interacción *Genotipos × Tratamientos*.

Comparación de medias	RFAabs (MJ.m ⁻²)			EUR absorbida (g.MJ ⁻¹)
Genotipos	Ant+10 a Ant+25	Ant+25 a MF	Acumulada	
S×B3	210,3	106,1 b	316,4 a	1,27 a
S×B10	173,3	94,2 b	267,5 b	1,08 ab
S×B84	203,5	150,5 a	354,0 a	1,07 ab
S×B146	206,6	155,1 a	361,7 a	0,99 b
Tratamientos				
Con fungicida (CF)	271,8 a	192,4 a	464,2 a	1,25 a
Sin fungicida (SF)	125,1 b	60,6 b	185,7 b	0,96 b
Genotipos × Tratamientos				
S×B4	CF 266,5 a	147,4	413,9 b	1,45
	SF 154,1 b	64,9	219,0 c	1,10
S×B10	CF 283,0 a	170,1	453,1 ab	1,17
	SF 63,6 c	18,4	82,0 d	0,99
S×B84	CF 256,5 a	215,5	472,0 ab	1,17
	SF 150,6 b	85,6	236,1 c	0,96
S×B146	CF 281,2 a	236,5	517,8 a	1,20
	SF 132,0 b	73,6	205,6 c	0,78
Genotipos (G)	n.s.	**	**	*
Tratamientos (T)	**	**	**	**
G × T	**	n.s.	**	n.s.

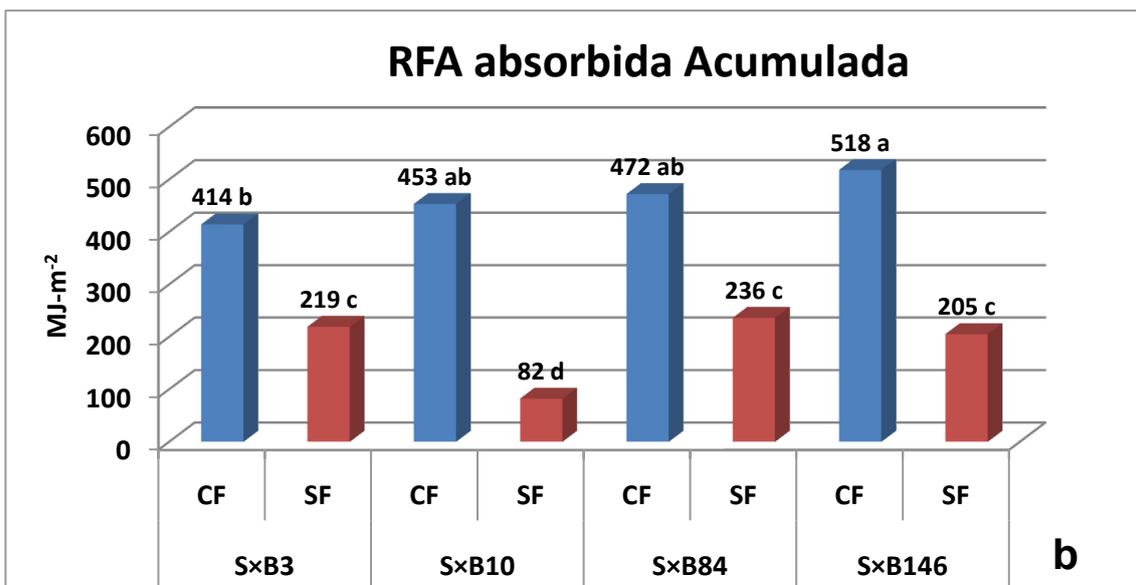
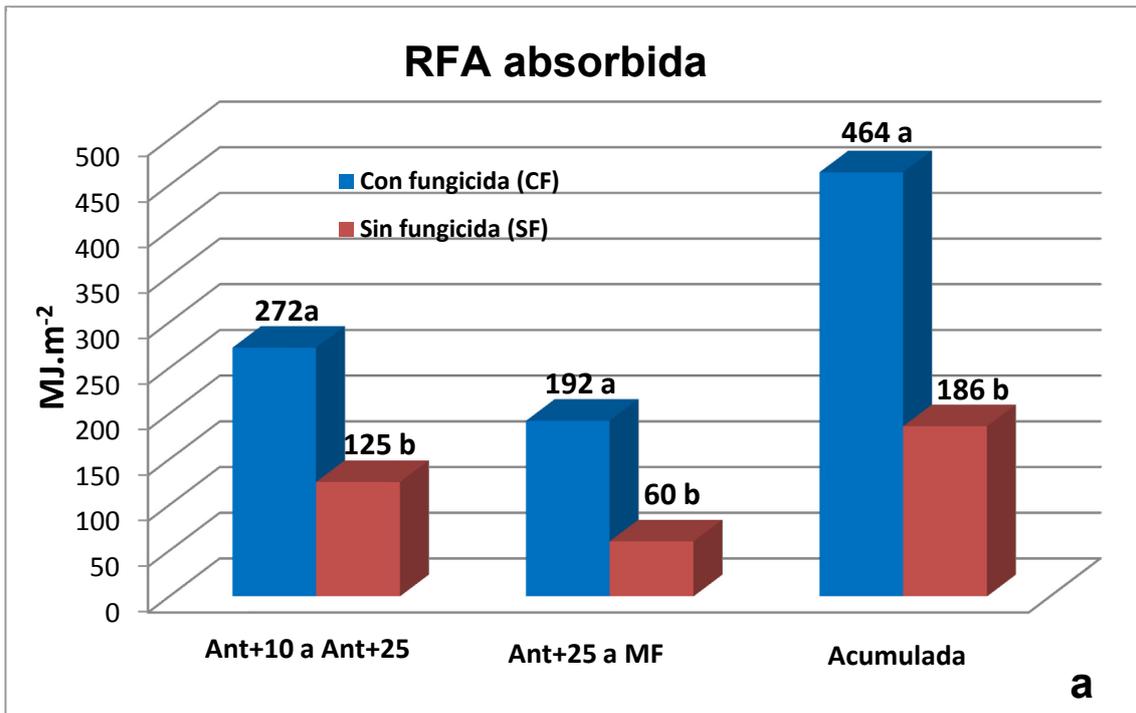
Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD P <0.05 ** y P<0.10 * para Genotipos, Tratamientos y Genotipos × Tratamientos (G x T).

Para la RFA absorbida por tejido verde en los periodos evaluados (MJ absorbida/m²) en el tratamiento CF, los valores obtenidos variaron entre 192,4 (Ant+25 a MF) y 271,8 (Ant+10 a Ant+25) y una RFAabs acumulada de 464,2 MJ.m⁻². Por su parte, el tratamiento SF presentó valores de entre 60,6 (Ant+25 a MF) y 125,1 (Ant+10 a Ant+25) y una RFAabs acumulada de 185,7 MJ.m⁻². En términos de RFAabs

acumulada, el tratamiento CF incrementó la RFAa en 60% respecto a los tratamientos SF. Mientras que para la RFAabs entre Ant+10 a Ant+25 el tratamiento CF logró un incremento del 54% y entre Ant+25 a MF del orden del 68,5% (Gráfico 9a). Con respecto a la interacción *Tratamiento* × *Genotipo* se detectó que el cultivar S×B10 fue el que presentó el mayor incremento en el tratamiento CF respecto al SF (81,9% de incremento). Por su parte, el genotipo S×B146 tuvo un incremento del 60,29%, S×B84 del 49,98% y S×B3 del 47,08% de incremento en los tratamientos CF respecto a los tratamientos SF (Tabla 5, Gráfico 9b).

