

Tolerancia de cultivares de trigo a
mancha amarilla y roya de la hoja: su
impacto en el rendimiento y calidad
panadera bajo fertilización nitrogenada
y aplicación de fungicidas sistémicos



Ing. Agr. María Constanza Fleitas

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA



Trabajo de Tesis para optar por el título de Doctor de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata

Tesista

Ing. Agr. María Constanza Fleitas

(Cerealicultura, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP - CONICET)

Directora de Tesis

PhD. MSc. Ing. Agr. María Rosa Simón

(Cerealicultura, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP - CIC)

Jurado de tesis

Dra. Ing. Qca. Martha Beatriz Cuniberti

(Jefa y Directora Técnica del Lab. de Calidad Industrial y Valor Agregado de Cereales y Oleaginosas, INTA Marcos Juárez)

Dr. Ing. Agr. Daniel Julio Miralles

(Cerealicultura, Facultad de Agronomía, UBA - IFEVA - CONICET)

Dra. Ing. Agr. Analía Edith Perelló

(Fitopatología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP - CONICET)

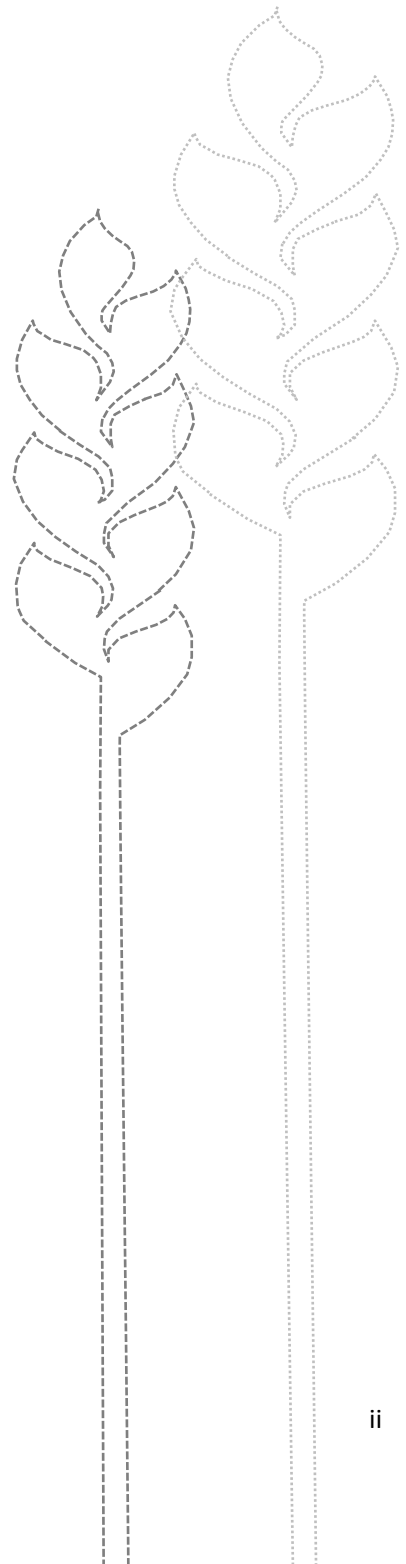
Fecha de defensa de la tesis: 23 de Marzo de 2017

Quiero dedicar este trabajo a mi familia y amigos.

A mis padres, María Esther y Osvaldo, y a mi hermana Florencia, quienes siempre me han apoyado incondicionalmente y han estado a mi lado todo este tiempo.

A mi compañero de la vida Guillermo, con quien además, compartimos esta hermosa profesión.

Este nuevo logro es en gran parte gracias a ustedes.



Agradecimientos

Quiero agradecer primeramente a mi directora, la **Dra. María Rosa Simón**, quien me ha guiado a lo largo de todos estos años, por toda la paciencia, dedicación y tiempo prestado para poder lograr la realización de este trabajo.

Al **CONICET** (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas) que financiaron mis estudios.

A mis colegas y compañeros de la **Cátedra de Cerealicultura**, especialmente a los **Ing. Agr. Guillermo Gerard, Juan Ignacio Dietz y Martín Cardelli**, quienes han colaborado en los ensayos y evaluaciones a campo.

A la **Dra. Ana Carolina Castro**, con quien he trabajado en el laboratorio y he compartido congresos y escritura de trabajos.

Al **MSc. Ing. Agr. Matías Schierenbeck**, con quien he trabajado en los ensayos de campo y ha aportado comentarios críticos y valiosos para la redacción de esta tesis.

A la **Dra. Silvina Inés Golik**, por quien tengo un gran aprecio, además de colaborar en mis ensayos y en las evaluaciones a campo, siempre me brindó mucho apoyo y cariño, los cuales fueron de gran ayuda y motivación

A la **Bqca. Mirta Castaño**, quien me ha enseñado a realizar los análisis de calidad en el laboratorio de Cerealicultura y al personal del **Molino Campodónico**.

Al **Ing. Agr. Martín Pardi**, que ha colaborado en mis ensayos de campo y en el aporte de datos meteorológicos.

A los tesistas de grado que codirigí, el **Ing. Agr. Nicolás Pascual** y la **Ing. Agr. Romina Esposito** y a todos los alumnos y pasantes que colaboraron en las tareas de campo y laboratorio, especialmente, a la familia Esposito.

A los **semilleros** ACA, Buck, INTA, Klein, Nidera y Sursem por el aporte de semillas y a los **Ing. Agr. Pablo Campos y Francisco Sacco** por la provisión del inoculo necesario para llevar adelante este estudio.

Al personal de la **Empresa BASF**, por proveer los fungicidas y contribuir con las aplicaciones de los mismos en los ensayos de campo.

Finalmente, quisiera agradecer a los **jurados** de tesis por su tiempo, dedicación y sus valiosos aportes para mejorar este trabajo.

TRABAJOS PUBLICADOS DERIVADOS DE ESTA TESIS*

A. Revistas Nacionales

- Fleitas MC**, Schierenbeck M, Golik SI, Simón MR (2016) La calidad panadera y dinámica del área foliar verde de trigo pan, frente a mancha amarilla y roya de la hoja. Revista técnica cultivos invernales / Edición 2016. Revista Técnica de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID), Pág. 48-54
- Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Golik SI, Miralles DJ, Simón MR (2016) Mancha amarilla y roya de la hoja en trigo, ¿Cómo afectan la tasa de crecimiento del cultivo? Revista técnica cultivos invernales / Edición 2016. Revista Técnica de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID), Pág. 63-70
- Fleitas MC**, Gerard GS, Simón MR (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,
- Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Golik SI, Simón MR (2015) Generación de biomasa y rendimiento en trigo frente a infecciones de *Puccinia triticina* y *Pyrenophora tritici-repentis*. Revista FAVE, Sección Ciencias Agrarias, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Litoral, 14: 161-176
- Fleitas MC**, Schierenbeck M, Golik SI, Simón MR (2015) Tolerancia de cultivares de trigo a roya de la hoja y mancha amarilla. Revista técnica cultivos invernales / Edición 2015. Revista Técnica de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID), Pág. 62-66
- Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Golik SI, Simón MR (2015) Dinámica del área foliar verde y producción de biomasa aérea frente a infecciones de mancha amarilla y roya de la hoja. Revista técnica cultivos invernales / Edición 2015. Revista Técnica de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID), Pág. 53-59
- Fleitas MC**, Schierenbeck M, Simón MR (2014) Efecto de la roya de la hoja sobre el rendimiento y la calidad de trigo en cultivares de diferente grupo de calidad. Revista Agronómica del Noroeste Argentino, Pág. 215-218
- Fleitas MC**, Schierenbeck M, Simón MR (2014) Tolerancia de la mancha amarilla del trigo en cultivares de diferente grupo de calidad. Revista Agronómica del Noroeste Argentino, Pág. 219-221
- Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Cortese F, Golik SI, Simón MR (2014) Enfermedades foliares del trigo afectan diferencialmente la absorción y removilización del nitrógeno hacia los granos. Revista Agronómica del Noroeste Argentino, Pág. 242-246
- Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Simón MR (2014) Componentes ecofisiológicos involucrados en la generación de biomasa afectados por enfermedades foliares en trigo. Revista Agronómica del Noroeste Argentino, Pág. 247-250

B. Revistas Internacionales y libros

- Fleitas MC**, Schierenbeck M, Gerard GS, Dietz JI, Golik SI, Simón MR (2017) Breadmaking quality and yield response to the green leaf area duration caused by fluxapyroxad under three nitrogen rates in wheat affected with tan spot. Crop Protection (en revision)
- Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Miralles D, Simón MR (2016) Is absorption or the use of radiation that limit the growth of wheat varieties inoculated with tan spot or leaf rust? Field Crops Research, 199: 65-76
- Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Simón MR. 2015. Dinámica del nitrógeno ante enfermedades fúngicas foliares en trigo: Efecto diferencial de patógenos necrotróficos y biotróficos. Editorial Académica Española. Saarbrücken, Alemania. 65 pp. ISBN: 978-3-659-08784-4

*Sólo se consignan los trabajos publicados en revistas. En el Anexo I, se detallan los trabajos publicados en congresos.

ÍNDICE	Pág.
<i>Jurado de tesis</i>	i
<i>Dedicatorias</i>	ii
<i>Agradecimientos</i>	iii
<i>Trabajos publicados derivados de esta tesis</i>	iv
Índice	1
<i>Abreviaturas</i>	2
Resumen	4
Summary	6

CAPÍTULO 1. Introducción general

1.1 Introducción general	9
A. Hipótesis	23
B. Objetivos	24
C. Diagrama de la tesis	25

CAPÍTULO 2. Detección de tolerancia y su efecto sobre el rendimiento y calidad panadera en cultivares de trigo de diferente grupo de calidad afectados por mancha amarilla y roya de la hoja

2.1 Introducción	27
2.2 Materiales y métodos	34
2.3 Resultados	45
2.4 Discusión	66

CAPÍTULO 3. Efecto de la fertilización nitrogenada y fungicidas sobre el área foliar verde, el rendimiento y la calidad panadera de cultivares de trigo de diferente grupo de calidad afectados por mancha amarilla y roya de la hoja

3.1 Introducción	75
3.2 Materiales y métodos	83
3.3 Resultados	85
3.4 Discusión	109

CAPÍTULO 4. Discusión general

A. Discusión general	119
B. Conclusiones	129
C. Aportes de esta tesis y consideraciones finales	129
<i>Referencias bibliográficas</i>	132
Anexo I. Publicaciones en congresos nacionales e internacionales derivados de la tesis	146

Abreviaturas

0N	0 kg N/ha
70N	70 kg N/ha
140N	140 kg N/ha
°C	Grados centígrados
A315	Cultivar ACA 315
A303	Cultivar ACA 303
A	Absorción de agua de la harina (ml)
ABCPE	Área bajo la curva del progreso de la Enfermedad
ACI	Alta concentración de inóculo (ml/l suspensión)
ANAVA	Análisis de varianza
Bag11	Cultivar Baguette Premiun 11 (Nidera)
Bag17	Cultivar Baguette Premiun 17 (Nidera)
Bag18	Cultivar Baguette Premiun 18 (Nidera)
BINTA	Cultivar BioINTA 3004
BSY100	Cultivar Buck SY 100
B	Tiempo de desarrollo de la masa (min)
BCI	Baja concentración de inóculo (ml/l suspensión)
cm³	Centímetro cúbico
CPG	Contenido de proteína del grano (%)
D	Estabilidad de la masa (min)
DAFT	Duración de área foliar total (días)
DAFV	Duración de área foliar verde (días)
E	Grado de ablandamiento (UF)
EC	Estadio de crecimiento
EC23	Estadio de pleno macollaje
EC24	Estadio de fines de macollaje
EC39	Estadio de hoja bandera desplegada
EC60	Estadio de floración o antesis
EC82	Estadio de grano pastoso
e.g.	<i>Exempli gratia</i>
EI	Eficiencia de intercepción
ELISA	Enzyme-linked immunosorbent assay (Ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas)
et al.	<i>Et alii</i>
EUR	Eficiencia de uso de la radiación
FLHAD	Flag leaf healthy area duration
g	Gramo
GC1	Grupo de calidad 1
GC2	Grupo de calidad 2
GC3	Grupo de calidad 3
GH	Gluten húmedo (%)
GPC	Grain protein content (%)
HAD	Healthy area duration (days)
ha	Hectárea
HB	Hoja bandera
HB⁻¹	Hoja inmediatamente inferior a la HB
HB⁻²	Hoja inmediatamente inferior a la HB ⁻¹
HR	Humedad relativa (%)

IAF	Índice de área foliar (m ² hoja/m ² suelo)
IAFT	Índice de área foliar total (m ² hoja/m ² suelo)
IAFV	Índice de área foliar verde (m ² hoja/m ² suelo)
ICI	Índice de calidad industrial
<i>i.e.</i>	<i>Id est</i>
INASE	Instituto Nacional de Semillas
J	Joules
KYarará	Cultivar Klein Yarará
KGuerrero	Cultivar Klein Guerrero
kg	Kilogramo
L	Extensibilidad de la masa (mm)
l	Litro
LV	Loaf volume (cm ³)
m²	Metro cuadrado
min	Minuto
Mha	Millones de hectáreas
MJ	Mega Joule
ml	Mililitro
mm	Milímetro
Mt	Millones de toneladas
N	Nitrógeno
NESP	Número de espigas/m ²
NGE	Número de granos/espiga
NGT	Número de granos/m ²
P	Tenacidad de la masa (mm)
PH	Peso hectolítrico (kg/Hl)
P/L	Tenacidad/extensibilidad
PMG	Peso de mil granos (g)
<i>P. triticina</i>	<i>Puccinia triticina</i>
<i>Py. tritici-repentis</i>	<i>Pyrenophora tritici-repentis</i>
RI	Radicación incidente
SLE2330	Cultivar Sursem LE 2330
SF	Sin fungicida
SI	Sin inóculo
seg	Segundos
t	Tonelada
TE	Triazol + estrobilurina
TEC	Triazol + estrobilurina + carboxamida
TS	Triazole + strobilurin
TSC	Triazole + strobilurin + carboxamide
UF	Unidades farinográficas
UT	Untreated control
VP	Volúmen de pan (cm ³)
W	Fuerza del gluten (J × 10 ⁻⁴)
WGC	Wet gluten content (%)

Resumen

La mancha amarilla ocasionada por el hongo necrotrófico *Pyrenophora tritici-repentis* (Died) Drechs (anamorfo *Drechslera tritici-repentis*) (Died) Shoem) y la roya de la hoja ocasionada por el hongo biotrófico *Puccinia triticina* Eriks, constituyen una de las principales restricciones bióticas que limitan el rendimiento y afectan la calidad del cultivo de trigo pan (*Triticum aestivum* L) tanto en Argentina como en otras partes del mundo. La mancha amarilla afecta el área fotosintéticamente activa mientras que la roya de la hoja afecta además la eficiencia de uso de la radiación, componentes involucrados en la generación de rendimiento. En los últimos años se ha impulsado el interés por el estudio de la tolerancia a enfermedades como un importante complemento de la resistencia genética dentro de un contexto de manejo integrado. Sin embargo, cuando la enfermedad no puede ser atenuada por estos mecanismos, es usual optar por la aplicación de fungicidas. Por su parte, la fertilización nitrogenada es necesaria para alcanzar elevados rendimientos y calidad en trigo, no obstante, además puede afectar la expresión de enfermedades. Uno de los objetivos de esta tesis fue evaluar diferencias en tolerancia a la pérdida de rendimiento ocasionadas por *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* (inoculados separadamente) y su efecto sobre la expresión de la calidad panadera en cultivares de trigo de diferente grupo de calidad. Se condujo un ensayo durante 2012 y 2013 en la Estación Experimental Julio Hirschhorn (Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, La Plata, Argentina) utilizando un diseño experimental en parcela dividida con tres repeticiones. Las parcelas principales fueron las inoculaciones de los patógenos (*Py. tritici-repentis* y *P. triticina*). La sub-parcela fueron los tratamientos de inoculación: 1- sin inóculo (SI), 2- baja concentración de inóculo (BCI) y 3- alta concentración de inóculo (ACI). Como sub-sub-parcela se sembraron diez cultivares de trigo de diferente grupo de calidad (GC). Las evaluaciones se realizaron en EC39, EC60 y EC82 y consistieron en la determinación del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), duración del índice de área foliar verde del cultivo (DAFV), rendimiento y sus componentes, y parámetros de calidad panadera. Se encontró que algunos cultivares fueron tolerantes a las dos enfermedades (BioINTA 3004 y Klein Guerrero). Por su parte, los cultivares ACA 303 y Sursem LE 2330 fueron tolerantes a mancha amarilla, en tanto que Klein Yará y Baguette 11 lo fueron a roya de la hoja. La pérdida de rendimiento fluctuó entre el 15,2% al 19,9%, debido a las disminuciones en el número de granos/espiga (12,9% para mancha amarilla y 18,7 % para roya de la hoja) y en el peso de mil granos (6,3% y 9,4% para mancha amarilla y roya de la hoja respectivamente). Respecto a los parámetros de aptitud panadera, la mancha amarilla incrementó el contenido de proteínas en grano (CPG), contenido de gluten húmedo (GH), la tenacidad (*P*), la extensibilidad (*L*), la fuerza del gluten (*W*), la absorción de agua de la harina (*A*), la estabilidad de la masa (*D*) y el volumen de pan (*VP*) en tanto que la roya de la hoja generó disminuciones. Los niveles de tolerancia no implicaron menores variaciones de los parámetros de calidad, que sólo presentaron menores fluctuaciones en los de mejor aptitud panadera (GC1). Otro de los objetivos fue evaluar el efecto de diferentes principios activos de fungicidas y de la fertilización nitrogenada sobre la severidad de la mancha amarilla y roya de la hoja, la DAFV del cultivo y de la hoja bandera (DAFVHB), el rendimiento y parámetros de calidad panadera en tres cultivares de trigo pertenecientes a tres grupos de calidad. Para ello,

se condujo un ensayo durante 2014 y 2015 en la Estación Experimental Julio Hirschhorn utilizando un diseño experimental en parcela dividida con tres repeticiones. Las parcelas principales fueron las inoculaciones de los patógenos (*Py. tritici-repentis* y *P. triticina*). La sub-parcela fueron los tratamientos de fungicidas: 1- sin fungicida (SF), 2- triazol + estrobilurina (TE) y 3- triazol + estrobilurina + carboxamida (TEC). Como sub-sub-parcela se aplicaron tres dosis de N: 1- 0 kgN/ha (0N), 2- 70 kgN/ha (70N) y 3- 140 kgN/ha (140N). Como sub-sub-sub-parcela se sembraron tres cultivares de trigo de diferente grupo de calidad. Las evaluaciones también se realizaron en EC39, EC60 y EC82 y consistieron en la determinación del ABCPE, DAFV, DAFVHB, el rendimiento y sus componentes, y los parámetros de calidad panadera. El ABCPE de mancha amarilla se incrementó ante dosis crecientes de N, contrariamente, con roya de la hoja, sucedió lo contrario. No obstante, el impacto de la fertilización nitrogenada fue mayor sobre la DAFV que sobre la severidad de las enfermedades. Por otro lado, la aplicación de TEC no solo produjo las mayores disminuciones del ABCPE, sino que además produjo los mayores incrementos de la DAFV y DAFVHB lo que derivó en los mayores aumentos de rendimiento fundamentalmente explicados por el número de granos/m². El CPG se redujo con la aplicación de fungicidas para el control de mancha amarilla, en tanto que, cuando se controló la roya de la hoja, ocurrió lo inverso. Las disminuciones del CPG debido al control de mancha amarilla pudieron ser prevenidas mediante la fertilización nitrogenada. Finalmente, el efecto combinado de fungicidas y N generó efectos mayores sobre los parámetros de GH y reológicos de calidad panadera.

Summary

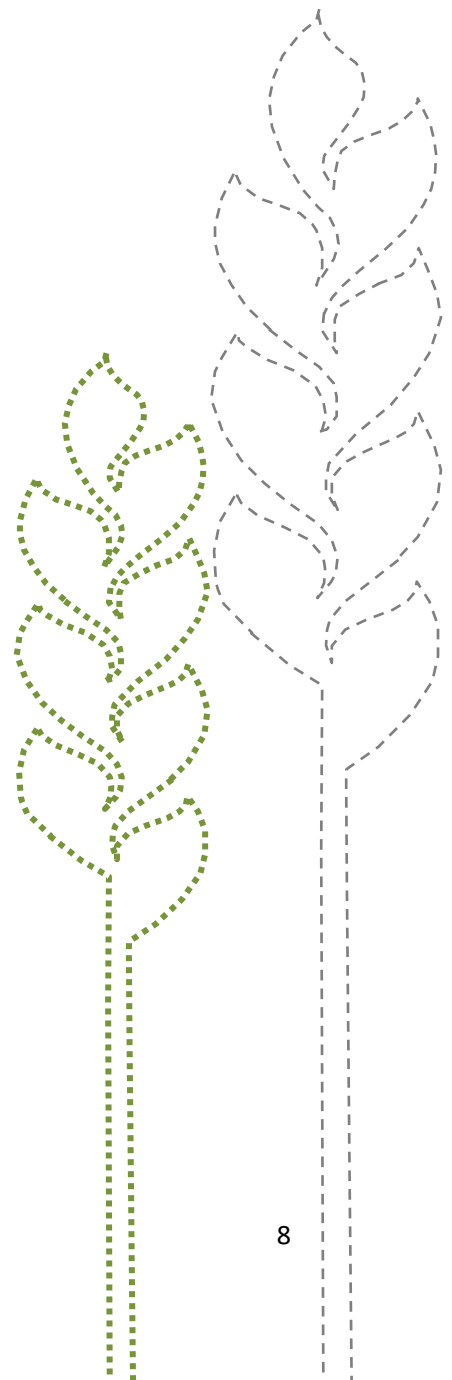
Tan spot caused by the necrotrophic fungus *Pyrenophora tritici-repentis* (Died) Drechs (anamorph *Drechslera tritici-repentis*) (Died) Shoem) and leaf rust caused by the biotrophic fungus *Puccinia triticina* Eriks, are main biotic causes of yield and quality reductions of wheat (*Triticum aestivum* L) in Argentina and other parts of the world. Tan spot, affects the photosynthetically active area of the crop, while leaf rust, also affects the radiation use efficiency, both components involved in yield generation. In recent years, the interest in the study of disease tolerance has been promoted as an important complement to genetic resistance within an integrated management context. However, when disease can not be attenuated by any of these mechanisms, opting for fungicide applications is very usual. On the other hand, nitrogen (N) fertilization is necessary to achieve high yields and quality in wheat, but may affect the expression of foliar diseases. One of the the aims was to evaluate differences in tolerance measured as response of yield to diseases-induced changes in healthy area duration (HAD) caused by *Py. tritici-repentis* and *P. triticina* (separately inoculated) and its effect on bread-making parameters in ten wheat cultivars differing in bread-making aptitude. Two field experiments were conducted during 2012 and 2013 at the Estación Experimental Julio Hirschhorn (Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, La Plata, Argentina). Treatments were arranged in an experimental split-split plot design with three replications, where the main plots were the pathogens (*P. tritici-repentis* and *P. triticina*); sub-plots corresponded to inoculation treatments: 1- without inoculation (WI), 2- low inoculum concentration of each pathogen (LC), 3- high inoculum concentration of each pathogen (HC) and ten commercial cultivars differing in bread-making aptitude were the sub-sub-plots. Evaluations were performed at EC39, EC60 and EC82 which consisted in determining of the area under the disease progress curve (AUDPC), HAD, yield, yield components and bread-making parameters. Cultivars BioINTA 3004 and Klein Guerrero exhibit tolerance to both diseases. On the other hand, ACA 303 and Sursem LE 2330 were tolerant to tan spot, while Klein Yará and Baguette 11 were tolerant to leaf rust. Yield loss caused by diseases fluctuated between 15.2% and 19.9% due to decreases in the grain number/spike (12.9% for tan spot and 18.7% for leaf rust) and in thousand kerner weight (6.3 and 9.4% for tan spot and leaf rust respectively). Regarding bread-making parameters, tan spot increased grain protein content (GPC), wet gluten content (WGC), tenacity (*P*), extensibility (*L*), gluten strength (*W*), water absorption (*A*), dough stability (*D*) and the bread loaf volume (LV), while the leaf rust caused decreases. Tolerance levels did not imply lower variations of quality parameters, which only showed lower fluctuations in the better bread-making aptitude cultivars (quality group 1). Other objective was to evaluate the effect of fungicide applications differing in active ingredients and three N rates, on tan spot and leaf rust AUDPC, HAD, flag leaf HAD (FLHAD) grain yield and bread-making parameters in three wheat cultivars differing in bread-making aptitude. Two field experiments were conducted during 2014 and 2015 at the Estación Experimental Julio Hirschhorn. Main plots were the pathogens (*Py. tritici-repentis* and *P. triticina*); sub-plots corresponded to fungicide treatments: 1- untreated (UT), 2- triazole + strobilurin (TS) and 3- triazole + strobilurin + carboxamide (TSC), N doses were the sub-sub-plots: 1- 0 kg N/ha (0N), 2- 70 kg N/ha (70N) and 3- 140 kg N/ha. Three cultivars differing in

bread-making aptitude were the sub-sub-sub-plot. Evaluations were performed at EC39, EC60 and EC82 which consisted in determining the AUDPC, HAD, FLHAD, yield, yield components and bread-making parameters. AUDPC of tan spot increased with increasing N rates, conversely, with leaf rust the opposite occurred. However, the impact of N was greater on HAD than on disease severities. On the other hand, TSC applications not only produced the major decreases in AUDPC but also caused the main increases in HAD and FLHAD, which resulted in the higher yield increases mainly explained by the grain number/m². GPC was reduced with the application of fungicides when tan spot was controlled, whereas, with leaf rust the opposite occurred. Decreases in GPC due to tan spot control could be prevented with N fertilization. Finally, the combined effect of fungicides and N generated greater effects on WGC and dough rheological properties.



Capítulo 1

Introducción general



1.1. Introducción

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). El cultivo de trigo 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). Aproximadamente un sexto del total de los suelos cultivados del mundo se encuentra destinado a la producción de este cereal (Slafer & Satorre 1999). La distribución geográfica mundial es muy amplia a causa de su gran importancia como fuente de alimento y a su gran variabilidad genética en la respuesta fisiológica al fotoperiodo y temperatura, incluyendo la vernalización.

Actualmente, la producción mundial de trigo ronda los 733 Mt, siendo los principales productores la Unión Europea, China, India, Estados Unidos y Rusia (FAO 2016). 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, estimaciones recientes realizadas por Godfray *et al.* (2010) y Hall & Richards (2013) indican que la población mundial alcanzará los 9000 millones de habitantes en 2050 y que la demanda mundial de alimentos aumentará a una tasa anual del 1,6% aproximadamente. La mayor parte de esa futura demanda deberá ser afrontada a través de mayores rendimientos en las tierras de cultivo existentes. Esto se debe a que no es factible el incremento de superficie de tierra dado que ésto implicaría la destrucción de ecosistemas naturales incrementado el efecto negativo que el cambio climático ya ejerce sobre el cultivo. En este sentido, el incremento de rendimiento del cultivo deberá lograrse a través de un aumento del rendimiento potencial o de reducciones en la brecha existente entre el rendimiento potencial y el rendimiento logrado actualmente.

Históricamente el trigo ha sido el cereal de siembra invernal más importante de Argentina. 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 del mismo. Sin embargo, la expectativa es que esto se revierta y es así que durante la actual campaña (2016/17), se sembraron aproximadamente 4,7 Mha. A pesar de las disminuciones de la superficie sembrada, la producción de trigo se ha mantenido prácticamente invariable con un rendimiento promedio a nivel nacional de 3000 kg/ha fundamentalmente debido a la ganancia genética sumado a estrategias de manejo. Para la presente campaña, informes elaborados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (2016), estiman una producción de 13 Mt. En Argentina se consume un promedio de 72,5 kg de pan por habitante por año lo que la posiciona dentro de América como uno de los principales países consumidores de productos panificados elaborados con harina de trigo (Lezcano 2010). Teniendo en cuenta que el consumo interno del país ronda aproximadamente en los 5,5 Mt, Argentina es considerada uno de los principales países con gran capacidad de contribuir a satisfacer requerimientos futuros de alimentos en el mundo.

Por un lado, en condiciones ambientales sin limitantes hídricas, el rendimiento puede ser expresado a través de la cantidad de biomasa aérea producida durante el ciclo del cultivo y la proporción de la misma que es particionada hacia los granos (índice de cosecha, Bingham *et al.* 2009). Sin embargo, el concepto de calidad es variable, ya que depende del lugar de la cadena productiva en la que uno se posicione y cada eslabón de la misma posee una definición pertinente y totalmente justificada. De manera sencilla, la calidad puede ser definida como “lo que demanda quien me compra”, es decir, que depende del criterio especificado en relación a la industria que utilice los granos; pero además es dinámico, ya que se modifica en el tiempo con los distintos usos y necesidades de cada región o país. Los mercados de granos cada vez son más especializados y existirá en el futuro mayor presión para producir granos con mayor uniformidad y de características marcadamente más definidas.

Según Pierbattisti (2016) la calidad del grano de trigo se subdivide conceptualmente en cuatro grandes rubros a saber: calidad física, calidad comercial, calidad tecnológica y calidad sanitaria. A los fines de esta tesis, haremos referencia a la calidad tecnológica a su vez diferenciada en calidad molinera y calidad panadera. El contenido de proteínas del grano, es uno de los principales determinantes de calidad panadera en trigo, pero no el único (Reese *et al.* 2007). Su amplia difusión como indicador de calidad probablemente se deba a que es un parámetro fácil y rápido de cuantificar, permite que el comprador pueda comparar entre diferentes partidas, sobre todo cuando el mismo se encuentra a largas distancias; pero además porque en algunos países en desarrollo representa la principal y única fuente de proteínas en la alimentación. El clima, el suelo, el cultivar y el manejo, particularmente la fertilización nitrogenada del cultivo, son los principales factores determinantes de calidad en el cultivo de trigo (Darwich & Darwich 2004; Cuniberti & Mir 2016).

Por lo general, existe una relación negativa entre el rendimiento y la calidad del grano ya que los altos rendimientos suelen estar asociados a bajos contenidos de proteínas. Sin embargo, esto no implica que altos porcentajes de proteínas no puedan ser alcanzados con elevados niveles de rendimiento, en el Capítulo 3 se abordará con mayor detalle este aspecto. El contenido de proteínas en grano se encuentra determinado por efectos de “dilución” y “concentración”, ya que la deposición de proteínas y de almidón están regulados por eventos independientes, controlados por mecanismos separados (Jenner *et al.* 1991). Mientras algunos autores sostienen que el peso de los granos estaría co-limitado por fuente y por destino (Calderini *et al.* 2006), se considera que el contenido absoluto de proteínas en el grano está mayormente limitado por fuente (Martre *et al.* 2003). La limitación por fuente se relaciona con el hecho de que entre un 70-80% del nitrógeno (N) disponible es absorbido antes de floración y así las proteínas de los granos se forman en su mayor parte utilizando el N que se removiliza desde el tallo y las hojas hacia los granos como del proveniente de la absorción remanente. Por el contrario, la acumulación de carbohidratos en los granos está más influenciada por las condiciones ambientales en el periodo de llenado del grano y la actividad fotosintética en esta etapa (Stone & Savin 1999).

Durante las últimas dos décadas, los rendimientos de trigo en Argentina aumentaron, mientras que las variables de calidad decrecieron (Renzi *et al.* 2007; Abbate 2016). Sin embargo, estas disminuciones en calidad no se debieron a factores genéticos, por el contrario,

la genética del trigo argentino es una gran fortaleza y, de hecho, numerosos cultivares desarrollados en nuestro país son exportados y sembrados en otros países de la región. Lo que ocurre es que, en los últimos años, los criaderos han aportado genotipos de buena calidad, pero también de mayor potencial de rendimiento. Así, los mismos demandan mayores niveles de fertilización nitrogenada que, si no son satisfechos, resultan con un menor contenido de proteínas y por ende de menor calidad (Abbate 2016). De manera que, la pérdida de calidad en trigo puede ser prevenida mejorando la eficiencia de la fertilización nitrogenada, ya que una alta disponibilidad de N o aplicaciones en estados avanzados del cultivo, incrementan la derivación del nutriente absorbido hacia los granos, lo cual tiende a aumentar la concentración de proteína.

En trigo, la calidad es tan importante como el rendimiento. El aumento de la productividad se asocia directamente con una mayor demanda de N, que debe ser suministrada mediante el uso de fertilizantes químicos. Según autores como Darwich & Darwich (2004) y Cuniberti & Mir (2016), el cultivo de trigo necesita acumular 30-33 kg de N en biomasa aérea por tonelada de grano a producir. No obstante, la fertilización nitrogenada puede afectar la expresión de enfermedades foliares (Simón *et al.* 2002, 2003) y la efectividad de la aplicación de fungicidas (Simón *et al.* 2002, 2003; Varga *et al.* 2005) dado que genera canopeos densos (por mayores índices de área foliar) diluyendo la cantidad de fungicida aplicado por m² de hoja (Balardin *et al.* 2010). Sin embargo, la expresión de enfermedades foliares debido a la fertilización nitrogenada depende del ambiente, del cultivar y del hábito nutricional del patógeno considerado (Melegari 2001; Simón *et al.* 2002, 2003).

En este sentido, los hongos fitopatógenos se pueden clasificar en función de su hábito nutricional en: (i) biotróficos, definidos como los patógenos que obtienen nutrientes del tejido vivo del hospedante; (ii) necrotróficos, son hongos que causan la muerte de tejidos, obtienen su energía a partir de estos y frecuentemente producen toxinas; y (iii) hemibiotróficos que inicialmente cumplen una etapa asintomática, pero a medida que avanza la infección, se establecen finalmente como necrotróficos (Koeck *et al.* 2011). Por otro lado, dependiendo del número de ciclos infectivos que cumpla el patógeno, algunos hongos sólo cumplen un ciclo por año, es decir son monocíclicos, en tanto que otros (policíclicos) cumplen varios ciclos de infección por año. Estos últimos, pueden causar epifitias que son rápidas y explosivas (Wiik 2009).

Dentro del complejo de enfermedades en trigo, las enfermedades foliares constituyen las principales restricciones bióticas que reducen el rendimiento y la calidad del cultivo de trigo tanto en Argentina como en otras partes del mundo (Annone *et al.* 2001; Serrago *et al.* 2009, 2011; Carretero *et al.* 2010). Las enfermedades foliares de mayor importancia, tanto por intensidad como por frecuencia de aparición, son la mancha de la hoja [forma sexual *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J Schröt, in Cohn, anamorfo *Zymoseptoria tritici*, Rob ex Desm] (Fig. 1.1), la mancha amarilla [forma sexual *Pyrenophora tritici-repentis* (Died) Drechs, anamorfo *Drechslera tritici-repentis* (Died) Shoemaker] (Fig. 1.2) y la roya de la hoja (*Puccinia triticina* Eriks) (Fig. 1.3). Estas enfermedades, poseen patrones de desarrollo policíclico y su incidencia negativa está influenciada no sólo por el genotipo sino también por el ambiente

(Cordo 2014). Las enfermedades causadas por organismos biotróficos como las royas son consideradas enfermedades de rocío, dado por las pocas horas de mojado que requieren para provocar infección, mientras que las enfermedades causadas por organismos necrotróficos como las manchas son consideradas enfermedades de lluvia, dado por requerimientos de humedad más exigentes en cuanto a cantidad y duración (Moschini 2016).