Para la EUR absorbida (g materia seca/Mj absorbido), la diferencia entre los tratamientos CF y SF fue del 23,2% superior para los primeros mencionados (1,25 g/MJ vs. 0,96 g/MJ) (Gráfico 9 c). Entre Genotipos hubo diferencias significativas, con mayor EURabs en el genotipo S×B3 (1,27 g ms/ Mjabs) y el valores más bajos para el genotipo S×B146 (0,99 g ms/ Mjabs) .Con respecto a la interacción *Tratamiento* × *Genotipo*, la aplicación de fungicidas no provocó respuestas diferenciales en la EURabs para ninguno de los genotipos en general. Los cultivares que presentaron una ligera tendencia superior para el tratamiento CF respecto al SF fueron el S×B146 con una diferencia del 35% y el genotipo S×B3 con 24,13% de diferencia entre tratamientos (Tabla 5).

Los siguientes histogramas comparan, en primer lugar, el tratamiento CF (barras azules) con el SF (barras rojas) para la radiación absorbida entre Ant+10 a Ant+25, Ant+25 a MF (Gráfico 9 a) y radiación absorbida acumulada (Gráfico 9 b). Como se puede observar, es altamente significativa la diferencia entre tratamientos para los tres casos. En el histograma b se compara la interacción *Tratamiento* × *Genotipo* para la RFA absorbida acumulada, la diferencia es altamente significativa en los cuatro genotipos del tratamiento CF respecto al tratamiento SF. Para el gráfico de EURabs se puede observar en el histograma c, la diferencia altamente significativa entre tratamientos, con una mayor EUR absorbida para el tratamiento CF.



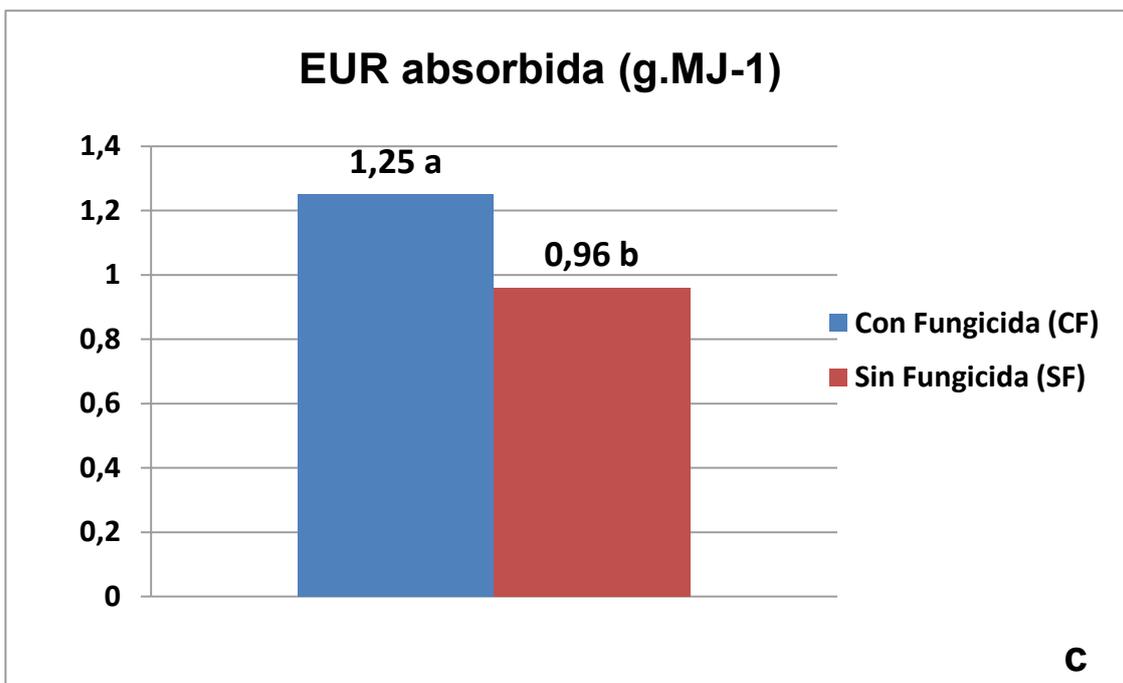


Gráfico 9. Histogramas comparando la radiación fotosintéticamente activa absorbida para (a) el tratamiento CF y el SF; (b) para la interacción *Tratamiento* × *Genotipo*. (c) Histograma comparando la eficiencia de uso de la radiación absorbida para el tratamiento CF y el SF. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias

4.6 Incidencia de las enfermedades foliares en el rendimiento y sus componentes

Se detectaron diferencias significativas entre Tratamientos SF y CF para rendimiento (Rn), Número de granos (NG) y Peso de los granos (PG). Los Genotipos presentaron diferencias significativas solo en la variable PG, en tanto que para la interacción *Tratamiento* × *Genotipo* hubo diferencias significativas en Rn y PG.

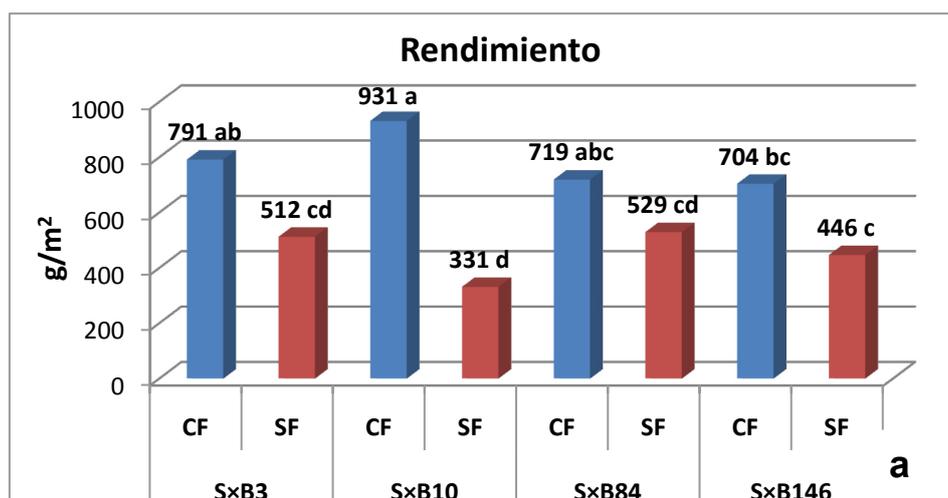
Tabla 6. Medias de los rendimientos Rn (gr/m²), Número de granos NG (m²), Peso de los granos PG (mg) correspondiente a los *Genotipos* S×B3, S×B10, S×B84 y S×B146 con los respectivos *Tratamientos* con fungicida (CF) y sin fungicida (SF) y la interacción *Genotipos* × *Tratamientos*.