Figura 1.1. Hojas de trigo inoculadas artificialmente con *M. graminicola* (tres primeras asintomáticas y cuarta con síntomas insipientes de la enfermedad) (a). Síntomas de mancha de la hoja en su etapa necrotrófica donde se aprecian las manchas necróticas y los picnidios del hongo (b y c) (Fotografías propias)

1.1.1. Caracterización de las enfermedades fúngicas foliares de trigo más importantes en Argentina

La mancha amarilla del trigo generalmente afecta hojas superiores entre inicios de floración a principio de llenado de granos (Moreno & Perelló 2010). Tanto el estadio del cultivo como la edad de la hoja parecen tener efecto sobre la severidad causada por el patógeno (Perelló *et al.* 2003). Generalmente los procesos de infección se dan a temperaturas entre 10 y 30 °C (siendo el óptimo entre 19 y 22°C) y periodos de 6 a 48 horas con elevada humedad relativa (Sah 1994) y rocío (Annone 2001a). Los síntomas se manifiestan en hojas como manchas cloróticas que luego se tornan de color castaño claro de forma elíptica con una región circundante o halo clorótico (Fig. 1.2c) producido por toxinas (Ptr ToxA, Ptr ToxB y Ptr ToxC) que generan la degradación de las paredes celulares (Ney *et al.* 2013). A nivel mundial, se han observado mermas de rendimiento entre el 18 al 31% (Bhathal *et al.* 2003) y del 3 al 53% (Rees & Platz 1983) debidas a mancha amarilla, mientras que Annone *et al.* (1994) determinaron para nuestro país reducciones de alrededor del 20%. Las pérdidas de rendimiento se deben a que la enfermedad genera reducciones en el número de granos por espiga y peso de mil granos (Schilder & Bergstrom 1990), biomasa total (Kremer & Hoffmann 1992; Schierenbeck *et al.* 2014a) y/o la calidad del grano por los síntomas de “red-smudge” (o coloración rojiza) sobre los granos (Fernández *et al.* 1994).

Las semillas infectadas, el rastrojo y los hospedantes alternativos son las fuentes de inóculo más importantes del patógeno (Moreno & Perelló 2010). En este sentido, la evidencia en la literatura señala a los restos culturales (Fig. 1.2a) como la principal fuente de inóculo (Rees & Platz 1980; Wright & Sutton 1990). Por su parte, Carmona *et al.* (1999) concluyen que la semilla introduce el inóculo en nuevas áreas, el monocultivo garantiza la presencia indefinida del patógeno en el campo y la siembra directa asegura las condiciones óptimas para

la supervivencia e infección. Es por ello que, el incremento de la ocurrencia de la enfermedad, ha sido atribuido fundamentalmente al aumento de la superficie sembrada bajo siembra directa (Fig. 1.2b) y la falta de rotaciones sumado al uso de cultivares susceptibles (Moreno *et al.* 2012).



Figura 1.2. Cultivo de trigo sembrado bajo siembra directa donde se observa el rastrojo del cultivo anterior (a y b). Síntomas de mancha amarilla en hojas en estado de encañazón (c y d) y en hoja bandera en el periodo de llenado de granos (e) (Fotografías propias)

El inóculo primario puede propagarse a largas distancias a través de la semilla infectada y ser introducido a nuevas regiones trigueras. En la semilla, el patógeno se ubica en el pericarpio donde permanece como micelio infectivo o esporas asexuales y se transmite al resto de la planta de manera no sistémica (Schilder & Bergstron 1994). Además del rastrojo, los hospedantes alternativos también juegan un rol importante como fuente de inóculo primario, ya que garantizan la supervivencia del patógeno entre estaciones de crecimiento. Más aún, estas plantas actúan como fuente de variabilidad genética y reservorio de poblaciones del patógeno genéticamente diferente a la de trigo (De Wolf *et al.* 1998). En este sentido, se lo ha encontrado afectando a varias especies de *Agropyron* y *Elymus*, *Andropogon gerardi*, *Alopecurus arundinaceus*, *Dactylis glomerata*, *Bromus inermis*, *Phalaris arundinacea*, cebada (*Hordeum vulgare* L), centeno (*Secale cereale* L) y avena (*Avena sativa* L), entre otros hospedantes (Carmona *et al.* 1999).

El agente causal de la mancha amarilla se propaga principalmente por medio de esporas (ascosporas y conidios) que se originan en lesiones de plantas de trigo establecidas naturalmente, y en lesiones de algunas malezas y pastos naturales que actúan como hospedantes. Los pseudotecios tienen un papel crítico en la epidemiología de la enfermedad ya que maduran en el rastrojo de trigo durante el otoño e invierno y al comienzo de la

primavera liberan las ascosporas, que son el inóculo primario de la enfermedad. Estas son dispersadas por el viento, lo mismo que los conidios que se producen desde la primavera hasta avanzado el verano (Wegulo 2011).



Figura 1.3. Pústulas de *P. triticina* en hoja bandera (a). Imagen ampliada de las pústulas anaranjadas dispuestas irregularmente (b). Cultivar altamente susceptible totalmente afectado por la enfermedad (c) (Fotografías propias)

Por otro lado, la roya de la hoja del trigo es ocasionada por *P. triticina*, un patógeno biotrófico que obtiene los nutrientes únicamente de tejidos vivos y utiliza estos recursos para su crecimiento y esporulación (Voegele & 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; Germán *et al.* 2016). 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. Los uredosoros de aproximadamente 2 mm se distribuyen irregularmente en el haz de la hoja (Fig. 1.3b), pudiendo alcanzar las vainas y espiguillas. Al final del ciclo del cultivo aparecen teliosoros castaño oscuros a negros, dispuestos al azar en el envés de las hojas y en las vainas. 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 su parte, autores como Huerta-Espino *et al.* (2011) y Muhammad *et al.* (2015) mencionaron que las pérdidas de rendimiento ocasionadas por la enfermedad pueden alcanzar el 50%. En tanto que, para nuestro país, Campos (2014) halló pérdidas superiores al 30% en cultivares altamente susceptibles.

La importancia de la enfermedad está asociada a la extensa superficie sembrada con cultivares susceptibles, lo que provoca una alta densidad de producción de esporas. Esto último, ocasiona que una mayor cantidad de inóculo sobreviva en el verano y así, exista un reservorio de esporas durante el ciclo del cultivo. Más aún, la elevada densidad de producción de esporas incrementa probabilidad de aparición de nuevas razas con el consecuente riesgo de quebrar la resistencia genética de algunos cultivares. Tal fue el caso de los cultivares argentinos Cargill Trigo 800 en 1982 y Klein Don Enrique en 2002/03 que en pocos años cambiaron drásticamente su buen comportamiento frente a la enfermedad con la aparición de nuevas razas de *P. triticina* (Sacco *et al.* 2016). No obstante, aunque se parta de bajo inóculo

inicial, no se debe descuidar el progreso de la enfermedad ya que la misma puede desarrollarse de manera rápida y explosiva debido al carácter policíclico del patógeno sumado a la elevada capacidad de producción de esporas (3000 urediniosporas por lesión por día, Germán *et al.* 2016).

Dado la elevada capacidad de dispersión de esporas del hongo a través del viento, bien les ha valido el nombre de “enfermedades sociales” debido que no sólo pueden afectar campos vecinos, sino que pueden trasladarse a países limítrofes o inclusive atravesar océanos, ya que se ha documentado la propagación de esporas entre continentes (Muhammad *et al.* 2015). Esta es una de las explicaciones de por qué países como Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay comparten en general similares poblaciones de razas del patógeno (Germán *et al.* 2016) probablemente también debido a que muchos cultivares sembrados en Argentina son semejantes a los sembrados en los mencionados países por estar adaptados a iguales condiciones agroclimáticas.

1.1.2. Tolerancia a enfermedades foliares de trigo como complemento de la resistencia genética en un contexto de manejo integrado

La presencia de manchas foliares en trigo aumentó en las últimas décadas, siendo una de las principales limitantes del rinde en la mayoría de las subregiones trigueras del país. El uso de genotipos de trigo susceptibles, la utilización de semilla contaminada, el aumento de la siembra directa y la falta de rotaciones contribuyen a que el uso de fungicidas sea hoy en día una de las prácticas más habituales (Annone 2001b). La resistencia genética en combinación con prácticas culturales, es la forma de manejo de enfermedades más adecuada, dado que no implica incrementos en los costos de producción ni contaminación del ambiente debido al uso de agroquímicos, con una relación costo-efectividad relativamente baja (Simón *et al.* 2002).

La resistencia genética puede definirse como la capacidad de la planta para reducir el crecimiento y desarrollo del patógeno una vez en contacto con el huésped, o después de que ha iniciado su desarrollo o se ha establecido (Niks *et al.* 1993). Es una característica heredable y controlada principalmente por el sistema genético nuclear. En algunos casos, es controlada por uno o pocos genes (genes “mayores”), denominándose cualitativa, completa, específica, monogénica u oligogénica (Van Ginkel & Rajaram 1993; Singh & Rajaram 1995), o como en muchos casos, por múltiples genes (Bai & Shaner 1994) denominándose cuantitativa, parcial o no específica o poligénica. En la actualidad se han identificado más de 70 genes de resistencia a roya de la hoja y numerosos loci de rasgos cuantitativos (QTLs) (McIntosh *et al.* 2013). Por otro lado, 21 genes de resistencia a mancha de la hoja y 89 QTLs han sido mapeados e identificados hasta la fecha (Brown *et al.* 2015), en tanto que a mancha amarilla se han detectado diferentes genes de resistencia, de herencia simple (mono o digénica) (Lamari & Bernier 1991; Sykes & Bernier 1991; Lepoint *et al.* 2010) o compleja (Nagle *et al.* 1982; Elias *et al.* 1989).

Los esfuerzos internacionales del mejoramiento del cultivo de las últimas décadas, se han centrado más bien en la resistencia a enfermedades y en la tolerancia a estreses abióticos

como sequía o estrés térmico por altas temperaturas. Sin embargo, la efectividad de la resistencia genética a lo largo del tiempo depende de la capacidad patógeno para generar nuevas razas (por recombinación, migración o mutación del patógeno), que no sean reconocidas por los factores de resistencia presentes en el huésped (Burdon & Silk 1997). La mayoría de los genes de resistencia frente a enfermedades foliares son del tipo raza-específica, implicando que son efectivos frente algunas razas del patógeno pero susceptible a otras. Esto ocasiona que en general pierdan su eficacia en pocos años cuando se despliegan a gran escala, por lo que se requiere el desarrollo continuo de nuevos cultivares resistentes para reemplazar las variedades que se han convertido en susceptibles.

Es por ello que, en los últimos años, se ha impulsado el interés por el estudio de la tolerancia a enfermedades como un complemento importante de la resistencia genética. En este sentido, la tolerancia a enfermedades es considerada una medida de manejo potencialmente más duradera, ya que ejerce poca o ninguna presión de selección sobre el patógeno y además no generaría costo adicional al metabolismo de la planta en comparación a la resistencia genética. El término de tolerancia se define como la estrategia por el cual las plantas son capaces de limitar el daño cuando son directamente expuestas a algún estrés biótico o abiótico. Para el caso de tolerancia a enfermedades, esta se define como la habilidad de un cultivar para mantener el rendimiento o limitar la pérdida del mismo en presencia de síntomas de una enfermedad. Similares definiciones han sido dadas por Shafer (1971) Kramer *et al.* (1980), Newton *et al.* (1998); Parker *et al.* (2004), Paveley *et al.* (2005); Foulkes *et al.* (2006), Oliver *et al.* (2009), Bingham *et al.* (2009); Bancal *et al.* (2015); Castro (2016); Castro & Simón (2016) y Newton (2016).

Existen distintas formas de cuantificar la tolerancia a enfermedades (Bingham *et al.* 2009; Ney *et al.* 2013). Una forma precisa de evaluarla es cuantificar la relación entre severidad y las pérdidas de rendimiento para cada cultivar separadamente a través de la pendiente de la línea de regresión entre la severidad de la enfermedad o el ABCPE y el rendimiento. Dicha pendiente, que expresa la pérdida de rendimiento por unidad de severidad a la enfermedad, luego se la compara con las pendientes de las rectas de regresión de todos los cultivares. Sin embargo, este enfoque no proporciona información sobre el tamaño del canopeo del cultivo, que puede variar entre años y sitios, y por lo tanto, diferir en el área verde funcional remanente. Dado que, la duración del área foliar verde (DAFV) está más correlacionada con las pérdidas de rendimiento que la severidad o el ABCPE por sí sola (Waggoner & Berger 1987; Whelan & Gaunt 1990; Bryson *et al.* 1997; Foulkes *et al.* 2006), es que autores como Parker *et al.* (2004) y Castro & Simón (2016) sugieren que dicha variable es la más se ajusta en los modelos de cuantificación de tolerancia. En el capítulo 2 se abordará con mayor detalle estos temas.

Para un rango limitado de variedades se han encontrado diferencias en tolerancia a la mancha de la hoja (Ziv & Eyal 1978; Castro 2016; Castro & Simón 2016) y a la roya de la hoja (Caldwell *et al.* 1958; Roberts *et al.* 1984). Sin embargo, en nuestro país no se dispone de información con respecto a la tolerancia de cultivares de trigo a la mancha amarilla o roya de la hoja. La mayoría de la información disponible en nuestro país sobre la tolerancia a

enfermedades es escasa o se han realizado sobre la mancha de la hoja (Castro 2016; Castro & Simón 2016).

1.1.3. Manejo químico de enfermedades foliares de trigo

Los fungicidas constituyen una importante herramienta de control de enfermedades foliares para la producción de trigo (Gooding 2006) dado que en general no existen adecuados niveles de resistencia frente a enfermedades. En Argentina los triazoles, las estrobilurinas y las carboxamidas son los fungicidas sistémicos más utilizados para controlar enfermedades foliares. Las estrobilurinas, además de su actividad antifúngica, poseen la propiedad de inhibir la síntesis de etileno en la planta retrasando la senescencia de las hojas. En este sentido, Dimmock & Gooding (2002a) hallaron 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 como resultado de la prolongación del periodo verde de la hoja bandera. Por su parte, Wu & Von Tiedemann (2001) sostienen que este retraso en la senescencia, se debería a que las estrobilurinas protegen a los tejidos de las especies reactivas de oxígeno (peróxido de hidrógeno) y por lo tanto existiría un menor estrés oxidativo en el tejido de la planta. En los últimos años se ha incorporado la utilización de carboxamidas las cuales también han sido asociadas a incrementos de rendimiento por generar efectos positivos en la fisiología de la planta (Berdugo *et al.* 2012). En este sentido, Smith *et al.* (2013) señalaron que la carboxamida Fluxapyroxad incrementó los rendimientos de grano de trigo en un 12%, lo cual no estuvo asociado al control de síntomas visibles de la enfermedad, sino que más bien se debió a efectos positivos sobre la fisiología de la planta como una mejor eficiencia de uso del agua. Asimismo, Ajigboye *et al.* (2014) encontraron que, en ausencia de enfermedad, una mezcla de triazol y carboxamida incrementó la eficiencia del Fotosistema II, asociado con una mejora del intercambio gaseoso de la fotosíntesis e incremento en la tasa de transporte de electrones, lo que derivó en aumentos de la biomasa y el rendimiento de grano.

Por otro lado, la duración del periodo verde de la hoja bandera es particularmente importante porque es la última hoja en senescer, intercepta más luz que las hojas inferiores y es la más próxima a los destinos (granos dentro de las espigas). La fotosíntesis producida por la hoja bandera en trigo contribuye con un 30-50% de los fotoasimilados para el llenado de grano (Sylvester-Bradley *et al.* 1990), es por ello que la longevidad de ésta se correlaciona estrechamente con la acumulación de materia seca. Cualquier estrategia para proteger la hoja bandera es por lo tanto importante para asegurar altos rendimientos y calidad (Blandino & Reyneri 2009). Se ha mencionado que por cada aumento en la duración de la hoja bandera, hay incrementos en rendimiento de carbohidratos y reducciones en la concentración de proteína del grano, sin evidencia de que haya influencia del ingrediente activo del fungicida (Dimmock & Gooding 2002a). Contrariamente, otras evidencias en la literatura (Gooding *et al.* 2007; Pepler *et al.* 2005a, b) sostienen que la longevidad de la hoja bandera incrementa tanto el rendimiento como el contenido de proteínas en grano. La longevidad de las hojas influencia directamente el rendimiento en grano, pero se ve seriamente disminuida por estrés ambiental (Benbella & Paulsen 1998).

1.1.4. Calidad de trigo pan

1.1.4.1. Situación en Argentina, nuestra genética como gran fortaleza

Tradicionalmente, Argentina ha vendido su trigo en forma no diferenciada, mientras que países como Australia, Estados Unidos y Canadá proporcionan distintos tipos de calidad del cereal con el fin de abastecer demandas específicas. Esta diferenciación ofrece una garantía de proteína y calidad que les permite obtener mejores cotizaciones. Afortunadamente, en los últimos años las ventas por calidad panadera se han incrementado, no solo por una segregación ejercida por la molinería interna, sino también para satisfacer los requisitos de la exportación, fundamentalmente a Brasil y, más recientemente, a África, a través de negocios de valorización de partidas diferenciadas (González Montaner & Di Nápoli 2005). En nuestro país, la producción y rendimiento de trigo en los últimos 25 años se ha incrementado a pesar de que hubo una tendencia a disminuir el área sembrada. Esto implica una fuerte presencia de los criaderos que han aportado genotipos de mayor rendimiento sin descuidar la calidad.