Comparación de medias	RN (g/m ²)	NG (m ²)	PG (mg)
Genotipos			
S×B3	652	16421	39 a
S×B10	631	17693	34 b
S×B84	624	16176	39 a
S×B146	575	14838	38 a
Tratamientos			
Con Fungicida (CF)	786 a	18063 a	44 a

Sin Fungicida (SF)		454 b	14501 b	31 b
Genotipo × Tratamiento				
S×B3	CF	791 ab	17862	44 a
	SF	512 cd	14981	34 b
S×B10	CF	931 a	21616	43 a
	SF	331 d	13770	24 c
S×B84	CF	719 abc	16236	44 a
	SF	529 cd	16088	33 b
S×B146	CF	704 bc	16512	43 a
	SF	446 c	13164	34 b
Genotipos (G)		n.s.	n.s.	**
Tratamientos (T)		**	*	**
G × T		**	n.s.	**

Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD P <0.05 ** y P<0.10 * para *Genotipos*, *Tratamientos* y *Genotipos × Tratamientos*.

En términos generales, el tratamiento SF redujo el rendimiento (-42,2%), el número de granos (-19,7%) y el peso de los granos (-29,5%) respecto al tratamiento CF. Los siguientes histogramas comparan los tratamientos CF y SF para el rendimiento (g/m²), NG/m² y peso de los granos (mg). Como se puede observar en los tres histogramas, el tratamiento CF demostró mayores valores de rendimiento, número de granos por unidad de área, y peso de los granos con respecto a los SF en todos los genotipos evaluados (Gráfico 10).



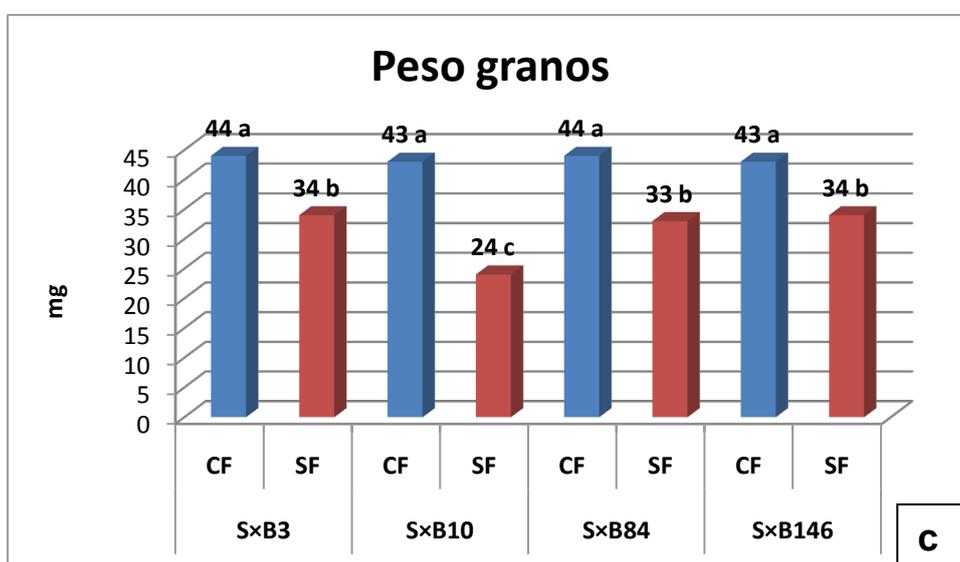
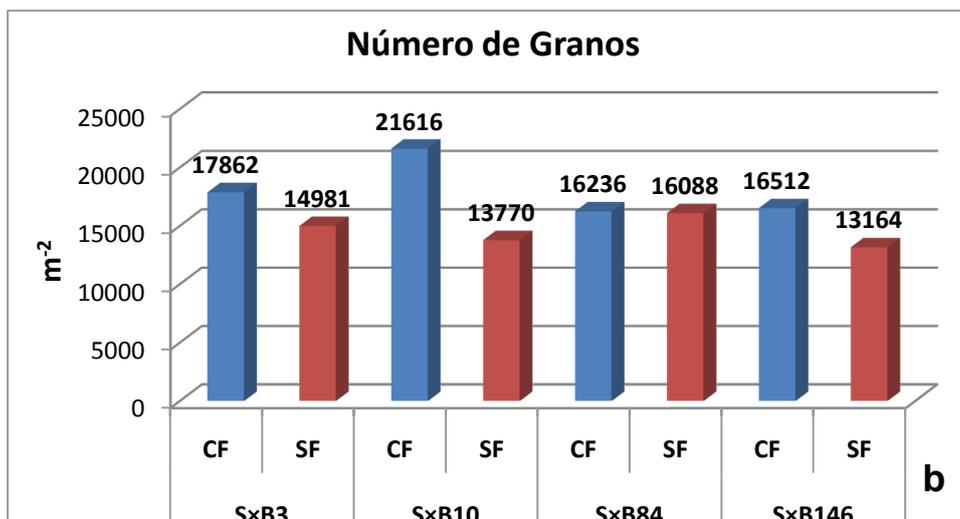


Gráfico 10. Histogramas comparando el tratamiento CF con el SF para a) rendimiento, b) número de granos por metro cuadrado y c) peso de los granos. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias

Los *tratamientos* de fungicidas mostraron diferencias estadísticamente significativas para RN, NG y PG ($P < 0.05$ y $P < 0.10$, dependiendo del componente) (Tabla 6). En este ensayo las disminuciones en el rendimiento asociadas a las enfermedades afectaron en mayor medida el peso de los granos que el número de los granos (Tabla 6). Las respuestas de los genotipos a disminuciones en el rendimiento debido a la presencia de enfermedades variaron, ya que las menores reducciones en el rendimiento se registraron en el genotipo SxB84 (-26 %) y las mayores en el genotipo SxB10 (-64 %),

mientras que los materiales SxB3 y SxB146 mostraron respuestas intermedias (-35,3% y -36,6%) (Gráfico 10 a, Tabla 6). Si bien las reducciones en el rendimiento fueron asociadas al peso de los granos, los genotipos tuvieron reducciones aunque no significativas debido a la presencia de la enfermedad en el número de granos presentando caídas de entre 0,91% en el genotipo SxB84 hasta un 36,3% en el genotipo SxB10 (Figura 10 b, Tabla 6). En cuanto al PG, el genotipo SxB10 tuvo la mayor disminución entre tratamientos (-44,2%) comparando el tratamiento CF y el SF. Los otros tres genotipos tuvieron valores similares, mostrando reducciones de entre 20,9% y 25% en el PG. Comparando tratamientos CF, el genotipo SxB10 fue el que presentó en términos generales los valores más altos en los componentes del rendimiento, principalmente por el NG. Mientras que en los tratamientos SF, el genotipo SxB84 en líneas generales fue el de mejor comportamiento en rendimiento (Gráfico 10 a, Tabla 6).

5. DISCUSIÓN

Las condiciones climáticas del año influenciaron fuertemente el desarrollo epidemiológico de las enfermedades evaluadas. En línea con diversos autores (Campbell & Madden 1990; Wegulo *et al.*, 2012) la presencia de las enfermedades estuvo fuertemente influenciada por las condiciones ambientales. Tanto la temperatura media, humedad relativa ambiente y precipitaciones afectaron la supervivencia, reproducción y sobrevivencia de *P. triticina*, *Z. tritici*, *Py. tritici-repentis*, *P. striiformis* y *P. graminis* patógenos que preponderaron en el ensayo ejecutado. En esta dinámica se observó una predominancia importante de *P. triticina* debido a las inoculaciones realizadas con esporas de esta enfermedad, lo que pone de manifiesto la alta tasa de infección de este patógeno biotrófico, que puede completar su ciclo de infección con formación de nuevas pústulas en períodos relativamente cortos (8 a 10 días), por lo que su desarrollo epidémico se hace exponencial en forma rápida (Roelf *et al.*, 1992).

A partir de los resultados obtenidos en el ensayo se observó que el desarrollo de enfermedades mostró valores de severidad significativamente superiores en el tratamiento SF a medida que se aumentó la presión de inóculo debido a condiciones ambientales de humedad y temperatura predisponentes y aumentando el ABCPE. Sumado a esto se registraron diferencias altamente significativas entre los genotipos evaluados, entre tratamientos y en la interacción genotipos × tratamientos.

El tratamiento SF fue el que mayor ABCPE presentó con respecto al tratamiento CF debido a las bajas infecciones en el tratamiento controlado con fungicidas relacionado con los efectos fisiológicos directos que pueden tener sobre la planta (Grossmann & Retzlaff, 1997), como aumentos en la duración del área foliar verde, el contenido de clorofila y la eficiencia del uso de la radiación de las hojas (Milne *et al.*, 2007). De la misma manera, Bancal *et al.*, 2007 encontraron una importante correlación entre aumentos en el ABCPE y disminuciones en la DAFV total y por estratos ante infecciones naturales ocasionadas por *P. triticina* y *Septoria tritici* comparado con tratamientos con fungicidas.

Se tomaron mediciones de parámetros ecofisiológicos como la DAFT y DAFV (DAFV) para englobar el daño que causan las enfermedades foliares como roya de la hoja en el desarrollo del cultivo y sus potenciales efectos sobre la tasa de crecimiento del cultivo. Tanto la DAFT como la DAFV se redujeron de manera significativa ante la presencia de esta enfermedad, sin embargo, la DAFV se afectó en mayor medida que la DAFT. Estos resultados están en línea con lo reportado por Waggoner & Berger (1987); Dimmock & Gooding (2002a); Parker *et al.*, (2004) y Van den Berg *et al.*, (2013) que afirman que la presencia de las enfermedades foliares impacta de manera importante en la DAFV, debido al aumento de la clorosis y aceleración de la senescencia foliar. Estas respuestas se dan independientemente de su hábito nutricional, ya que autores como Serrago *et al.*, (2009); Gooding *et al.*, (2000) y Schierenbeck *et al.*, (2016) encontraron evidencias similares en donde la senescencia

foliar mostró un aceleramiento importante ante la presencia de enfermedades biotróficas como *P. triticina*, necrotróficas como *P. tritici-repentis* y hemibiotróficas como *Z. tritici*, debido principalmente a la clorosis y necrosis de los tejidos trayendo como consecuencia la disminución del área foliar verde (Bancal *et al.*, 2007; Carretero *et al.*, 2011). Tanto la DAFT como la DAFV fueron más prolongadas en el tratamiento CF, esto trajo consigo mayores diferencias entre los tratamientos (similares a las que se presentaron en el ABCPE dentro de cada genotipo) destacándose nuevamente entre los genotipos el cultivar SxB10 que presentó las mayores reducciones de la DAFT y DAFV debido a las altas infecciones que se manifestaron en el tratamiento SF. La diferente reducción en la DAFV asociada a la enfermedad se debió principalmente a una diferente susceptibilidad de los cultivares que causaron un efecto negativo en el mantenimiento del área foliar limitando la capacidad fotosintética durante el llenado de granos indispensable para proveer asimilados a los destinos (Miralles *et al.*, 2000; Serrago *et al.*, 2009; Serrago *et al.*, 2010; Serrago *et al.*, 2019).

Bajo las condiciones exploradas en el presente trabajo, inoculaciones de *P. triticina* provocaron reducciones en la generación de biomasa, detectándose importantes variaciones entre genotipos y entre tratamientos, no así entre la interacción Genotipo × Tratamiento. En este sentido, Waggoner & Berger (1987) y Bancal *et al.*, (2007) afirman que las enfermedades foliares afectan la producción de biomasa al reducir el índice de área foliar total (IAFT) y el índice de área foliar verde (IAFV), asociado con los procesos de senescencia foliar que generan (Bergamin Filho *et al.*, 1997; Jesus Junior *et al.*, 2001; Schierenbeck *et al.*, 2014; Schierenbeck 2015), pudiendo afectar la supervivencia de macollos (Lim & Gaunt, 1986; Whelan *et al.*, 1997). La disminución de biomasa (g/m²) entre tratamientos fue cada vez más importante desde Antesis+10, con una disminución de 10,51% entre el Tratamiento CF y el SF, 19% durante Antesis+25 y 27,8% durante Madurez Fisiológica, en tanto que la biomasa acumulada en post antesis presentó una disminución de 68,5% cuando los tratamientos SF y CF fueron contrastados. Por su parte, Serrago *et al.*, (2009) y Carretero *et al.*, (2010)

evidenciaron disminuciones en la producción de biomasa en post-floración ante inoculaciones de *P. triticina* y un complejo de enfermedades causadas por *Py. tritici-repentis*, *S. tritici* y *A. triticina*, lo que coincide con los resultados encontrados en este trabajo para los estadios de Antesis+10, Antesis+25 y MF.

Ante aumentos en los niveles de enfermedad, causado principalmente por las inoculaciones de *P. triticina* se detectaron reducciones significativas de la RFAabs en post-antesis respecto al tratamiento CF con una disminución promedio del 60% entre tratamientos. De forma similar, Serrago *et al.*, (2009), Carretero *et al.*, (2011) y Schierenbeck *et al.*, (2016) documentaron que la RFAa por el cultivo en post-antesis disminuyó 34% en tratamientos SF con respecto a tratamientos CF asociado con caídas en la DAFV ante tratamientos que presentaron mayores niveles de enfermedad. Por su parte, Guayarello (2018) evaluando un set de 110 genotipos de trigo internacionales documentó que la biomasa aérea en EC60 se incrementó 29%, 33% en EC70 y 28% en EC80 en tratamientos con fungicida, explicado por aumentos del 36% en la RFAa respecto a tratamientos SF. Coincidiendo con lo descrito anteriormente, Gallagher *et al.*, (1975), Monteith (1977), y Fischer (1985) documentaron que existe una estrecha relación entre la generación de biomasa con la cantidad de radiación solar absorbida por tejidos verdes, por lo que parte del aumento en la producción de biomasa ante la aplicación de fungicidas, se sustenta por el aumento de RFAa, que incrementó la tasa de crecimiento del cultivo (biomasa acumulada post-antesis), respuesta que se evidencia por los mayores valores de biomasa aérea en los períodos evaluados.