La calidad panadera de una variedad está determinada por la cantidad y composición de las proteínas del grano, que determinan el comportamiento de otros parámetros que se mencionarán más adelante. Dada la amplia variedad de cultivares es posible establecer una diferenciación por grupos de aptitud panadera elaborada por el Comité de Cereales de Invierno del Instituto Nacional de Semillas (INASE) que se actualiza todos los años con la incorporación de las nuevas variedades lanzadas al mercado. Dentro de esta clasificación encontramos a las variedades de grupo de calidad 1 (GC1) como las variedades correctoras aptas para la panificación industrial, las del grupo de calidad 2 (GC2) son las variedades para panificación tradicional con más de 8 horas de fermentación y por último, las del grupo de calidad 3 (GC3), son aquellas aptas para panificación directa con menos de 8 horas de fermentado (Steffolani *et al.* 2007). Actualmente, se encuentra en vías de acreditación una nueva clasificación de calidad de trigo el cual propone dividir los grupos de calidad por ambientes y a su vez, segregar cada grupo en dos bandas de contenido de proteínas. Esto permitiría facilitar la comercialización de trigo, con precios diferenciales sobre partidas de buena calidad, que incrementaría la rentabilidad tanto del productor como del acopiador.

Argentina está en condiciones de competir en los mercados internacionales a la par de los países de mayor prestigio en materia de calidad triguera, prueba de ello es que países como Brasil, utilizan nuestros trigos como correctores de su producción local. No sorprende entonces el hecho de que casi el 80% de los cultivares sembrados actualmente a nivel nacional pertenezcan a los grupos de calidad 1 y 2 (Molfese 2016) lo que sugiere el gran compromiso de los productores con el mercado externo demandante. Sin embargo, si bien Argentina dispone de cultivares con genética capaz de lograr una alta calidad panadera, si no se cubren los requerimientos nutricionales para la formación de proteína, estos no pueden expresar su potencial. Históricamente, el trigo argentino ha sido considerado por los compradores, salvo años excepcionales como el año pasado, igual o superior al grado dos del trigo de invierno americano, reconocido por su elevado contenido de proteínas. La proteína promedio obtenida a nivel nacional en la campaña pasada (2015/16) no superó el 10% por factores climáticos y económicos, lo que ocasionó que tanto a molinos como a la industria les surjan problemas importantes en la elaboración de productos panificados. En este sentido, autores como

Molfese & Astiz (2016) sostienen que el contenido de proteínas en grano por debajo del 11% generan harinas difíciles de procesar.

Por otro lado, la región triguera argentina está dividida en nueve subregiones, abarcando una extensa área con características agroecológicamente distintas y con gran variabilidad entre años, incluso dentro de una misma subregión, debido a la importante extensión de cada una de ellas. Por lo tanto, la producción de trigo habitualmente presenta variaciones de producción y calidad interanuales y en años donde las condiciones climáticas son favorables los cultivares pueden expresar su potencial de rendimiento, produciendo por lo general una caída en los aspectos de calidad panadera si el cultivo no es acompañado con un adecuado manejo (Molfese 2016). En la calidad panadera inciden en orden de importancia el clima, el suelo y el cultivar (Cuniberti & Mir 2016). El clima no es un factor controlable, contrariamente al suelo (que puede modificarse a través de un adecuado manejo) y al cultivar (a través de la elección de genotipos de mejor aptitud panadera).

La clasificación en grupos de calidad realizada por INASE parte de características intrínsecas del material genético y es independiente de la cantidad total de proteínas en los granos, la cual es modificable únicamente a través de la fertilización nitrogenada. A iguales niveles de proteína, los cultivares de GC1 serán de mejor calidad que los de GC2 y estos a su vez que los de GC3. De manera que, para que una variedad pueda expresarse debe tener disponibilidad de N en el suelo, ya que una deficiencia del mismo provoca una caída del porcentaje de proteína y de la cantidad y calidad del gluten. La calidad panadera de trigo depende de la cantidad de proteína en grano, de la cantidad y calidad del gluten y de las propiedades reológicas de la harina, fundamentalmente de la fuerza del gluten (Cuniberti & Mir 2016) conocido como *W* del alveograma.

1.1.4.2. Factores que afectan la calidad panadera de trigo pan: ¿genotipo o ambiente?

En base a su función biológica, las proteínas del grano pueden ser clasificadas como metabólicas, estructurales y de reserva. Las proteínas de reserva se pueden subdividir en dos grandes grupos: gliadinas y gluteninas. Las gliadinas son proteínas monoméricas capaces de formar una mezcla heterogénea de cadenas polipeptídicas simples que pueden presentar un elevado polimorfismo. En cambio, la gluteninas son proteínas poliméricas que pueden ser de alto o bajo peso molecular y que se encuentran en forma de agregados. Precisamente, son las gliadinas y las gluteninas las responsables de formar una red viscoelástica denominada gluten cuando son hidratadas durante el proceso de amasado, lo que le otorga diferentes propiedades reológicas a las masas. El gluten es una masa viscoelástica de color blanco amarillento, que luego de la incorporación de agua y trabajo mecánico, confiere a las masas la capacidad de retener el gas anhídrico carbónico (CO₂) formado durante la fermentación de los azúcares, lo que le permite aumentar su volumen. Las gliadinas confieren a la masa una pequeña elasticidad y menor cohesividad que la gluteninas, razón por la cual contribuyen con la viscosidad y la extensibilidad de la masa. Por el contrario, las gluteninas son cohesivas y elásticas que son las responsables de otorgar la fuerza y la elasticidad a la masa (Wieser 2007). Una relación gluteninas/gliadinas balanceada es un parámetro importante de aptitud panadera ya que esto indica que la masa posee una adecuada extensibilidad, así la misma

puede expandirse con la presión del gas generado durante la fermentación, pero a la vez, es lo suficientemente tenaz y fuerte como para no permitir que los alveolos colapsen y se unan (Sroan *et al.* 2009).

Como se mencionó anteriormente, la calidad tecnológica de trigo puede dividirse en calidad molinera y calidad panadera. La primera, hace referencia a las características físicas del grano que en general influyen sobre el rendimiento industrial del mismo, donde se consideran los parámetros de peso hectolítrico, peso de mil granos, rendimiento de harina y contenido de cenizas de la harina. En cambio, la segunda, hace referencia al tipo y calidad de productos que se pueden obtener con la harina que se extrae del proceso de molienda donde los parámetros a tener en cuenta son el contenido de proteínas en grano, el contenido de gluten húmedo, el contenido de proteínas de harina, los parámetros de alveograma y farinograma y el volumen de pan. Siete de estos parámetros son utilizados para la elaboración del índice de calidad industrial (ICI), el cual representa una expresión de la aptitud panadera y se utiliza para categorizar las variedades de trigo previo a su difusión (Fraschina & Gómez 2016). Algunos parámetros son más relevantes que otros y explican mejor el índice de calidad, como sucede con el *W* que es más relevante que la estabilidad farinográfica (conocido como parámetro *D*). Sin embargo, muchas veces estos parámetros menos importantes son demandados por el comprador, como sucede con el *D* solicitado por Brasil, nuestro principal comprador.

Existe una gran variación en el efecto del genotipo y el ambiente sobre los parámetros de calidad. Algunos parámetros son más influenciados por el genotipo, como la dureza del grano o la composición de proteínas, mientras que otros son más influenciados por el ambiente como la cantidad y calidad de proteínas. No obstante, la magnitud del efecto del genotipo y del ambiente difiere entre la mayoría de los parámetros de calidad y a pesar de los numerosos estudios no existe un consenso general sobre cuál de los dos es más influyente (Vázquez *et al.* 2012). Algunos estudios concluyen que el factor genético es el más importante (Souza 2004; Dencic *et al.* 2010) en tanto que otros indican que el ambiente es el que prevalece (Finlay *et al.* 2007; Johansson *et al.* 2003). Con respecto a la calidad o composición de la proteína, Pannozo & Eagles (2000) observaron que la proporción de gluteninas dependió del genotipo mientras que la proporción de gliadinas dependió más del ambiente. De manera que, teniendo en cuenta que las gluteninas son el componente clave del *W* (Carson & Edwards 2009), este parámetro estaría determinado fundamentalmente por el genotipo. Estudios realizados por Abbate (2016) con 83 cultivares durante varios años y en diferentes subregiones trigueras de Argentina observaron que, dentro de los parámetros estudiados, el parámetro de menor efecto ambiental fue el *W*, seguido por el peso hectolítrico, contenido de proteínas, contenido de gluten y por último, el *D*.

1.1.4.3. Efectos de la fertilización nitrogenada y la aplicación de fungicidas sobre la severidad de las enfermedades foliares y la calidad panadera de trigo pan

Actualmente se ha difundido que las prácticas de manejo como la aplicación de fungicidas también pueden tener efectos sobre los parámetros de calidad panadera. Autores como González Montaner & Di Nápoli (2005) sostienen que cuando se emplean fungicidas en torno

a espigazón hay un efecto negativo sobre el *W* y el *D*; probablemente asociados al incremento del peso de los granos lo que se traduce en un menor contenido de proteínas. Contrariamente, Castellarín *et al.* (2004) documentaron que la aplicación de fungicidas incrementó significativamente tanto el rendimiento como la calidad comercial en el orden del 10-32% (según el cultivar) respecto al testigo sin control según momento de aplicación, tipo de molécula fúngica y tipo de enfermedad controlada. Otra cuestión no menos importante es que, una prolongación del periodo de llenado o un estrés durante el mismo podría alterar también la fase de deposición de gliadinas y gluteninas alterando su relación (Cuniberti 1998). Frente a condiciones de estrés, lo primero que se reduce o interrumpe es la síntesis de gluteninas pero continúa la de gliadinas reduciendo la relación glutenina/gliadina, lo que genera glútenes débiles y masas de menor tiempo de desarrollo (Blumenthal *et al.* 1993, 1994). Existen cultivares que tienen un comportamiento más estable, mientras que otros son muy susceptibles.

Algunos cultivares, frente al mismo nivel de severidad de ataque de algún patógeno presentan variabilidad en la disminución del rendimiento. También puede que existan variaciones de un año a otro, esto puede atribuirse a las características intrínsecas de los cultivares, que determinan la presencia de algún mecanismo de tolerancia, como así también a las condiciones climáticas y culturales en la cuales ha crecido el cultivo. Por otro lado, diferencias de rendimiento entre genotipos también conducen a variaciones inversas en el porcentaje de proteínas. En este sentido, Dimmock & Gooding (2002b) suponen que cultivares específicamente mejorados para calidad panadera son capaces de mantener la acumulación de N en el grano con altos rendimientos mucho más eficientemente que cultivares mejorados para galletita (de menor calidad). En un mismo sentido, Clark (1993) encontró que el contenido de proteína con el uso de fungicidas se vio mucho menos afectado en aquellos cultivares de buena aptitud panadera.

La información sobre el efecto de enfermedades foliares sobre el contenido de proteínas en grano presenta resultados contrastantes (Clark 1993; Kelley 1993; Herrman *et al.* 1996; Simón *et al.* 1996; Puppala *et al.* 1998; Arabi *et al.* 2007; Blandino & Reyneri 2009; Liaudat 2011; Fleitas 2011; Schierenbeck *et al.* 2014b; Fleitas *et al.* 2015; Castro 2016). Trabajos realizados por Dimmock & Gooding (2002b) y Gooding (2006) indican que cuando los patógenos controlados con fungicida son biotróficos, la concentración de proteínas aumenta, dado que el patógeno provoca mayor daño sobre la acumulación y partición del N en el grano que el que provoca sobre la acumulación y partición de carbohidratos. En este sentido, Schierenbeck *et al.* (2014b) y Fleitas *et al.* (2015) verificaron incrementos en el contenido de proteínas en grano cuando la enfermedad fue controlada con diferentes fungicidas foliares. Sin embargo, Caldwell *et al.* (1934) y Greaney *et al.* (1941) hallaron que la infección con *P. triticina* en los cultivares más susceptibles incrementó la concentración de proteínas en tallos y hojas y redujo la concentración en el grano.

Cuando se trata de patógenos necrotróficos o hemibiotróficos como es el caso de las manchas foliares, frecuentemente ocurre una situación inversa. El uso de fungicidas cuando *M. graminicola* (hemibiotrófico) es el patógeno dominante, puede reducir la concentración proteica del grano ya que el patógeno la incrementa por producir un mayor efecto sobre los

carbohidratos que sobre el N (Puppala *et al.* 1998; Gooding *et al.* 2007). Autores como Liaudat (2011) y Castro (2016) encontraron incrementos en la proteína con aumentos en la severidad de mancha de la hoja, en tanto que con la aplicación de fungicidas, la misma se redujo. Este incremento de proteína se explica por una disminución del área foliar en el periodo de llenado del grano, con lo cual, hay un efecto de “concentración” de proteínas y, por lo tanto, el porcentaje de las mismas aumenta. Sin embargo, el control de la enfermedad por medio de fungicidas hace que se mantenga el área verde y que el proceso de llenado se lleve a cabo con normalidad y actúa de modo contrario, es decir, “diluyendo” la proteína y por lo tanto disminuyendo el porcentaje de las mismas.

Por otro lado, la fertilización nitrogenada puede tener efectos positivos, negativos o neutros en la severidad de enfermedades dependiendo del ambiente, cultivar y tipo de patógeno. La magnitud y dirección de la influencia del N en la severidad de ataque causado por *P. triticina*, *Py. tritici-repentis* y *M. graminicola* ha sido estudiada con resultados contrastantes (Johnston 1979; Leitch & Jenkins 1995; Liaudat 2011, Ishikawa *et al.* 2012, Gerard *et al.* 2015; Castro 2016). Los mecanismos que conducen a generar estos cambios son complejos y diversos, e incluyen el efecto directo del nutriente sobre el patógeno, pero también sobre el crecimiento, desarrollo y mecanismo de resistencia de la planta (Walters & Bingham 2007).

Se ha sugerido que hongos saprofiticos, ante bajos niveles de nutrientes en la hoja, adoptan una estrategia de exploración, en la que los recursos del patógeno se asignan al crecimiento radial del micelio en busca de nutrientes (Dowson *et al.* 1989; Crawford *et al.* 1993). Contrariamente, la disponibilidad de mayores niveles de nutrientes genera una colonia más densa y ramificada, que permite al hongo explotar el sustrato (Dowson *et al.* 1989). La bibliografía disponible señala que en general, los organismos necrotróficos colonizan de mejor manera tejidos poco vigorosos, débiles y deficitarios de nutrientes (Snoeijers *et al.* 2000; Annone 2002), mientras que los biotróficos tienen una tendencia inversa. En este sentido, la fertilización nitrogenada origina reducciones de severidad en enfermedades ocasionadas por patógenos necrotróficos (Krupinsky & Tanaka 2001; Krupinsky *et al.* 2007; Carignano *et al.* 2008; Simón *et al.* 2011; Gerard *et al.* 2015). Contrariamente, cuando se trata de patógenos biotróficos, la fertilización nitrogenada generalmente incrementa la severidad (Daniel & Parlevliet 1995; Mascagni *et al.* 1997; Gerard *et al.* 2015; Germán *et al.* 2016). No obstante, cuando predominan patógenos hemibiotróficos como *M. graminicola*, los resultados no son coincidentes. Algunos autores señalan que altos niveles de N podrían aumentar la severidad de mancha de la hoja debido a un incremento en la biomasa lo cual promueve un microclima más favorable para la enfermedad (Cox *et al.* 1989; Howard 1994; Simón *et al.* 2002, 2003; Robert *et al.* 2006). En este sentido, Simón *et al.* (2002, 2003) verificaron que, con condiciones predisponentes, la fertilización nitrogenada incrementó la severidad de la mancha de la hoja. Contrariamente, otros autores verificaron disminuciones (Leitch & Jenkins 1995). Por su parte, Gerard *et al.* (2015) observaron que la severidad ocasionada por *M. graminicola* se incrementó hasta cierta dosis de N, por encima de la cual la enfermedad disminuyó.

La interacción entre el N, la aplicación de fungicidas y las enfermedades foliares sobre la calidad panadera de trigo es compleja y ha sido poco investigada. Tampoco se dispone de

información en nuestro país sobre la presencia de tolerancia a mancha amarilla y roya de la hoja con inoculaciones separadas en cultivares argentinos de diferente potencial de rendimiento y aptitud panadera y el efecto de dicha tolerancia sobre la calidad panadera. Los trabajos disponibles son en general con infecciones naturales o donde la cuantificación de la enfermedad se realizó a través del porcentaje de severidad y/o el ABCPE que no brindan información sobre el tamaño del canopeo y están sujetas a considerables variaciones entre años y sitios. Por otro lado, no existe información sobre el contenido de proteína del grano y variables reológicas de calidad panadera de trigo afectados por *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* inoculados separadamente y donde la enfermedad se haya cuantificado a través de parámetros que tengan en cuenta el canopeo del cultivo como la DAFV. Si bien existen trabajos sobre el efecto de *M. graminicola* en nuestro país y el mundo, no es posible asimilarla exactamente con *Py. tritici-repentis* o *P. triticina* ya que en tanto el primero es un patógeno hemibiotrófico, el segundo es un necrotrofo y el tercero es un biotrofo, por lo que sería de esperar que el efecto de ambos fuera más contundente en cuanto a aumentar o disminuir el porcentaje de proteína del grano y sobre su efecto en las variables reológicas de calidad panadera. Finalmente, si bien existen trabajos que documentan el efecto de las estrobilurinas sobre la duración del periodo verde de la hoja bandera y el rendimiento (Bayles 1999; Dimmock & Gooding 2002a; Blandino & Reyneri 2009), no se dispone de información del efecto de las carboxamidas en el rendimiento vinculados a la duración del periodo verde del cultivo y el impacto de esto sobre parámetros de calidad panadera.