Con respecto a la EUR absorbida (g.MJ^{-1}) se detectaron reducciones altamente significativas (-23,2%) ante inoculaciones del patógeno biotrófico *P.triticina* (Tratamiento SF) con respecto al tratamiento CF. Ante infecciones conjuntas de *P.triticina*, *Py.tritici-repentis* y *S.tritici*, Serrago *et al.*, (2009) documentaron caídas pronunciadas en la EUR en trigo cuando *P. triticina* fue la enfermedad predominante. Concordando con estos autores y coincidiendo con Robert *et al.*, (2005), la EURabs

evidenció caídas significativas en esta variable ante inoculaciones con *P. triticina*. Estas diferencias podrían deberse a la interacción particular que los patógenos biotróficos establecen con las células del hospedante ya que producen profundos cambios en la fisiología de los hospedantes, al parasitar las células vivas provocando reducciones en la capacidad fotosintética de las hojas, aumentos en la tasa respiratoria y disminuciones en la tasa de translocación de los órganos afectados (Robert *et al.*, 2004). En contraposición, la falta de efectos de los patógenos necrotróficos sobre la EUR estaría explicada por los limitados efectos sobre la fotosíntesis, ya que no interactúan con células vivas, sin embargo, se caracterizan por una importante reducción en el aparato fotosintético de la planta acelerando la senescencia de las hojas debido a la necrosis foliar y que provoca una menor producción de fotoasimilados que podrán ser utilizados para la síntesis de materia seca (Gooding *et al.*, 2000). Cabe mencionar que las variaciones entre la interacción *Tratamiento* × *Genotipo* no se consideran diferencias estadísticamente significativas, pero sí podemos considerar como importantes a las variaciones en la eficiencia de uso de la radiación entre los diferentes genotipos, siendo el SxB3 el que presentó los mayores valores con 1,27 g.MJ⁻¹.

La roya de la hoja generó reducciones importantes en el rendimiento. A partir de los resultados obtenidos en el ensayo se observó que en los tratamientos CF el rendimiento aumentó en promedio 40,7% con respecto a los tratamientos SF.

El impacto de *P. triticina* durante el llenado de los granos fue mayor en el peso de los granos causando reducciones en promedio del 28%, mientras que las reducciones del NG en los tratamientos SF fueron en promedio para los cuatro genotipos del 18,4%. En rendimiento, el genotipo menos afectado fue el SxB84 con una reducción del 26,4% entre el tratamiento CF y el SF, mientras que el más afectado fue el genotipo SxB10 con una reducción del 64,4%. Por su parte, Serrago *et al.*, (2011) encontraron caídas en el PMG de 8,5% ante infecciones en post-antesis generadas por *P. triticina*,

Py. tritici-repentis y *Z. tritici*. Ante epidemias causadas por *P. triticina* y *Z. tritici*, Robert *et al.*, (2004) documentaron caídas en el PMG de 38-40%. Por su parte, Serrago *et al.*, (2014) reportaron disminuciones en el peso del grano (mg) de hasta 25% frente a inoculaciones de *P. triticina*, presentando las mayores reducciones aquellos granos localizados en posiciones distales de espiguillas centrales. Siguiendo con esta línea, Guayarello (2018) documentó que en tratamientos con fungicida, para rendimiento, en promedio, aumentó un 69%, de éste un 23% se debió al PMG, un 24% al NESP. M² y un 12% al NG.espiga⁻¹ respecto a tratamientos SF. Estas evidencias demuestran que dependiendo del momento y la magnitud del daño de la aparición de las enfermedades, se pueden afectar alguno o a ambos componentes del rendimiento (Cornish *et al.*, 1990; Dimmock & Gooding, 2002; Serrago *et al.*, 2011; Serrago *et al.*, 2019). Durante este ensayo, el desarrollo de roya de la hoja preponderó durante el llenado de los granos afectando el peso de los mismos. Ante la magnitud de la infección que se presentó y la presencia de otros patógenos durante el llenado de los granos, el peso se vio afectado en gran medida. En este sentido, distintas evidencias afirman que reducciones ocasionadas en la duración de área foliar que reducen la radiación absorbida durante el llenado ocasionan caídas importantes en el peso (Gooding *et al.*, 2000; Dimmock & Gooding, 2002; Ruske *et al.*, 2003; Robert *et al.*, 2004; Serrago *et al.*, 2011; Serrago *et al.*, 2019) por lo tanto, es esperable que ante mayores reducciones de la duración de área foliar, el impacto en el peso de los granos sea mayor.

El rendimiento del cultivo de trigo puede expresarse a través de la cantidad de biomasa generada y la proporción de ésta que es particionada hacia los órganos reproductivos (Van der Werf, 1996) o puede ser calculado como el producto de los componentes numéricos que lo conforman (Número de Granos Totales (NG) – derivado del Número de Espigas (NESP) y Número de Granos por Espiga (NGE)- y el peso de grano). Teniendo en cuenta el momento del ciclo del cultivo en que ocurre la

infección y su intensidad, las enfermedades foliares pueden afectar el NGT, mediante disminuciones en el NESP generalmente asociado a epifitias tempranas de patógenos necrótrofos o hemibiótrofos que sobreviven en rastrojo, por condiciones predisponentes para el desarrollo de estas enfermedades durante los primeros estadios y/o la utilización de cultivares susceptibles a estos patógenos (Leitch & Jenkins, 1995; Simón *et al.*, 2002; Ronis *et al.*, 2009). Efectos sobre el NGE son habitualmente relacionados al efecto que las enfermedades pueden ejercer sobre la tasa de crecimiento del cultivo alrededor de floración, etapa crucial para la definición del rendimiento debido a que el tallo y la espiga crecen en forma conjunta y donde se puede afectar la fertilidad de las espigas (Fischer, 1985; Madden & Nutter, 1995; Miralles & Slafer, 1999; Borrás *et al.*, 2004). Por otro lado, caídas en el PMG (Simón *et al.*, 1996; Wang *et al.*, 2004; Ishikawa *et al.*, 2011) han sido vinculadas a infecciones de patógenos en post-floración que provocan reducciones en la DAFV y en la RFAa durante el llenado de los granos afectando principalmente la tasa de duración del llenado de granos más que la duración en el llenado de los mismos (Cornish *et al.*, 1990; Gooding *et al.*, 2000, Dimmock & Gooding, 2002; Ruske *et al.*, 2003; Robert *et al.*, 2004; Pepler *et al.*, 2006; Serrago, 2010; Serrago *et al.*, 2011). Los resultados de este trabajo indicaron que aumentos en la severidad de las enfermedades foliares (principalmente de *P. triticina*) provocaron disminuciones en los atributos ecofisiológicos asociados a la generación de biomasa (RFAabs, EURabs, tasa de crecimiento del cultivo), afectando el rendimiento mediante disminuciones tanto en el NG, sustentada por disminuciones en la RFAabs que también afectaron, en mayor medida, el peso de los Granos a partir de disminuciones en la tasa de llenado de los mismos.

Coincidiendo con Bancal *et al.*, (2007) y Serrago *et al.*, (2009), en la presente tesis se encontró que *P. triticina* redujo la generación de biomasa aérea al afectar la DAFT y DAFV. Esta respuesta podría estar explicada por la senescencia foliar anticipada

(debido a aumentos en el % de Severidad y ABCPE) pudiendo finalizar con la caída y desaparición de estratos afectados, produciéndose una reducción en la radiación que es efectivamente absorbida por área foliar verde y funcional (RFAabs) provocando caídas notorias en la tasa de crecimiento del cultivo (biomasa acumulada) y una limitación en la capacidad de producir fotoasimilados para la generación de biomasa y rendimiento. Estos resultados permiten no rechazar la hipótesis 1: “Infecciones de *Puccinia triticina* generan reducciones en la generación de biomasa y rendimiento debido al impacto que este patógeno genera en los distintos atributos ecofisiológicos vinculados a estas variables”.

Para este ensayo, a su vez, dentro de cada tratamiento (CF y SF) se observaron diferencias significativas para muchas de las variables evaluadas en los cuatro genotipos utilizados, como Severidad, ABCPE, RFAabs acumulada y rendimiento (PG especialmente) que podría estar explicada por diferencias en el comportamiento sanitario de los genotipos evaluados, lo cual nos lleva a no rechazar la hipótesis 2: “Los efectos de infecciones de *Puccinia triticina* en los atributos ecofisiológicos vinculados a la generación de biomasa y rendimiento, muestran respuestas diferenciales según los genotipos evaluados ” planteada en esta tesis.

Bajo las condiciones evaluadas en este estudio, el clima fue favorable para el desarrollo de la enfermedad, razón por la cual, en las parcelas protegidas CF se detectaron disminuciones significativas en la severidad y el ABCPE respecto al tratamiento SF. Sumado a esto, los efectos fisiológicos directos que pueden tener los fungicidas sobre la planta (Grossmann & Retzlaff, 1997), como aumentos en la duración del área foliar verde, el contenido de clorofila y la eficiencia del uso de la radiación de las hojas (Milne *et al.*, 2007) generaron incrementos en la DAFT-DAFV, RFAabs y consecuentemente en la generación de biomasa aérea y el rendimiento (PG en especial y NG). Todos estos resultados permiten no rechazar la hipótesis 3: “Las aplicaciones de fungicida provocan reducciones en la severidad de roya de la hoja, provocando aumentos de rendimientos asociados a la mantención del área foliar

fotosintética, incrementos en la radiación absorbida por el cultivo durante el llenado del grano ya que evitan el consumo de fotoasimilados por parte del patógeno”.

6. CONCLUSIONES

Los resultados indican que *P. triticina* (biotrófico) afecta en gran medida los atributos ecofisiológicos que explican la generación de biomasa y rendimiento (IAFV, DAFV, RFAabs y la EURabs). Los efectos detrimentales de éste patógeno inoculado sobre estas variables afectan el rendimiento mediante disminuciones en el PG en especial en este ensayo, y en el NG, debido a reducciones en la tasa de crecimiento del cultivo (biomasa acumulada) y por disminuciones en la tasa de llenado de granos.

Las inoculaciones con *P. triticina* tendieron a causar mayores diferencias entre tratamientos y genotipos principalmente en el % de Severidad y el ABCPE, donde hubo incrementos de entre el 218,7% y 574,53% respectivamente, y luego en los demás atributos evaluados. Es importante destacar que los tratamientos protegidos provocaron aumentos en la DAFV y disminuciones en la severidad y ABCPE que generaron incrementos en la RFAabs por el cultivo y consecuentemente aumentos en la generación de biomasa y rendimiento.

Por último es necesario profundizar en el conocimiento de los mecanismos ecofisiológicos por el cual *P. triticina* reduce la generación de biomasa y rendimiento, ya que podrían ser útiles para mejorar la toma de decisiones de manejo de los productores.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Agrios, G.** 2005. Effects of pathogens on plant physiological functions. Chapter 3. In: G. Agrios. Plant Pathology. Fifth Edition. Elsevier Academic Press. pp. 106-123.
- Annone, J.G.** 2001. Principales enfermedades foliares del trigo asociadas a siembra directa en Argentina. Siembra Directa en el Cono Sur. PROCISUR, Montevideo. pp. 73-88.
- Arregui, M.C. & C. Puricelli.** 2008. Mecanismo de acción de plaguicidas. Dow Agrosociencias. *Acquatint (ed.)* 208 pp.
- Bancal, M.O., C. Robert & B. Ney.** 2007. Modelling wheat growth and yield losses from late epidemics of foliar diseases using loss of green leaf area per layer and pre-anthesis reserves. *Annals of Botany*. Oxford 100: 777-789.
- Bergamin Filho, A., S.M.T.P.G. Carneiro., C.V. Godoy., L. Amorim., R.D. Berger & B. Hau.** 1997. Angular leaf spot of Phaseolus beans: Relationship between disease, healthy leaf area and yield. *Phytopathology* 87: 506-515.
- Bingham I.J., D.R. Walters., M.J. Foulkes & N.D. Paveley.** 2009. Crop traits and the tolerance of wheat and barley to foliar disease. *Annals of Applied Biology* 154: 159-173.
- Blandino M. & A. Reyneri.** 2009. Effect of fungicide and foliar fertilizer application to winter wheat at anthesis on flag leaf senescence, grain yield, flour bread -making quality and DON contamination. *European Journal of Agronomy* 30: 275-282.
- Bolsa de Comercio de Rosario.** 2019. Disponible en: <https://www.bcr.com.ar/Pages/gea/estimaProd.aspx>. Último acceso: Agosto de 2019.
- Boote, K.J., J.W. Jones., J.W. Mishoe & R.D. Berger.** 1983. Coupling pests to crop growth simulators to predict yield reductions. *Phytopathology* 73: 1581-1587.
- Borlaug, N.** 2007. Sixty-two years of fighting hunger: personal recollections. *Euphytica* 157: 287-297.
- Borrás, L., G.A. Slafer & M.E. Otegui.** 2004. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Res* 86: 131-146.
- Byrnes, B.H. & B.L. Bumb.** 1998. Population growth, food production and nutrient requirements. *Journal of Crop Production* 2: 1-27.
- Campbell, C.L. & L.V. Madden.** 1990. Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley & Sons, New York, NY, USA.
- Campos, P., R. Moschini & M. Martínez.** 2014. Roya del tallo del Trigo. Análisis de la campaña 2014. <http://inta.gob.ar/documentos/roya-del-tallo-del-trigo.-analisis-de-la-campana-2014-1>
- Carmona M.A. & F.J. Sautua.** 2015. Manual práctico para el diagnóstico de enfermedades foliares y su control con fungicidas en los cultivos de trigo y cebada. FAUBA-BASF, 85p.
- Carretero, R., R.A. Serrago., M.O. Bancal & D.J. Miralles.** 2009. Importancia de las enfermedades foliares durante el período de llenado de granos. Congreso A Todo Trigo 2009.14 y 15 de Mayo de 2009. Mar del Plata. Buenos Aires. Argentina.
- Carretero, R., R.A. Serrago., M.O. Bancal., A.E. Perelló & D.J. Miralles.** 2010. Absorbed radiation and radiation use efficiency as affected by foliar diseases in relation to their vertical position into the canopy in wheat. *Field Crops Research* 116: 184-195.
- Carretero, R., M.O. Bancal & D.J. Miralles.** 2011. Effect of leaf rust (*Puccinia triticina*) on photosynthesis and related processes of leaves in wheat crops grown at two

contrasting sites and with different nitrogen levels. *European Journal of Agronomy* 35: 237-246.

Castellarín J.M., M. González., H.M. Pedrol., F. Salvagiotti & O. Roso. 2004. Control de enfermedades foliares en trigo: tipo de molécula fúngica y momento de aplicación. En: Para mejorar la producción. EEA Oliveros. INTA Oliveros. N° 25: 67-69.

Cattlin, N. 2017. The quest for durable resistance. Leaf rust (*P. triticina*) infects a wheat crop in Kansas, USA. <https://science.sciencemag.org/content/358/6370/1541/tab-figures-data>

Cornish P.S., G.R. Baker & G.M. Murray. 1990. Physiological responses of wheat (*Triticum aestivum*) to infection with *Mycosphaerella graminicola* causing Septoria tritici blotch. *Australian Journal of Agricultural Research* 41: 317–327.

De la Horra, A.E., M.L. Seghezzo., E. Molfese., P.D. Ribotta & A.E. León. 2012. Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. *Agriscientia* 29: 81-89.