A. Hipótesis

En base a los antecedentes mencionados, se plantearon las siguientes **hipótesis**:

1. Existen diferencias de tolerancia a la mancha amarilla ocasionada por patógeno necrotrofo *Py. tritici-repentis* en genotipos de trigo.
2. Existen diferencias de tolerancia a la roya de la hoja ocasionada por patógeno biotrofo *P. triticina* en genotipos de trigo.
3. La tolerancia de los cultivares de trigo difiere según el hábito nutricional (necrotrofo / biotrofo) del hongo patógeno con el que interactúa.
4. En un mismo ambiente la roya de la hoja tiende a disminuir el contenido de proteína en grano y consecuentemente desmejora las variables de calidad en tanto que la mancha amarilla tiende a aumentarlo.
5. Un cultivar tolerante a la enfermedad (*i.e.* mantiene o reduce en menor proporción el rendimiento ante la expresión de síntomas causadas por el ataque de un patógeno) podría reducir su contenido de proteína en grano y desmejorar la calidad respecto de un cultivar sensible (*i.e.* no tolerante).

6. Cultivares pertenecientes al grupo de calidad 1, tienden a mantener una mejor calidad industrial en relación a los de inferior calidad, al ser afectados por patógenos.
7. La fertilización nitrogenada causa incrementos en la severidad de la roya de la hoja ocasionando disminuciones más importantes en el porcentaje de proteína y en las variables de calidad, que los tratamientos no fertilizados.
8. La fertilización nitrogenada causa disminuciones en la severidad de la mancha amarilla ocasionando menores pérdidas de rendimiento con una tendencia a menores aumentos del porcentaje de proteína y en los parámetros de calidad panadera. Cuando se aplican fungicidas hay una menor disminución de las proteínas en los tratamientos fertilizados.
9. El principio activo del fungicida ejerce un control diferencial de las enfermedades, que conduce a un efecto diferencial sobre el rendimiento y calidad panadera.

B. Objetivos

El objetivo general fue detectar tolerancia a la mancha amarilla y a la roya de la hoja en cultivares comerciales de trigo de diferente grupo de calidad, y luego evaluar su comportamiento bajo fertilización nitrogenada y aplicación de diferentes principios activos de fungicidas, con su consecuente impacto sobre el rendimiento y la calidad panadera.

Los objetivos específicos fueron:

- I. Evaluar diferencias genotípicas en disminuciones de rendimiento debidas a tolerancia en trigo frente al patógeno necrotrófico *Py. tritici-repentis* agente causal de la mancha amarilla.
- II. Evaluar diferencias genotípicas en tolerancia para rendimiento en trigo frente al patógeno biotrófico *P. triticina* agente causal de la roya de la hoja.
- III. Evaluar el efecto de esas diferencias de rendimiento debidas a la tolerancia sobre las variables de calidad panadera en cultivares de trigo de diferentes grupos de calidad.
- IV. Evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la severidad de las enfermedades producidas por patógenos necrotróficos y biotróficos, y su influencia en el rendimiento y en la calidad panadera de cultivares de trigo de diferentes grupos de calidad.
- V. Evaluar el efecto de diferentes principios activos de fungicidas (triazoles + estrobilurinas y triazoles + estrobilurinas + carboxamidas) sobre las enfermedades y caracteres morfofisiológicos del cultivo, y su efecto sobre el rendimiento y la calidad panadera de trigo pan.

C. Diagrama de la tesis

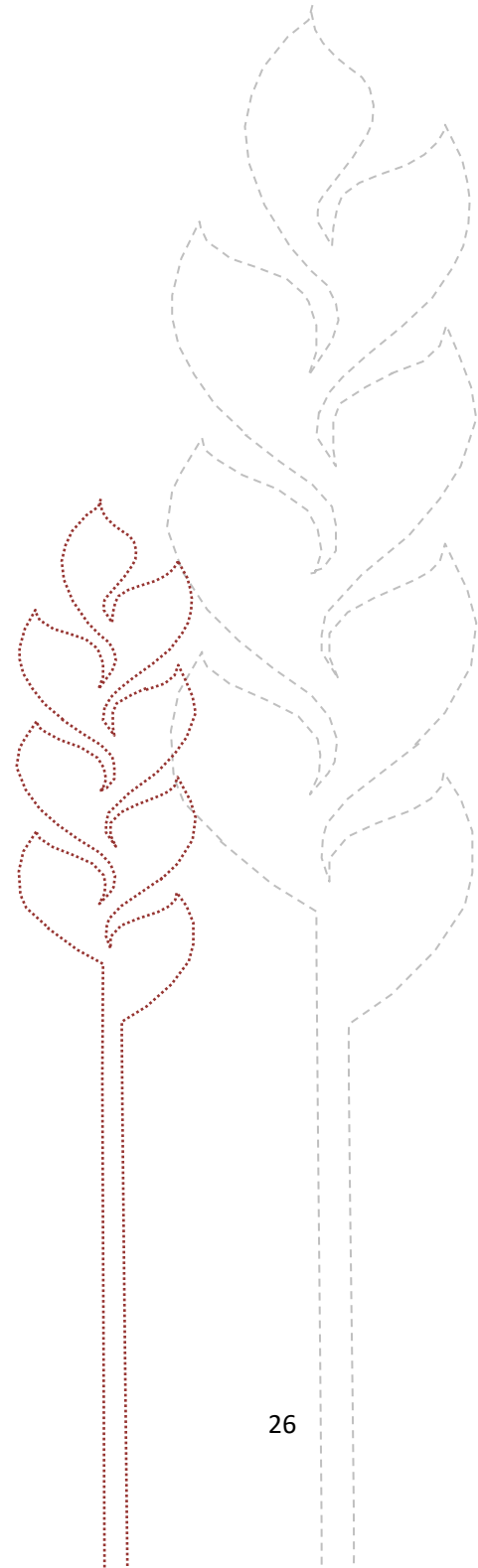
Para cumplir con los objetivos planteados en esta tesis, se organizaron los contenidos en los siguientes cuatro capítulos:

- › En el capítulo 1, se presenta el tema de estudio y los antecedentes, así como el marco teórico-conceptual de la tesis. Se enuncian las hipótesis y se plantean el objetivo general y los objetivos específicos. En el Anexo I se detallan los trabajos publicados en congresos nacionales e internacionales derivados de esta tesis.
- › En el capítulo 2, se aborda el tema “Detección de tolerancia y su efecto sobre el rendimiento y calidad panadera en cultivares de trigo de diferente grupo de calidad afectados por mancha amarilla y roya de la hoja”.
- › En el capítulo 3, se describe el “Efecto de la fertilización nitrogenada y fungicidas sobre el área foliar verde, el rendimiento y la calidad panadera de cultivares de trigo de diferente grupo de calidad afectados por mancha amarilla y roya de la hoja”.
- › En el capítulo 4 se desarrolla la discusión general, los aportes significativos de esta tesis y las consideraciones finales.



Capítulo 2

Detección de tolerancia y su efecto sobre el rendimiento y calidad panadera en cultivares de trigo de diferente grupo de calidad afectados por mancha amarilla y roya de la hoja



2.1. Introducción

Las enfermedades foliares causadas por hongos son las principales restricciones bióticas que limitan el rendimiento y afectan la calidad del cultivo de trigo tanto en Argentina como en otras partes del mundo (Annone *et al.* 2001; Serrago *et al.* 2009, 2011; Castro & Simón 2016). Tal como fuera mencionado en el capítulo introductorio, en nuestro país, las enfermedades foliares de mayor importancia y difusión son la mancha amarilla, la roya de la hoja y la mancha de la hoja. Para prevenir las pérdidas de rendimiento ocasionadas por enfermedades existen numerosas estrategias de manejo que pueden ser agrupadas en uno o más principios de acción cuyas diferencias a menudo no son claras. La manera más simple es agruparlos en métodos preventivos y curativos (Maloy 2005). En tanto que los primeros hacen referencia a las estrategias utilizadas previo a la infección (*i.e.* la planta es protegida contra la enfermedad), los segundos consisten en medidas aplicadas luego de que la planta fue infectada (*i.e.* la planta es tratada contra la enfermedad mediante el uso de fungicidas). En general, las estrategias preventivas en particular, no producen incrementos en los costos de producción y además no generan contaminación del ambiente debido a que no están basadas en el uso de agroquímicos.

2.1.1. Mecanismos de escape, resistencia genética y tolerancia a enfermedades como medidas complementarias en un contexto de manejo integrado

El escape, la resistencia genética y la tolerancia son tres mecanismos preventivos complementarios que pueden limitar la pérdida de rendimiento provocada por enfermedades foliares (Paveley *et al.* 2005). Tales mecanismos fueron distinguidos por Orton en 1909, trabajando con una enfermedad vascular ocasionada por *Fusarium ssp.* sobre diversos cultivos (Agrios 2005a). La evidencia disponible define al **escape** como algo que ocurre cuando un hospedante genéticamente susceptible no se infecta, debido a que los tres factores necesarios para que la enfermedad ocurra (hospedante susceptible, patógeno virulento y ambiente favorable), no interaccionan en el momento adecuado o dicha interacción no es lo suficientemente prolongada (Agrios 2005b). De manera que, dicho mecanismo, representa la primera línea de defensa del cultivo. Según indican Paveley *et al.* (2002, 2005), el escape puede reducir el contacto entre las esporas del hongo y las hojas superiores de la planta que son críticas para la formación del rendimiento en trigo. La evidencia en la literatura señala que los mecanismos de escape fueron encontrados con patógenos que dispersan sus esporas a través de salpicaduras de gotas de lluvia como *M. graminicola*, donde la dispersión de esporas a estratos de hojas superiores se ve dificultada por canopeos densos (Lovell *et al.* 1997; Lovell *et al.* 2004), cultivares de mayor altura (Paveley *et al.* 2005) o de espigazón tardía (Brown *et al.* 2015).

Tal como fue señalado en el capítulo introductorio, la **resistencia genética** puede reducir la capacidad de infección del patógeno y la expresión de síntomas de la enfermedad (Paveley *et al.* 2005). Como aspecto negativo, se puede mencionar que la efectividad de la resistencia

a través del tiempo depende de la capacidad de la población patógena para generar nuevas variantes que no sean reconocidas por los factores de resistencia presentes en el huésped (Burdon & Silk 1997). Más aún, la bibliografía disponible señala que la resistencia posee un determinado costo metabólico para la planta en ausencia de la enfermedad, lo que deriva en reducciones del “*fitness*” del hospedante (Brown 2003; Tian *et al.* 2003) lo que se podría traducir en menores rendimientos.

Frente a algunas enfermedades foliares como la mancha amarilla, los cultivares de Argentina varían entre susceptibles y moderadamente resistentes, manifestando algunos de ellos resistencia parcial; en tanto que para roya de la hoja se han incorporado genes mayores en diversos cultivares. La alta variabilidad genética de los patógenos (Rudd *et al.* 2015), la falta de un estudio intenso sobre la genética de la resistencia y la poca durabilidad de la mayoría de los genes que otorgan resistencia, hacen necesario una búsqueda continua de recursos genéticos efectivos para el manejo de enfermedades. Precisamente, la constante variabilidad y evolución de los patógenos no solo puede generar el quiebre de la resistencia de un genotipo resistente, además, puede disminuir su sensibilidad a los fungicidas. En este sentido, algunos autores han verificado recientemente la presencia de resistencia de patógenos a los principales principios activos como triazoles, estrobilurinas y carboxamidas tanto en trigo y como en cebada (Campbell & Crous 2002; Mueller & Bradley 2008; Hawkins *et al.* 2011; Cooke *et al.* 2014; Fountaine *et al.* 2014; Stammler *et al.* 2014; Estep *et al.* 2015; Rehfus *et al.* 2016).

Por la antes mencionado, en los últimos años se ha impulsado el interés por el estudio de la **tolerancia** a enfermedades. La misma, podría minimizar el impacto de la enfermedad sobre el rendimiento en los casos en que las epidemias no se puedan controlar totalmente por mecanismos de resistencia genética o la aplicación de fungicidas. La utilización de cultivares tolerantes es también considerada una forma de manejo potencialmente más duradera a diferencia de la resistencia genética o de fungicidas, ya que se presume que ejerce poca o ninguna presión de selección sobre los patógenos. En este sentido, Roy *et al.* (2000) sostienen que la tolerancia sería una adaptación evolutiva entre patógeno y hospedante de manera que ambos puedan sobrevivir. Sin embargo, algunos genetistas temen que genotipos tolerantes puedan resultar en un incremento de la presión de la enfermedad sobre el cultivo (Miller *et al.* 2006; Bancal *et al.* 2015) o sobre otros genotipos susceptibles que compartan una misma área sembrada (Bingham *et al.* 2009). Por este motivo, la tolerancia no debería ser considerada como una alternativa de la resistencia genética sino como un complemento importante de la misma, ya que, en tanto que la tolerancia podría limitar el efecto de la enfermedad sobre el rendimiento, la resistencia restringiría la presión de infección a cultivares cercanos (Bingham *et al.* 2009).

El término tolerancia es a veces confundido con resistencia parcial, siendo un concepto completamente diferente. En tanto que la resistencia parcial implica una menor severidad o incidencia, la tolerancia significa una reducción en la pérdida de rendimiento frente a similares niveles de severidad de la enfermedad. Kover & Schaal (2002) señalaron que en plantas en las que la resistencia y la tolerancia coexisten, las comparaciones de rendimiento entre variedades puedan confundir resistencia y tolerancia.

Tal como fue mencionado en el capítulo introductorio, la tolerancia se define como la habilidad de una planta para soportar los efectos de una enfermedad sin provocar pérdidas de rendimiento (Agrios 2005b). Sin embargo, una definición en un sentido más amplio es aquella dada por Kramer (1980) quien define a la tolerancia como la capacidad de un cultivar de tener menores pérdidas de rendimiento y calidad en relación a la severidad de una enfermedad o al desarrollo de un patógeno comparado con otros cultivares. En este sentido, esta definición (i) tiene en cuenta no solo el rendimiento sino también la calidad del cultivo de trigo, (ii) hace una distinción entre tolerancia a la enfermedad o al patógeno y (iii) menciona que la tolerancia se mide en términos relativos comparando entre otros cultivares. Con respecto al primer punto, Gaunt (1981) señala que la tolerancia debe ser determinada utilizando el rendimiento de grano y no subdividido en sus componentes. Esto se debe a que, si bien algunos autores indican que el número de granos por espiga puede ser utilizado como un indicador de tolerancia, en ciertas ocasiones este componente de rendimiento no puede explicar en su totalidad los resultados de rendimiento obtenidos. Más aún, Gaunt (1981) sugiere que no solo el rendimiento en grano, sino también la calidad, debería ser tomada en cuenta para identificar tolerancia a alguna enfermedad. Respecto al tercer punto, tradicionalmente se pensaba que la tolerancia era una propiedad relativa que podía ser demostrada únicamente si se comparaban cultivares con niveles de infección o severidad similares los que era muy difícil de lograr a campo (Shafer 1971). Esto se ha superado hoy en día mediante regresiones entre tratamientos sanos y enfermos dentro de un mismo cultivar lo que permite comparar la pérdida de rendimiento que experimenta cada genotipo por unidad de severidad.

En condiciones ambientales sin limitantes hídricas, el rendimiento de trigo puede ser expresado a través de la cantidad de biomasa aérea producida y la proporción de la misma que es particionada hacia los granos (índice de cosecha, Bingham *et al.* 2009). La producción de biomasa depende de la radiación solar incidente (RI) durante todo el ciclo del cultivo, de la eficiencia de intercepción (EI) y de la eficiencia de uso de la radiación (EUR), conocidos también como componentes ecofisiológicos de rendimiento. La RI es función de la radiación incidente, determinada por la época de siembra y la latitud, en tanto que la EI depende del índice de área foliar total (IAFT) y del coeficiente de extinción (k) determinada por la arquitectura del cultivo. Es por esto que, aquellos atributos que permitan mantener la EI, la EUR y la partición de materia seca hacia la espiga en presencia de la enfermedad, minimizarán la pérdida de rendimiento, y por lo tanto, pueden ser un potencial atributo de tolerancia a la enfermedad (Newton 2016). En este sentido, Paveley *et al.* (2005) mencionan que algunos atributos de tolerancia podrían resultar efectivos frente a un amplio rango de patógenos. Sin embargo, no sería irracional suponer que la tolerancia de un determinado genotipo frente a un patógeno fuese inefectiva frente a otro completamente distinto debido a que los patógenos con diferente hábito nutricional, impactan de manera deferencial sobre los atributos ecofisiológicos determinantes del rendimiento. En este sentido, organismos necrotróficos ejercen un daño directo sobre el área fotosintéticamente activa y disminuyen la fracción de radiación interceptada en áreas senescentes con tejido muerto. Estos patógenos secretan toxinas y enzimas que destruyen las células del hospedante y extraen los nutrientes

liberados del tejido muerto (Horbach *et al.* 2011). Por el contrario, organismos biotróficos, generan cambios más profundos en la fisiología de la planta debido a que establecen una estrecha relación con el hospedante a través del desarrollo de haustorios dentro de la célula vegetal viva de la cual extraen los nutrientes (Mendgen & Hahn 2002). Así, el patógeno no sólo reduce el área fotosintéticamente activa y disminuye la EI, sino que además, incrementa la tasa respiratoria y la transpiración por la ruptura de la cutícula generando la senescencia prematura de hojas maduras y una disminución en la tasa de expansión de hojas nuevas (Bryson *et al.* 1995). Asimismo, estos patógenos afectan la EUR por incrementar la retención de azúcares y aminoácidos en los tejidos dañados, lo que restringe la removilización de los mismos hacia los granos en desarrollo (Dimmock & Gooding 2002b; Schierenbeck 2014b; Schierenbeck *et al.* 2016).

Los atributos que condicionan la tolerancia han sido escasamente estudiados. Los mismos pueden estar asociados a características genotípicas del cultivar tales como la cantidad de biomasa aérea e índice de área foliar (Parker *et al.* 2004), el área foliar de la hoja bandera (Foulkes *et al.* 2006), capacidad fotosintética del tejido verde remanente (Zuckerman *et al.* 1997; Parker *et al.* 2004), eficiencia de intercepción, coeficiente de extinción (Parker *et al.* 2004), duración del área foliar verde, presencia de aristas (Foulkes *et al.* 2006) y elevado contenido de carbohidratos solubles en tallos (Gaunt & Wright 1992; Parker *et al.* 2004), entre otros (Ney *et al.* 2013). Es interesante la clasificación de dichos atributos propuesta por Ney *et al.* (2013) quienes a su vez los clasifican a nivel de órgano (hoja), a nivel de planta y a nivel de cultivo. Por su parte, autores como Paveley *et al.* (2005) y Bingham *et al.* (2009) sostienen que se podría corroborar la asociación entre dichos atributos y la tolerancia mediante el estudio de líneas isogénicas que solo varíen para los principales genes que determinan dichos caracteres o a través de mapeo de líneas doble haploides obtenidas entre cruzamientos de padres con expresión alta y baja de estos caracteres. Sin embargo, la obtención de dichas líneas puede resultar un tanto compleja debido a la probable cantidad de genes con efecto aditivo que condicionarían estos atributos.

Por otro lado, la tolerancia e enfermedades podría estar condicionada también por el efecto del ambiente sobre los genotipos que predisponen diferentes patrones en el desarrollo de los cultivares, o factores culturales (como la fertilización nitrogenada) que conducen a un comportamiento diferencial de los genotipos por condicionar variaciones en características morfofisiológicas, acumulación y removilización del nitrógeno (N) al grano. En este sentido, patógenos biotróficos como *P. triticina*, pueden incrementar la severidad causada por la enfermedad frente a elevados niveles de N, por lo que debe ser cauteloso en la respuesta de la pérdida de rendimiento (Newton *et al.* 1998). Además, la falta de tolerancia o sensibilidad a enfermedades en algunos cultivos atribuidos a bajos niveles de clorofila han sido mencionados (Clarke 1984) posiblemente derivados de baja disponibilidad de N en el suelo o a características genotípicas que los condicionan.

En la actualidad la base genética de la tolerancia es prácticamente desconocida como así también su interacción, si existe, con la resistencia parcial (Agrios 2005b). Entre algunas de las razones por las cuales los estudios han sido lentos, se encuentran que la misma es un carácter cuantitativo cuya expresión depende del genotipo y del ambiente (Parker *et al.* 2004),

por lo que se deberían utilizar numerosos genotipos con muchas combinaciones de ambientes y estaciones para identificarla. Esto, sumado a las diferentes formas de cuantificarla, las cuales incluyen diferentes variables, hacen que su estudio sea más complejo. Por otro lado, se ha sugerido que las especies de plantas cultivadas a menudo sufren de severas pérdidas de rendimiento ante relativamente bajos niveles de infección, mientras que se presume que sus especies silvestres emparentadas son más tolerantes. Es probable que el mejoramiento genético, en el proceso de seleccionar genotipos por elevados rendimientos, haya originado cultivares cuya capacidad fotosintética opera a niveles cercanos de su capacidad máxima, por lo que existirían menores niveles de compensación por parte de la planta en respuesta a enfermedades foliares en variedades modernas. Es por ello que la evidencia en la literatura sugiere que la tolerancia a enfermedades en trigo estaría asociada a cultivares con menor potencial de rendimiento en ausencia de la enfermedad, dada por una mayor capacidad de compensación comparado con otros de mayor potencial de rinde (Parker *et al.* 2004; Bingham *et al.* 2009, Newton 2016). Sin embargo, hasta la fecha, esta hipótesis no ha sido comprobada de manera rigurosa y es un aspecto que requiere mayores investigaciones.

En general, los modelos que cuantifican tolerancia responden a un mismo mecanismo donde se busca obtener la pendiente de la regresión entre la cuantificación de la enfermedad (o el patógeno) y el rendimiento de grano dentro de cada cultivar. Cada modelo, difiere en el método de cuantificación de la enfermedad que establecerá una determinada variable para realizar la regresión con el rendimiento. Los métodos varían en función de su sencillez, practicidad, rapidez, costo y si es destructivo o no, donde en general, la mayor practicidad va en detrimento de la extrapolación entre localidades y años. Así, la medición del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) es un método no destructivo, sencillo, rápido y de bajo costo, pero no provee información sobre los mecanismos responsables de las diferencias en tolerancia, pudiendo existir variaciones entre cultivares, localidades y años (Newton *et al.* 1998, 2000). Esta falta de consistencia puede deberse a que el cálculo del ABCPE, basado en la escala de severidad, no brinda información sobre el área funcional de tejido sano (Parker *et al.* 2004). Variables no destructivas, más robustas y de bajo costo son las que utilizan la medida absoluta de la duración del área foliar verde (DAFV) o la radiación interceptada (Parker *et al.* 2004; Foulkes *et al.* 2006) aunque su practicidad es relativamente menor comparada con las evaluaciones de severidad. Finalmente, existen otras variables como la cuantificación de la biomasa del micelio del hongo, medida a través de la cantidad de esteroides por cromatografía gaseosa o de la técnica ELISA. Dichas técnicas demandan un mayor tiempo de realización, son destructivas y más costosas, pero más precisas dado que tienen en cuenta componentes de crecimiento del hongo (como la densidad o nivel de compactación del micelio fúngico) que no son visibles por el ojo humano pero que sí podrían sesgar los resultados. Como principal desventaja de cuantificación de tolerancia a través de esta variable, se menciona el hecho de confundir la tolerancia a la enfermedad con tolerancia al patógeno (Newton *et al.* 1998).

Para un rango limitado de variedades se han encontrado diferencias en tolerancia a la mancha de la hoja a nivel mundial (Ziv & Eyal 1978; Zuckerman *et al.* 1997) y a roya de la hoja (Caldwell *et al.* 1958; Roberts *et al.* 1984) y no se dispone de información respecto a la mancha

amarilla. Recientemente en nuestro país, se han llevado a cabo estudios de tolerancia a mancha de la hoja sobre cultivares comerciales, donde se ha determinado que algunos de ellos presentan moderados niveles de tolerancia frente a la enfermedad (Castro 2016; Castro & Simón 2016). Sin embargo, no se ha estudiado formalmente la existencia de tolerancia a la mancha amarilla o a la roya de la hoja sobre cultivares comerciales argentinos.

2.2.2. Efecto de las enfermedades foliares sobre el rendimiento y la calidad de trigo

Los componentes numéricos del rendimiento en trigo están determinados por el número de espigas/m² (NESP), el número de granos/espiga (NGE) y el peso de mil granos (PMG). Los primeros dos componentes están determinados por la producción y supervivencia de macollos (que luego se traducirán en espigas) y por la producción, supervivencia y fertilización de flores por espiguilla; todos salvo el último de estos procesos se completa previo a antesis. Por otro lado, el PMG depende del tamaño potencial del grano (establecido por el número de células endospermáticas), de la tasa de acumulación de materia seca y de la duración del periodo de llenado. Es por esto que, las enfermedades foliares pueden afectar tanto el NGE como el peso de los mismos dependiendo de la etapa de desarrollo en la que se produce la infección y el grado de incidencia y severidad de mismas (Madden & Nutter 1995). En este sentido, epifitias de enfermedades foliares que se desarrollan durante estadios tempranos de crecimiento del cultivo, reducirán el rendimiento por mermas en el NESP y el NGE, dado que la infección se produce en el periodo donde se establecen los mismos (Bingham *et al.* 2009). Cualquier reducción del NESP disminuirá el tamaño del canopeo y como resultado, epifitias en pre-antesis pueden restringir simultáneamente tanto las estructuras de fuente (fotosintéticas) como de destinos (número potencial de granos). El término de fuente hace referencia al suplemento de fotoasimilados proveniente de la fotosíntesis durante el periodo de llenado, de las reservas temporalmente almacenada en los tallos y en menor medida de espigas. Por su parte, el término de destinos, refiere a las estructuras demandantes de fotoasimilados como los granos en desarrollo o por órganos no fotosintéticos metabólicamente inactivos. Las epifitias tardías pueden reducir el NGE y el PMG ya que reducen el área foliar verde de las hojas superiores previamente formadas y desplegadas (Bingham *et al.* 2009). Las principales enfermedades foliares presentes en Argentina tienden a tener un impacto relativamente bajo sobre la producción y supervivencia de macollos y por lo tanto en el NESP. Por lo que las principales causas de pérdida de rendimiento debidas a enfermedades foliares derivan fundamentalmente de las disminuciones provocadas sobre NGE y el PMG.

En general el impacto negativo de las enfermedades foliares se ha enfocado en forma directa como un efecto sobre el rendimiento y los componentes numéricos que lo conforman, haciéndose poco hincapié en el origen de esa reducción cuantitativa, explicada por los cambios que estos patógenos producen en los sistemas fisiológicos responsables de la producción y distribución de asimilados dentro de la planta (Schierenbeck 2015). Además, numerosos trabajos relacionan las pérdidas de rendimiento con enfermedades a nivel de planta y no a nivel de cultivo, usando mediciones de incidencia y severidad o modelos basados en el ABCPE (Shaner & Finney 1977). Estos últimos, a pesar de ser muy útiles en la práctica debido a la simplicidad de la determinación, están generalmente restringidos a las situaciones

específicas donde fueron desarrollados originalmente y poseen un limitado grado de extrapolación a otras condiciones (Gaunt 1995). Es por ello que algunos autores sostienen que es necesario complementar estas evaluaciones con variables relacionadas a la ecofisiología del cultivo (Parker *et al.* 2004; Serrago *et al.* 2009; Carretero *et al.* 2010; Schierenbeck *et al.* 2016).

El impacto de las enfermedades foliares sobre los atributos ecofisiológicos involucrados en la generación de biomasa y rendimiento presenta resultados contrastantes. Para algunos autores el impacto negativo de los patógenos sobre los componentes ecofisiológicos de rendimiento está dada en mayor medida sobre la EI del cultivo (Waggoner & Berger 1987; Robert *et al.* 2004) en tanto que para otros el impacto es mayor sobre la EUR (Shah *et al.* 2004). Por otro lado, algunos trabajos señalan que el efecto de la enfermedad sobre la EUR parece contribuir a la disminución del rendimiento, pero no es predominante (Rabbinge *et al.* 1985); en tanto que, para otros, dicho efecto no es significativo (Van Oijen 1990).

La información sobre el efecto de enfermedades foliares sobre el contenido de proteínas en grano presenta resultados contrastantes (Clark 1993; Kelley 1993; Herrman *et al.* 1996; Simón *et al.* 1996; Puppala *et al.* 1998; Arabi *et al.* 2007; Blandino & Reyneri 2009; Liaudat 2011; Schierenbeck *et al.* 2014b; Fleitas *et al.* 2015; Castro 2016). Trabajos realizados por Dimmock & Gooding (2002b) y Gooding (2006) indican que los patógenos biotróficos en general disminuyen la concentración de proteínas en grano. Esto se debe a que el patógeno provoca mayor daño sobre la acumulación y partición del N en el grano que el que provoca sobre la acumulación y partición de carbohidratos (Schierenbeck *et al.* 2014b). En este sentido, Schierenbeck *et al.* (2014b) y Fleitas *et al.* (2015) verificaron disminuciones en el contenido de proteínas en grano en los tratamientos enfermos con roya de la hoja. Por su parte, Caldwell *et al.* (1934) y Greaney *et al.* (1941) hallaron que la infección con *P. triticina* en los cultivares más susceptibles incrementó la concentración de proteínas en tallos y hojas y redujo la concentración en el grano.

Cuando se trata de patógenos necrotróficos o hemibiotróficos como es el caso de las manchas foliares, frecuentemente ocurre una situación inversa. Cuando *M. graminicola* (hemibiotrófico) es el patógeno dominante, concentración proteica del grano se incrementa ya que el patógeno tiene un mayor impacto sobre la producción y acumulación de carbohidratos (Gooding *et al.* 2007; Puppala *et al.* 1998). Autores como Liaudat (2011) y Castro (2016) documentaron incrementos en la proteína con aumentos en la severidad de mancha de la hoja, en tanto que, con la aplicación de fungicidas, la misma se redujo. Este incremento de proteína se explica por una disminución del área foliar en el periodo de llenado del grano, con lo cual, hay un efecto de “concentración” de proteínas y, por lo tanto, el porcentaje de las mismas aumenta. Sin embargo, el control de la enfermedad por medio de fungicidas hace que se mantenga el área verde y que el proceso de llenado se lleve a cabo con normalidad y actúa de modo contrario, es decir, “diluyendo” la proteína.

La información disponible sobre el efecto de las enfermedades foliares sobre el contenido de proteína en grano, gluten, volumen de pan y variables reológicas de calidad panadera es escasa dado que la mayoría de los trabajos focalizan en analizar el impacto de factores

abióticos como precipitaciones, temperaturas y fertilización nitrogenada sobre las mismas. Además, los trabajos disponibles se basan en general en infecciones naturales de enfermedades foliares o utilizan la severidad o el ABCPE para cuantificar la enfermedad, no existiendo información sobre el contenido de proteína del grano de trigo y variables de calidad afectados por patógenos de diferente hábito nutricional inoculados separadamente.

Por otro lado, la información disponible sobre la tolerancia a enfermedades es escasa y la bibliografía disponible se focaliza en analizar la tolerancia en relación a la pérdida de rendimiento y no tiene en cuenta su efecto sobre la calidad. Más aún, los trabajos disponibles son en general con infecciones naturales de enfermedades foliares y no existe información sobre el efecto de enfermedades inoculadas separadamente. Teniendo en cuenta que, el contenido de proteínas en grano se encuentra determinado por efectos de dilución y concentración (dado que la deposición de proteínas y de almidón son controlados por mecanismos separados e independientes) podría esperarse que aquellos cultivares tolerantes a la pérdida de rendimiento, experimentasen también menores variaciones del contenido de proteína en grano con su consiguiente impacto sobre los parámetros de calidad panadera cuando son afectados por enfermedades foliares. Además, podrían existir diferencias genotípicas que condicionen esta respuesta como diferencias en susceptibilidad/sensibilidad y otras características genotípicas de los distintos cultivares como potencial de rendimiento o aptitud panadera (grupos de calidad), que condicionan la manera en que las proteínas y consecuentemente la calidad panadera, pueden ser afectada por los patógenos. En este sentido, se ha verificado que existen diferencias genotípicas en la absorción y utilización del N en los cultivares de grupo de calidad 1 los cuales podrían compatibilizar altos rendimientos con buenos niveles de proteína en relación a genotipos de menor aptitud panadera (grupo de calidad 3).

Este trabajo toma en cuenta que la información sobre la tolerancia de cultivares frente a la mancha amarilla y roya de la hoja a la pérdida de rendimiento y calidad es inexistente en nuestro país y a nivel mundial. Por otra parte, la información sobre la interacción entre la tolerancia y el potencial de rendimiento es escasa y se desconoce la influencia de la tolerancia sobre variables de calidad panadera de trigo. Frente a estas incógnitas se plantearon los **objetivos específicos** del I al III para probar las **hipótesis** de la 1 a la 6, oportunamente detalladas en el Capítulo 1 de la presente tesis.

2.2. Materiales y métodos

2.2.1. Datos climáticos y de suelo

Los ensayos se llevaron a cabo durante 2012 y 2013 en la Estación Experimental Julio Hirschhorn, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina (34° 52' LS; 57° 58' LO). Durante el ciclo del cultivo se registró diariamente la temperatura media, precipitaciones, humedad relativa y radiación

incidente en la estación meteorológica situada a 200 m de los ensayos. El suelo fue un Argiudol típico (Serie Los Hornos), cuyos resultados del análisis se detallan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Resultados del análisis de suelo en el sitio de los ensayos a dos profundidades

	Profundidad 0-20 cm	Profundidad 20-40 cm
pH (1:2,5)	6,15	5,89
Carbono [%]	1,92	
Materia Orgánica [%]	3,31	
Nitrógeno total [%]	0,170	
Nitratos [ppm]	26,3	22,5
Fósforo [ppm]	16,1	

2.2.2. Preparación del suelo y diseño del ensayo a campo

Se utilizó un diseño experimental en parcela principal dividida con tres repeticiones y testigos apareados. Las parcelas principales correspondieron a las inoculaciones con cada uno de los dos patógenos: 1- *Py. tritici-repentis* y 2- *P. triticina*. La sub-parcela fueron los tratamientos de inoculación: 1- sin inóculo; 2- con baja concentración de inóculo de cada patógeno (BCI); 3- con alta concentración de inóculo de cada patógeno (ACI). Como sub-sub-parcela se sembraron diez cultivares de trigo de ciclo intermedio a largo y similar ciclo ontogénico seleccionados en 2012 de la Red Oficial de Ensayos Territoriales por poseer en años previos diferente susceptibilidad y aparentes diferencias en tolerancia frente a *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, cuantificada como pérdida de rendimiento. Los cultivares seleccionados se indican y detallan en la Tabla 2.2.

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 aplicaron 100 cm³ Misil® + 5 g/ha (dicamba 48% -metsulfurón metil 60%). La siembra de los diez cultivares se realizó en forma simultánea durante el mes de Junio (15 de junio de 2012 y 26 de junio de 2013) con una sembradora experimental a 20 cm entre líneas con una densidad de 250 pl/m² (Fig. 2.1). Las parcelas experimentales tuvieron un largo de 5,50 m y un ancho de 1,40 m, siendo la superficie de cada una 7,7 m². Entre las sub-parcelas de los tratamientos de inoculación se realizó la intersiembra de avena para disminuir el traspaso de inóculo entre parcelas y para evitar el “efecto bordura”. Además, en la parcela principal inoculada con *P. triticina* se sembró una bordura con una mezcla de cultivares susceptibles a la enfermedad (Nidera Baguette 21 y Nidera Baguette 30, Fig. 2.3) para facilitar la inoculación de las parcelas con dicho patógeno. Las parcelas principales estuvieron distanciadas al menos 200 m para minimizar el riesgo de traspaso de inóculo.