Dimmock, J.P.R.E. & M.J. Gooding. 2002. The effects of fungicide on rate and duration of grain filling in winter wheat in relation to maintenance of flag leaf green area. *Journal of Agricultural Science* 138: 1-16.

Evans, L.T. 1999. Steps towards feeding the ten billion: a crop physiologists view. *Plant Production Science* 2: 3-9.

Evans, L.T., I.F. Wardlaw & R.A. Fischer. 1978. Wheat. Ed Evans, L.T. En “Crop Physiology”. Cambridge University Press, GB. pp. 101-149.

FAO. 2014. Food and Agriculture Organization. Disponible en: <http://www.fao.org> Ultimo acceso: Julio de 2019.

Fischer, R.A., 1985. Number of kernel in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal of Agricultural Science* 105: 447-461.

Fleitas M.C., G.S. Gerard & M.R. Simón. 2015. Eficacia residual de fungicidas sobre la roya de la hoja del trigo y su efecto sobre componentes del rendimiento y porcentaje de proteínas en grano. *Revista FAVE, Sección Ciencias Agrarias, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Litoral* 14: 69-84.

Gallagher, J.N., P.V. Biscoe & R.K. Scott. 1975. Barley and its environment. V. Stability of grain weight. *Journal of Applied Ecology* 12, 319-336.

Gardner, F.P., R.B. Pearce & R.L. Mitchel. 1985. *Physiology of crop plants.* Iowa State University Press. USA. P. 327.

Godfray, H.C.J., J.R. Beddington., I.R. Crute., L. Haddad., D. Lawrence., J.F Muir., J. Pretty., S. Robinson., S.M. Thomas & C. Toulmin. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327: 812–818.

Gooding, M.J. 2006. The effect of fungicides on the grain yield and quality of wheat. *Actas del Congreso “A Todo Trigo”* 18 y 19 de Mayo de 2006, Mar del Plata, Argentina, pp. 45-52.

Gooding, M.J., J.P. Dimmock., R.E. France & J. Jones. 2000. Green leaf area decline of wheat flag leaves: the influence of fungicides and relationships with mean grain weight and grain yield. *Annals of Applied Biology* 136: 77–84.

Grossmann, K & G. Retzlaff. 1997. Bioregulatory effects of the fungicidal strobilurin kresoxim-methyl in wheat (*Triticum aestivum*). *Pesticide Science* 50: 11–20.

Guayarello, F.N. 2018. Generación de biomasa, rendimiento, intercepción de la radiación y eficiencia en el uso de la radiación en distintos genotipos de trigo primaveral con y sin control de enfermedades. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. 64p.

- Hall, A.J. & R.A. Richards.** 2013. Prognosis for genetic improvement of yield potential and water-limited yield of major grain crops. *Field Crop Research* 143: 18–33.
- Huerta-Espino, J., R. P. Singh., S. Germán., B. D. McCallum., R. F. Park., W. Q. Chen., S. C. Bhardwaj & H. Goyeau.** 2011. Global status of wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina*. *Euphytica* 179:143-160.
- Ishikawa, S., M.C. Hare & P.S. Kettlewell.** 2011. Effects of strobilurin fungicide programmes and fertilizer nitrogen rates on winter wheat: severity of *Septoria tritici*, leaf senescence and yield. *The Journal of Agricultural Science* 150: 1-16
- Jesus Junior, W.C., F.X.R. Vale., R.R. Coelho., B. Hau., L. Zambolim., L.C. Costa & A. Bergamin Filho.** 2001. Effects of angular leaf spot and rust on yield loss of *Phaseolus vulgaris*. *Phytopathology* 91: 1045-1053.
- Koeck M., A.R. Hardham & P.N. Dodds.** 2011. The role of effectors of biotrophic and hemibiotrophic fungi in infection. *Cellular Microbiology* 13: 1849-1857.
- Leitch, M.H. & P. D. Jenkins.** 1995. Influence of nitrogen on the development of *Septoria* epidemics in winter wheat. *The Journal of Agricultural Science* 124: 361-368.
- Lim, L.G. & R.E. Gaunt.** 1986. The effect of powdery mildew (*Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*) and leaf rust (*Puccinia hordei*) on spring barley in New Zealand. I. Epidemic development, green leaf area and yield. *Plant Pathology* 35: 44-53.
- Madden, L.V. & F.W.J. Nutter.** 1995. Modeling crop losses at field scale. *Canadian Journal of Plant Pathology* 17: 124-137.
- McNew, G.** 1960. The nature, origin and evolution of parasitism. In *Plant pathology: An Advanced Treatise*, ed. JG Horsfall, AE Dimond 2: 19-69. Madison, WI: Univ.Wisconsin Press.
- Milne, A., N. Paveley., E. Audsley & D. Parson.** 2007. The effect of fungicides on diseaseinduced yield loss in wheat. A model of the effect of fungicides on diseaseinduced yield loss, for use in wheat disease management decision support systems. *Annals of Applied Biology* 151: 113–125.
- Miralles, D.J. & G.A. Slafer.** 1997. Radiation interception and radiation use efficiency of near-isogenic wheat lines with different height. *Euphytica* 97: 201-208.
- Miralles, D.J. & G.A. Slafer.** 1999. Wheat development. In: Satorre, E.H., Slafer, G.A. (Eds.), *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. Food Product Press, New York, USA, pp. 14-43.
- Miralles, D.J., R.A. Richards & G.A. Slafer.** 2000. Duration of the stem elongation period influences the number of fertile florets in wheat and barley. *Functional Plant Biology* 27: 931-940.
- Monteith, J.L.** 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of Royal Society of London B*, pp. 277-294.
- Ney, B., M.O. Bancal., P. Bancal., I.J. Bingham., J. Foulkes., D. Gouache., N. Paveley & J. Smith.** 2013. Crop architecture and crop tolerance to fungal diseases and insect herbivory. Mechanisms to limit crop losses. *Eur J Plant Pathology* 135:561–580
- Parker, S.R., S. Welham., N.D. Paveley., J. Foulkes & R.K. Scott.** 2004. Tolerance of *Septoria* leaf blotch in winter wheat. *Plant Pathology*: 53: 1-10.
- Peña E., A. Bernardo., C. Soler & N. Jouve.** 2005. Relationship between common wheat (*Triticum aestivum* L.) gluten proteins and dough rheological properties. *Euphytica* 143: 169-177.
- Pepler, S., M.J. Gooding & R.H. Ellis.** 2006. Modelling simultaneously water content and dry matter dynamics of wheat grains. *Field Crops Res.* 96, 46-93.
- Pierbattisti, L.** 2016. La calidad como llave de acceso a un mercado: cuando se prima

la escasez internamente de algo que sobra externamente, estamos en el horno. VIII Congreso Nacional de Trigo, VI Simposio de Cereales de Siembra Otoño-Invernal, II Reunión del Mercosur. 14 al 16 de Septiembre de 2016, Pergamino, Argentina, Disponible en CD.

Prescott, J.M., P.A. Burnett & E.E. Saari. 1986. Enfermedades y plagas del trigo: una guía para su identificación en el campo. CIMMYT. México, D.F., México. Pp 2-3.

Rabbinge, G. 1993. Crop protection and sustainable agriculture. Ciba Found. Symposium 177, John Wiley y Sons, Chicester. 2-29.