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 fosfato tricálcico granulada (0-46-0) a razón de 50 kg/ha.

Tabla 2.2. Breve descripción de los cultivares de diferente grupo de calidad (GC) utilizados en el ensayo (información brindada por los criaderos)

CULTIVAR	GC	DESCRIPCIÓN
ACA 315 (A315)	1	Ciclo Largo a intermedio de porte vegetativo semi-erecto. MR a roya de la hoja. MS a mancha amarilla y septoriosis. MR a Fusarium.
Klein Yarárá (KYarárá)	1	Ciclo intermedio a largo de porte vegetativo erecto. Susceptible a roya de la hoja, MR a mancha amarilla. MR a Fusarium
Sursem LE 2330 (SLE2330)	1	Ciclo Intermedio a Largo. De porte vegetativo semi-erecto. MR a roya de la hoja, MS a septoriosis, mancha amarilla y Fusarium.
Nidera Baguette 11 (Bag11)	2	Ciclo Intermedio a Largo. De porte vegetativo semi-erecto. MS a roya de la hoja, MR a septoriosis, MS-MR a mancha amarilla y Fusarium.
Buck SY 100 (BSY100)	2	Ciclo intermedio de porte vegetativo semi-rastrero. Susceptible a roya de la hoja. MR a mancha amarilla y MR a Fusarium.
ACA 303 (A303)	3	Ciclo intermedio a Largo de porte vegetativo semi-erecto. MR a roya de la hoja. MS a mancha amarilla y septoriosis. MR a Fusarium.
Nidera Baguette 17 (Bag17)	3	Ciclo Intermedio. De porte vegetativo semi-rastrero. Susceptible a roya de la hoja, MR a septoriosis, MS a MR a mancha amarilla, MS a Fusarium.
Nidera Baguette 18 (Bag18)	3	Ciclo Intermedio. De porte vegetativo semi-rastrero. Susceptible a roya de la hoja, MR a septoriosis, MR a mancha amarilla, MS a MR a Fusarium.
BioINTA 3004 (BINTA3004)	3	Ciclo Largo de porte vegetativo semi-erecto. MR a roya de la hoja. MS a mancha amarilla. MS a Fusarium.
Klein Guerrero (KGuerrero)	3	Ciclo Largo. De porte vegetativo semi-rastrero. MR a roya de la hoja, septoriosis, mancha amarilla y Fusarium.

MR: moderadamente resistente; MS: moderadamente susceptible.

2.2.3. Preparación del inóculo

Se utilizó una mezcla de aislados de *Py. tritici-repentis* obtenidos de diferentes regiones del país. El medio de cultivo utilizados fue agar caldo V8[®], que fue autoclavado y vertido en cajas de Petri (Fig. 2.2). Posteriormente, el inóculo se multiplicó mediante sucesivos repiques en flujo laminar (Fig. 2.2). Las cajas fueron incubadas durante 15-21 días a 23 °C ± 2 °C en alternancia de luz y oscuridad para favorecer la esporulación del hongo siguiendo el protocolo sugerido por Raymond & Bockus, (1982). Una vez cumplido ese lapso, las cajas se rasparon mediante un cepillo y agua destilada estéril para extraer el micelio y conidios infectivos, obteniéndose una solución concentrada, sobre la que se realizaron diluciones para lograr suspensiones de diferente concentración (Fig.2.2). La suspensión de baja concentración (BCI) fue ajustada a 3×10² esporas/ml y la de alta concentración (ACI) a 3×10³ esporas/ml (Jordahl & Francl 1992; Ali & Francl 2003), ambas contadas con un hemocitómetro (cámara de Neubauer).

Para la inoculación con *P. triticina* se utilizó una mezcla de razas de alta frecuencia de aparición en nuestra zona triguera y testeadas como virulentas sobre los cultivares en estudio, provistas por el Ing. Pablo Campos del INTA Bordenave y por el Ing. Francisco Sacco del INTA Castelar. Para la multiplicación del inóculo se sembraron, dos meses antes que el ensayo a campo, dos variedades susceptibles (Baguette 21 y Baguette 30) en macetas con condiciones controladas de humedad y temperatura en invernáculo (Fig. 2.3). Para la vehiculización del inóculo, se utilizó talco común y se lo espolvoreó sobre las hojas. Semanalmente se

recolectaron esporas para utilizarlas posteriormente en la inoculación de los ensayos (Fig. 2.3).

En las parcelas inoculadas con *Py. tritici-repentis* se realizaron dos aplicaciones de inóculo: a fines de macollaje (EC24) y en hoja bandera desplegada (EC39). Para ambas concentraciones (BCI y ACI) se utilizaron 800 ml de suspensión (inóculo, agua destilada y coadyuvante Tween 20, a razón de 0,5 ml/l suspensión) por parcela y por aplicación. Dentro de las 48 horas posteriores a la inoculación se efectuaron sucesivas pulverizaciones con agua para mantener las condiciones de humedad necesarias para el desarrollo de la enfermedad, siguiendo ciclos de mojado de 10 a 15 min cada 2 horas. La inoculación con *P. triticina* se realizó en los mismos estadios que para *Py. tritici-repentis*, pulverizando las borduras cercanas al tratamiento BCI con 0,2 mg de esporas del patógeno por planta y con 0,5 mg de esporas por planta en ACI (Shtaya 2015) (Fig. 2.3). Además, dentro de las parcelas de ACI, se colocaron dos macetas con plantas de trigo inoculadas con el patógeno y una maceta en las parcelas de BCI para aumentar la cantidad de inóculo del patógeno en forma diferencial entre tratamientos (Fig. 2.3).

Para las sub-parcelas que no fueron inoculadas se realizó la aplicación del fungicida Orquesta™ Ultra (fluxapyroxad 50 g/l, epoxiconazole 50 g/l y pyraclostrobin 81 g/l) para disminuir la infección natural y la fuente de inóculo proveniente de los otros tratamientos. El producto fue aplicado en pleno macollaje (EC23) y en EC39, con una mochila de gas carbónico con pastillas de abanico plano (Fig. 2.1). El volumen de aplicación fue de 140 l/ha a una dosis de 1,2 l/ha de producto.

2.2.4. Evaluaciones a campo

Las evaluaciones consistieron en la determinación de la severidad de cada enfermedad mediante estimación visual, expresada como porcentaje de lesión cubierta por necrosis y clorosis de las enfermedades presentes en la hoja (predominando aquella cuyo agente causal fue inoculado). La severidad fue evaluada en siete a diez plantas tomadas al azar por cada parcela. Las evaluaciones se realizaron en los estadios EC39 (104 días después de emergencia) y antesis (EC60) (126 después de emergencia) con observaciones sobre todas las hojas con tejido verde. La tercera evaluación se realizó en grano pastoso (EC82) (148 días después de emergencia) y fue realizada sobre la hoja bandera. Con las medias de severidad de las tres evaluaciones se calculó el ABCPE siguiendo la fórmula desarrollada por Shaner & Finney (1977):

$$AUDPC = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{X_i + X_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

Donde $X_i = X(t_i)$, n es el número de evaluaciones, X es la severidad (%) y $(t_{i+1} - t_i)$ es el intervalo entre dos evaluaciones consecutivas. El IAFT, expresado como m² de hoja por m² de suelo, se estimó mediante el conteo de macollos en 2 m lineales de cada parcela y la medición (largo y ancho) de todas las hojas con al menos una porción de tejido verde de un total de siete macollos y teniendo en cuenta un factor de forma de 0,835 sugerido por Miralles & Slafer

(1990). Mediante las estimaciones de severidad se calculó el índice de área foliar verde (IAFV) en las tres evaluaciones (EC39, EC60 y EC82). Con las medias IAFV de las tres evaluaciones se calculó el área bajo la curva del índice de área foliar verde [duración de área foliar verde (DAFV)] calculada de modo similar que el ABCPE, pero reemplazando los porcentajes de severidad por el IAFV (Waggoner & Berger (1987). La tasa de caída del IAFV (IAFV/día) durante el periodo EC39-EC82 se calculó como la pendiente de la regresión de los valores de IAFV en cada estadio y los días desde emergencia a la fecha de estas evaluaciones.

Se determinaron a cosecha los componentes de rendimiento: el NESP se determinó mediante el conteo en tres fracciones de 1 m lineal en cada parcela y el NGE por trilla de 20 espigas de cada parcela que fueron utilizados para calcular el número de granos por m² o número de granos totales (NGT). Por su parte, el PMG se calculó mediante el conteo y peso de los granos obtenidos por la trilla de 20 espigas. Asimismo, se cosechó y se trilló un surco de 5,5 m (1,1 m²) por parcela y repetición como estimador del rendimiento a cosecha. El contenido de N se cuantificó mediante el método del Microkjeldahl (AOAC 1970) a partir del cual se obtuvo el contenido de proteína del grano (CPG) multiplicando el valor de N por el factor 5,7 (IRAM 15852: 2002).

2.2.5. Evaluaciones de calidad panadera de trigo pan

Para el análisis de calidad de harina, previamente se cosecharon las parcelas completas (Fig 2.1) y se trillaron con una trilladora experimental para la obtención de las muestras de granos (Fig. 2.4). Las muestras se molieron con un molino experimental Bühler MLU 202 (Fig. 2.4) a una humedad de grano final constante de 15,5% en todos los casos, extrayendo un porcentaje de harina de aproximadamente 70% (IRAM 15854-1:1982, IRAM 15854-2:1984). Luego se determinó el contenido de gluten húmedo, volumen de pan y las propiedades reológicas de la harina obtenidas mediante alveograma y farinograma.

2.2.5.A. Contenido de gluten húmedo y ensayo de panificación

El contenido de gluten húmedo (Fig. 2.4) se determinó a partir de 10 g de harina de cada muestra acorde a lo establecido en la norma IRAM 15864:2007 mediante el empleo del método de lavado automático con agua destilada con el equipo Glutomatic®. Para la obtención del volumen de pan se procedió según la norma IRAM 15858-1:1996 a partir de 100 g de harina para cada muestra (Fig. 2.5 y 2.6).

2.2.5.B. Alveograma y farinograma

Las propiedades reológicas fueron evaluadas con un alveógrafo de Chopin® y un farinógrafo de Brabender® según lo indicado por la norma IRAM 15857:1995 e IRAM 15855:2000, respectivamente (Fig. 2.4 y 2.5). Se determinó el porcentaje de humedad de cada muestra y se preparó la masa acorde a las normas IRAM 15850-1:2009. Los parámetros alveográficos y farinográficos se resumen brevemente en las tablas 2.3 y 2.4, respectivamente.

Valores aceptables de parámetros alveográficos para panificación poseen un *P* entre 100 y 130 mm, *L* entre 100 a 130 mm, *W* entre 300 a 460 J×10⁻⁴, y una relación *P/L* igual a 1 (Castro 2016). Por su parte, dentro de los parámetros farinográficos, valores óptimos de *A* son

aquellos superiores a 60 ml, *B* entre 10 y 15 min, *D* entre 20 y 30 min y *E* entre 20 y 30 UF (Castro 2016).

Tabla 2.3. Breve descripción de los parámetros reológicos del alveograma

Variable	Descripción
<i>P</i>	Tenacidad de la masa (variable de presión máxima): es proporcional al valor de la máxima presión ejercida dentro del alvéolo, la cual está relacionada con la resistencia que pone la masa a la deformación (tenacidad). El valor de <i>P</i> es igual al producto del promedio de la máxima ordenada (en mm) y un factor <i>K</i> igual a 1,1 (o <i>K</i> =2 en caso de manómetro hidráulico).
<i>L</i>	Extensibilidad de la masa (promedio de las abscisas): el valor de la abscisa en el punto de ruptura de cada curva se mide en mm desde el origen de la curva hasta el punto que, verticalmente, corresponde a la caída de presión, debido a la ruptura del alvéolo. El promedio de los valores de la abscisa de las distintas curvas representa el largo <i>L</i> (extensibilidad).
<i>P/L</i>	Relación <i>P/L</i>: por convención, esta relación recibe el nombre de relación de configuración de la curva y es el cociente entre los valores promedio de <i>P</i> y <i>L</i> .
<i>W</i>	Fuerza del gluten: es la energía de deformación de la masa requerida para inflar el alvéolo hasta que se rompe, en base a 1gr de masa, expresado en 10 ⁻⁴ Joules (J). Para su cálculo, se dibuja un gráfico promedio sobre la base del promedio de las ordenadas hasta el valor promedio de la abscisa <i>L</i> en el punto de ruptura. El área del gráfico en cm ² se mide usando la regla correspondiente o por medio de un planímetro. Este valor se multiplica, por el factor 6,54, el cual es un coeficiente válido para un tiempo de rotación del tambor de 55 seg desde que empieza hasta que termina de girar, un flujo constante de aire de 96 l/h y un manómetro hidráulico de coeficiente <i>K</i> = 1,1.

Tabla 2.4. Breve descripción de los parámetros reológicos del farinograma

Variable	Descripción
<i>A</i>	Absorción de agua de la harina: se mide en ml directamente desde la bureta del equipo y es el volumen necesario para obtener una masa con una consistencia máxima de 500 UF (unidades farinográficas). Cuanto mayor sea la cantidad de agua absorbida para alcanzar las 500 UF, mayor el volumen de pan.
<i>B</i>	Tiempo de desarrollo de la masa: es el tiempo transcurrido (expresado en min) entre el instante que comienza el agregado de agua y el instante en el que se alcanza la consistencia máxima de la masa. Un desarrollo rápido de la masa, indica un menor tiempo de trabajo de amasado en la industria.
<i>D</i>	Estabilidad de la masa: se mide en min y es la diferencia de tiempo entre el punto en que la parte superior de la curva alcanza por primera vez la línea de las 500 UF y el punto en el que la deja. Cuanto más ancha sea la curva, más elasticidad y extensibilidad tendrá la masa y mayor la posibilidad de obtener una panificación de gran volumen. A su vez, cuanto mayor sea la estabilidad, tanto más larga será la fermentación y mayor será el esfuerzo que la masa podrá soportar.
<i>E</i>	Grado de ablandamiento de la masa: es la diferencia entre el centro de la curva en el punto en el que comienza la declinación y el centro de la curva 12 min después de éste medidas en unidades UF.



Fotografía del lote previo a la siembra



Vista frontal de las parcelas inoculadas con *Py. tritici-repentis* (108 parcelas)



Vista lateral de las parcelas inoculadas con *Py. tritici-repentis*



Mochila de gas carbónico utilizada para la aplicación de los fungicidas



Aplicación de fungicidas sobre las parcelas



Primera evaluación del ensayo en estadio de hoja bandera (EC39)



Vista lateral de las parcelas previo a cosecha



Cosecha manual de parcelas



Finalización de cosecha de las 216 parcelas

Figura 2.1



Caja de Petri con micelio de *Py. tritici-repentis* previo a iniciar los repiques

Cajas de Petri y medio de cultivo

Corte de medio de cultivo y micelio para la multiplicación de *Py. tritici-repentis*

Porción de medio de cultivo y micelio del hongo

Cajas de Petri posteriores al repique dentro del flujo laminar

Crecimiento del micelio del hongo durante la incubación

Raspado del micelio del hongo con ansa

Conidio de *D. tritici-repentis*

Raspado con cepillo y agua destilada del micelio para la obtención de la solución concentrada previo a la inoculación

Suspensión concentrada previo a las diluciones para obtener la baja y alta concentración de inóculo