Rabbinge, R., I.T.M. Jorritsma & J. Schans. 1985. Damage components of powdery mildew in winter wheat. Netherlands Journal of Plant Pathology 91: 235-247.

Robert, C., M.O. Bancal & C. Lannou. 2004. Wheat leaf rust uredospore production on adult plants: influence of leaf nitrogen content and Septoria tritici blotch. Journal of Phytopathology 94: 712-721.

Robert, C., M.O. Bancal., B. Ney & C. Lannou. 2005. Wheat leaf photosynthesis loss due to leaf rust, with respect to lesion development and leaf nitrogen status. New Phytologist 165: 227- 241.

Roelfs, A.P., R.P. Singh & E.E. Saari. 1992. Las royas del trigo: Conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades. México, D.F.: CIMMYT. 81 pp.

Ronis, A., R. Semaškienė., Z. Dabkevičius & Ž. Liatukas. 2009. Influence of leaf diseases on grain yield and yield components in winter wheat // Journal of Plant Protection Research. vol. 49, No. 2, p. 151–157

Ruske, R.E., M. J. Gooding & S. A. Jones. 2003. The effects of triazole and strobilurin fungicide programmes on nitrogen uptake, partitioning, remobilization and grain N accumulation in winter wheat cultivars. The Journal of Agricultural Science 140:395–407.

Satorre, E.H. & G.A. Slafer. 1999. Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination. Food Products Press NY. USA. 503pp.

Schierenbeck, M. 2015. Roya de la hoja y mancha amarilla en trigo: Principales efectos sobre componentes ecofisiológicos involucrados en la generación de biomasa y rendimiento. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. 220 p.

Schierenbeck, M., M.C. Fleitas., M.R. Simón., F. Cortese & S.I. Golik. 2014. Enfermedades foliares del trigo afectan diferencialmente la absorción y removilización del nitrógeno hacia los granos. Revista Agronómica del Noroeste Argentino 34 (2): 242-246.

Schierenbeck, M., M.C. Fleitas., D.J. Miralles & M.R. Simón. 2016. Does radiation interception or radiation use efficiency limit the growth of wheat inoculated with tan spot or leaf rust? Field Crop Research 199: 65-76.

Schierenbeck, M., M.C. Fleitas., M.R. Simon., F. Cortese & S.I. Golik. 2019. Nitrogen accumulation in grains, remobilization and post-anthesis uptake under tan spot and leaf rust infections on wheat. Field Crops Research 235: 27–37

Serrago, R.A., R. Carretero., M.O. Bancal & D.J. Miralles. 2009. Foliar diseases affect the ecophysiological attributes linked with yield and biomass in wheat (*Triticum aestivum* L.). European Journal of Agronomy 31: 195-203.

Serrago, R. 2010. Enfermedades foliares en el cultivo de trigo: Un enfoque ecofisiológico de sus efectos sobre la generación de biomasa y los componentes del rendimiento. Tesis Doctoral. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina, pp. 138.

Serrago, R.A., R. Carretero., M.O. Bancal & D.J. Miralles. 2011. Grain weight response to foliar diseases control in wheat (*Triticum aestivum* L.). Field Crops

Research 120: 352–359.

Serrago, R.A. & D.J. Miralles. 2014. Source limitations due to leaf rust (caused by *Puccinia triticina*) during grain filling in wheat. *Crop and Pasture Science* 65:185-193

Serrago R.A., P.J. Lo Valvo & D.J. Miralles. 2019. Is the source-sink ratio at anthesis a driver to avoid yield reductions caused by late foliar disease in wheat? *Field Crops Research* 235:11-17.

Shaner, G. & R.E. Finney. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology* 67: 1051-1056.

Shtaya, M.J.Y. 2015. Sources of partial resistance to leaf rust in hard wheat landraces cultivated in Palestine. *Walailak Journal of Science and Technology* 12: 245–250.

Simón, M.R., A.E. Perelló., C.A. Cordo & H.O. Arriaga. 1996. Influencia de la infección tardías de *Septoria tritici* Rob. ex Desm. sobre el peso de mil granos y algunos parametros de calidad en *Triticum aestivum*. *Investigación Agrararia: Producción y Protección Vegetal* 11:161–171.

Simón, M.R., A.E. Perelló., C.A., Cordo & P.C. Struik. 2002. Influence of *Septoria tritici* on yield, yield components, and test weight of wheat under two nitrogen fertilization conditions. *Crop Science* 42: 1974-1981.

Smith J., M. Grimmer., S. Waterhouse & N. Paveley. 2013. Quantifying the non-fungicidal effects of foliar applications of fluxapyroxad (Xemium) on stomatal conductance, water use efficiency and yield in winter wheat. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences* 78: 523-35.

Van Den Berg, F., F. Van Den Bosch & N. D. Paveley. 2013. Optimal fungicide application timings for disease control are also an effective anti-resistance strategy: A case study for *Zymoseptoria tritici* (*Mycosphaerella graminicola*) on wheat. *Phytopathology* 103: 1209-1219.

Van der Werf, A. 1996. Growth analysis and photoassimilate partitioning. In: Zamski, E., Schaffer, A. (Eds.), *Photoassimilate Distribution in Plants and Crops: Source–Sink Relationships*. Marcel Dekker Inc., New York, pp. 1 –20.

Voegelé, R.T. & K.W. Mendgen. 2011. Nutrient uptake in rust fungi: How sweet is parasitic life?. *Euphytica* 179:41-55. Volume 90, October 2017, Pages 53-66.

Waggoner, P.E. & R. Berger. 1987. Defoliation, Disease and Growth. *Phytopathology* 77: 393-398.

Wang, J., E. Pawelzik., J. Weinert., Q. Zhao & G. Wolf. 2004. Effect of fungicide treatment on the quality of wheat flour and breadmaking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 7593-7600.

Wegulo, S.N., J. Stevens., M. Zwingman & P.S. Baenziger. 2012. Yield Response to Foliar Fungicide Application in Winter Wheat, *Fungicides for Plant and Animal Diseases*, Dr. Dharumadurai Dhanasekaran (Ed.), ISBN: 978-953-307-804-5, InTech, DOI: 10.5772/25716. Available from: <http://www.intechopen.com/books/fungicides-for-plant-and-animal-diseases/yield-response-to-foliar-fungicide-application-in-winter-wheat>.

Whelan, H.G., R.E. Gaunt & W.R. Scott. 1997. The effect of leaf (*Puccinia hordei*) on yield response in barley (*Hordeum vulgare* L.) crops with different yield potentials. *Plant Pathology* 46: 397-406.

Wiese, M.W. 1977. Compendium of wheat diseases. The American Phytopathological Society. 106 pp.

Wiik L. 2009. Control of fungal diseases in winter wheat. Doctoral Thesis Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp. p. 19.

World Wheat Production. 2019. June 2019. Disponible en: <https://www.worldwheatproduction.com/>. Último acceso: Agosto de 2019.

- Zadoks, J.C., T.T. Chang & C.F. Konzak.** 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415–421.
- Zillinsky, F.J.** 1984. Guía para la identificación de enfermedades en cereales de grano pequeño. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT, El Batán, México, pp. 1-40.
- Zuckerman, E., A. Eshel & Z. Eyal.** 1997. Physiological aspects related to tolerance of spring wheat cultivars to *Septoria tritici* blotch. *Phytopathology* 87: 60-65.