Figura 2.2



Figura 2.3

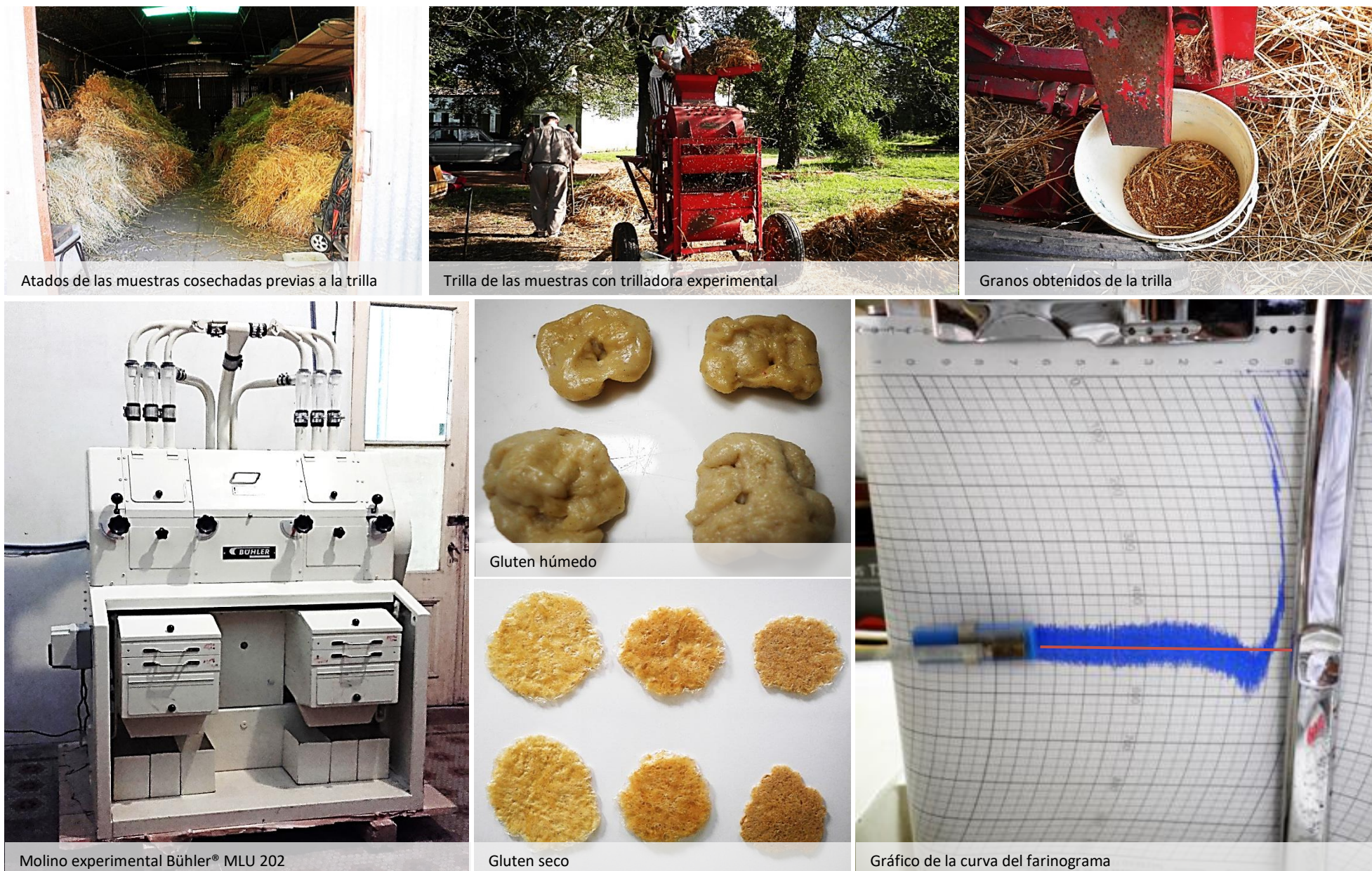


Figura 2.4

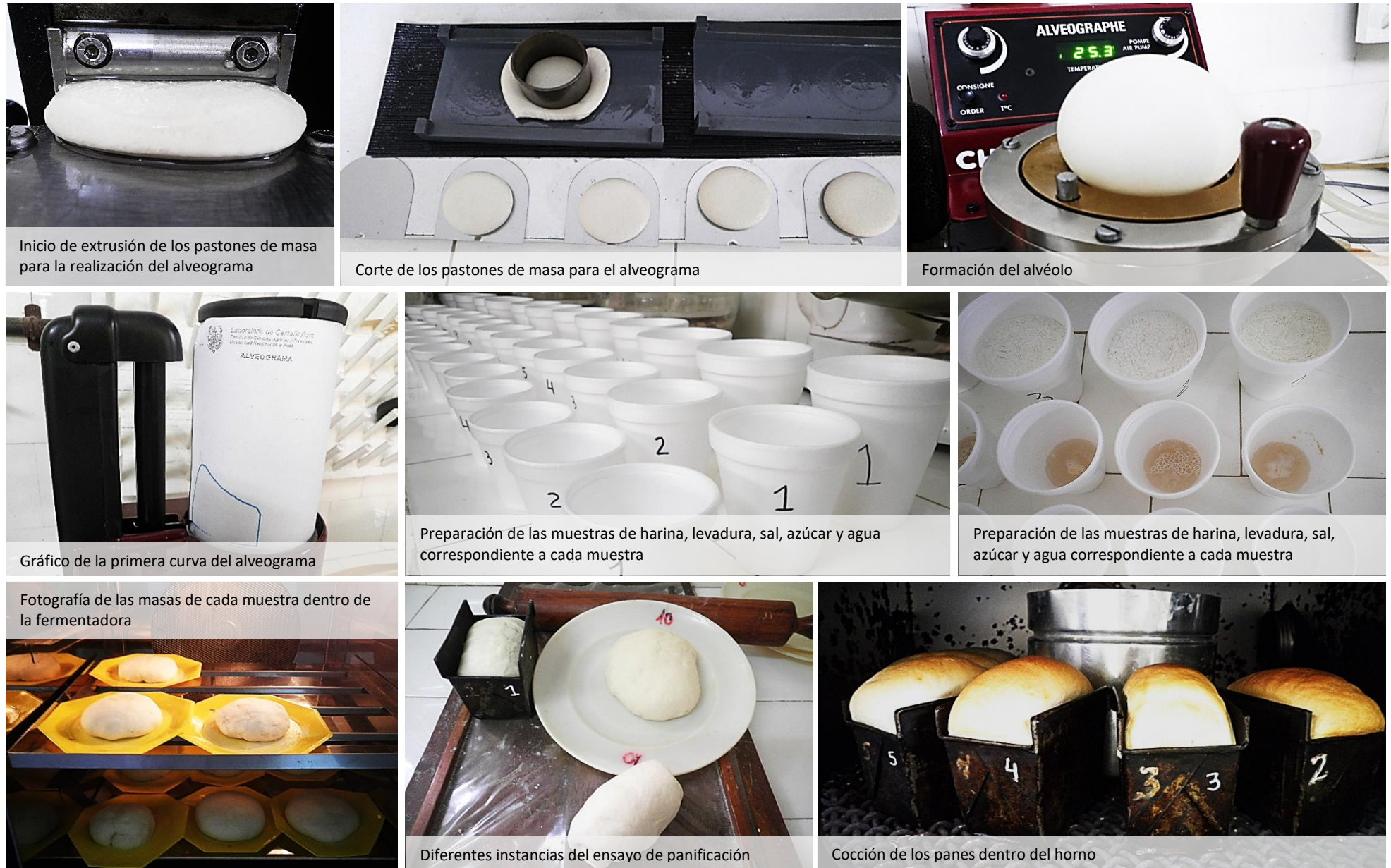


Figura 2.5



Figura 2.6. Panes elaborados mediante ensayos de panificación de los diferentes cultivares de trigo pan seleccionados para la tesis

2.2.6. Análisis estadístico

El análisis de datos se realizó mediante un ANAVA para parcelas divididas mediante el programa GenStat 12th Edition (VSN, 2009). Las medias se compararon mediante el test LSD ($p=0,05$). Además, se determinó la tolerancia de cada cultivar mediante regresiones lineales, utilizando la DAFV en cada tratamiento de inoculación como variable independiente y el rendimiento como variable dependiente. A su vez se relacionaron los coeficientes b (pendientes de las rectas) de cada cultivar con variables de calidad y con los grupos de calidad. Además, se realizaron análisis Stepwise para conocer cuáles de los parámetros de calidad panadera explicaron mejor el volumen de pan.

2.3. Resultados

2.3.1. Condiciones climáticas

Durante el año 2012 se registraron mayores precipitaciones en los meses de junio, agosto, octubre y diciembre con respecto al año 2013. Si se tiene en cuenta la precipitación acumulada entre julio y noviembre en 2012 se registraron 522 mm, mientras que en el 2013, se registraron 373 mm para el mismo periodo (Tabla 2.5). Las temperaturas medias presentaron valores más elevados a partir de encañazón hasta fin de ciclo (agosto, septiembre, octubre y noviembre) en 2012 con respecto a 2013. La humedad relativa fue considerablemente superior durante 2012 que en 2013 (Tabla 2.5).

2.3.2. Área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) y duración del área foliar verde (DAFV)

El ABCPE estuvo afectado por la variación entre años, el tipo de patógeno, los tratamientos de inoculación y los cultivares (Tabla 2.6 y 2.7). Asimismo, existieron diferencias significativas para interacciones dobles y triples (Tabla 2.6). En 2012 y para ambas enfermedades, se detectaron niveles de ABCPE superiores en relación a 2013 (Fig. 2.7). En ambos años, el tratamiento sin inóculo presentó menores valores de ABCPE diferenciándose significativamente de los tratamientos de BCI y ACI, que a excepción de inoculaciones con *P.*

tritricina en 2013, siempre mostraron diferencias significativas entre sí (Fig. 2.7). El rango de valores de ABCPE de mancha amarilla en 2012 fue de 1360 (sin inóculo) a 1905 (ACI), lo que implicó un aumento del +40,1% en el nivel de enfermedad. Teniendo en cuenta el mismo año, los valores de ABCPE de roya de la hoja se incrementaron desde 1600 (sin inóculo) a 1997 (ACI), implicando un aumento del +24,8% (Fig. 2.7). En el año 2013, se presentaron menores niveles de ABCPE en ambas enfermedades evaluadas. Así, para la mancha amarilla, el rango de variación fue 636 (sin inóculo) a 1152 (ACI), implicando un incremento del +81,1% en el área afectada por esta enfermedad ante la mayor dosis de inóculo aplicada. En tanto que, para la roya de la hoja, los valores oscilaron entre 833 (sin inóculo) y 1368 (ACI), observándose un incremento del +64,2% (Fig. 2.7).

Tabla 2.5. Temperatura media, máxima y mínima (°C); humedad relativa (%) y precipitaciones (mm) mensuales durante el periodo de cultivo en 2012 y 2013 en la localidad de Los Hornos, Buenos Aires, Argentina. Se incluyen valores climáticos de referencia (temperatura media y precipitaciones periodo 1964-2009)

	Temperatura (°C)							Humedad relativa media (%)		Precipitación (mm)		
	2012			2013			Serie 1964-2009	2012	2013	2012	2013	Serie 1964-2009
	Media	Max	Min	Media	Max	Min						
<i>Jun</i>	10,0	15,4	5,20	10,0	16,0	4,50	10,6	77,0	84,0	22,2	10,4	54,3
<i>Jul</i>	7,10	13,2	1,50	9,80	14,8	5,10	10,2	71,0	87,0	13,4	46,0	62,1
<i>Ago</i>	12,3	16,3	8,40	10,0	16,0	4,50	11,5	89,0	73,0	223	7,20	59,2
<i>Sep</i>	13,6	18,9	8,60	11,9	17,0	7,30	13,5	88,0	84,0	52,4	151	67,9
<i>Oct</i>	16,6	21,1	12,2	16,1	21,5	11,1	16,5	90,0	83,0	192	28,8	96,1
<i>Nov</i>	20,1	25,9	14,2	18,9	24,3	13,6	19,2	82,0	83,0	41,2	141	98,6
<i>Dic</i>	22,6	28,2	16,4	24,2	30,8	17,7	22,3	84,0	71,0	144	30,3	80,6
Media	14,6	19,8	9,50	14,41	20,0	9,1	14,8	83,0	80,7	Total 688	414	519

Tabla 2.6. Valor *p* (ANOVA) del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), la duración del área foliar verde (DAFV) en tres estadios y la tasa de caída del índice de área foliar verde (IAFV) entre hoja bandera (EC39) y grano pastoso (EC82) en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. tritricina* durante 2012 y 2013

Fuente de Variación	Gl	ABCPE	DAFV (días)	Tasa de caída IAFV EC39-EC82 (IAFV/día)
Año (A)	1	0,008	0,358	0,005
Patógeno (Pa)	1	0,023	0,965	0,005
<i>A × Pa</i>	1	0,458	0,054	0,032
Inoculación (In)	2	<,001	<,001	<,001
<i>A × In</i>	2	0,059	0,967	<,001
<i>Pa × In</i>	2	0,315	0,060	0,652
<i>A × Pa × In</i>	2	0,068	0,064	0,777
Cultivar (Cu)	9	<,001	<,001	<,001
<i>A × Cu</i>	9	<,001	<,001	0,103
<i>Pa × Cu</i>	9	0,180	0,071	0,026
<i>In × Cu</i>	18	<,001	0,089	0,964
<i>A × Pa × Cu</i>	9	0,019	<,001	<,001
<i>A × In × Cu</i>	18	<,001	0,223	0,972
<i>Pa × In × Cu</i>	18	0,697	0,858	0,438
<i>A × Pa × In × Cu</i>	18	0,939	0,497	0,100
Total	359			

Tabla 2.7. Medias de factores principales del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), la duración del área foliar verde (DAFV) y la tasa de caída del índice de área foliar verde (IAFV) entre hoja bandera (EC39) y grano pastoso (EC82) en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* durante 2012 y 2013

Fuente de Variación	ABCPE	DAFV (días)	Tasa de caída del IAFV (IAFV/día)
Año			
2012	1737	163	-0,172
2013	1050	148	-0,088
Patógeno			
<i>Py. tritici-repentis</i>	1295	156	-0,120
<i>P. triticina</i>	1492	156	-0,141
Inoculación			
Sin inóculo	1107	194	-0,149
BCI	1467	148	-0,125
ACI	1606	125	-0,116
Cultivar			
ACA 315	1263	163	-0,119
Klein Yarará	1389	163	-0,137
Sursem LE 2330	1645	138	-0,122
Nidera Baguette 11	1373	147	-0,130
Buck SY 100	1491	143	-0,123
ACA 303	1272	169	-0,133
Nidera Baguette 17	1457	157	-0,135
Nidera Baguette 18	1563	146	-0,134
BioINTA 3004	1401	149	-0,123
Klein Guerrero	1080	182	-0,144

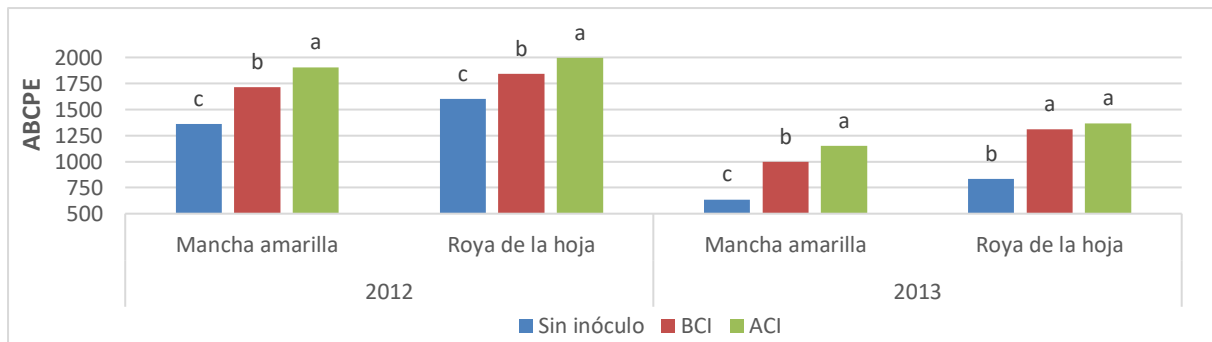


Figura 2.7. Medias del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) para la interacción Año × Patógeno × Inoculación en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, con diferentes tratamientos de inoculación y diez cultivares de trigo durante 2012 y 2013. Medias seguidas por la misma letra dentro de cada año y enfermedad son significativamente iguales (LSD $p=0,05$). BCI: baja concentración de inóculo; ACI: alta concentración de inóculo

La interacción Año × Patógeno × Cultivar para el ABCPE (Tabla 2.6) mostró diferencias significativas que estuvieron principalmente explicadas por diferencias entre los genotipos evaluados ante la misma enfermedad y por diferencias entre los años evaluados. En 2012, se observaron valores superiores de ABCPE con respecto a 2013 para ambas enfermedades y en todos los cultivares evaluados (Fig. 2.8). En este sentido, se observaron importantes diferencias entre los genotipos evaluados, siendo Klein Guerrero el que presentó menores valores de ABCPE para ambos patógenos en los dos años. El rango de ABCPE en 2012 para mancha amarilla varió desde 1402 (Klein Guerrero) a 1937 (BioINTA 3004), en tanto que para roya de la hoja varió desde 1585 (Klein Guerrero) a 2007 (Baguette 18). En 2013, los valores para esta variable fueron sustancialmente inferiores, presentando la mancha amarilla valores

desde 552 (Klein Guerrero) a 1366 (Sursem LE 2330), en tanto que para roya de la hoja el rango de valores fue desde 779 (Klein Guerrero) a 1741 (Sursem LE 2330) (Fig. 2.8).

En las Figuras 2.9a y 2.9b, se observa la interacción Año × Inoculación × Cultivar indicando que los tratamientos BCI y ACI generaron aumentos en el ABCPE en relación al tratamiento sin inocular. Sin embargo, a excepción del cultivar Baguette 11 (2012), no se detectaron diferencias significativas entre el tratamiento BCI y ACI (Fig. 2.9a). Se observó una importante diferencia entre cultivares dentro del mismo nivel de inoculación y año evaluado, detectándose menores niveles de progreso de enfermedad en 2013 en nueve cultivares (Fig. 2.9b).

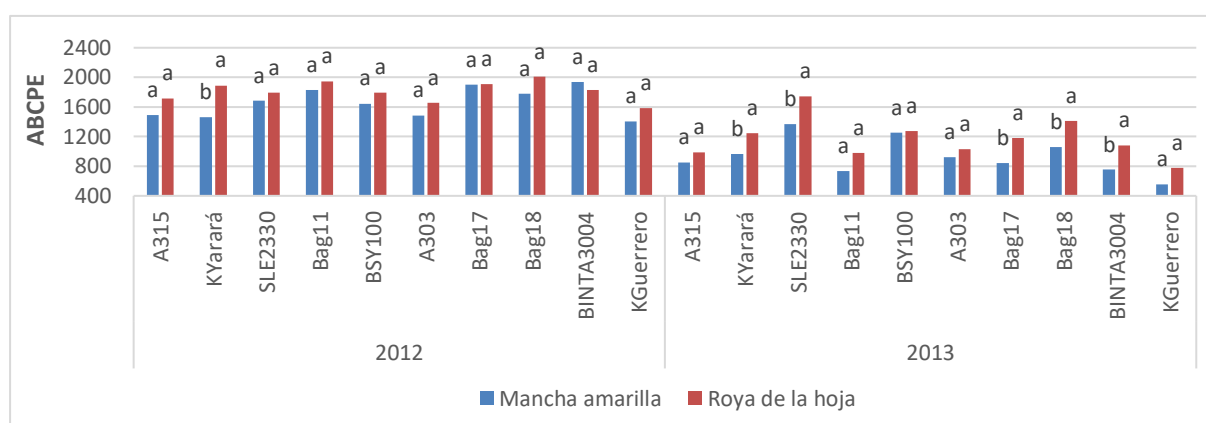


Figura 2.8. Medias del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) para la interacción Año × Patógeno × Cultivar en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, con diferentes tratamientos de inoculación y diez cultivares de trigo durante 2012 y 2013. Medias seguidas por la misma letra dentro de cada año y cultivar son significativamente iguales (LSD $p=0,05$)

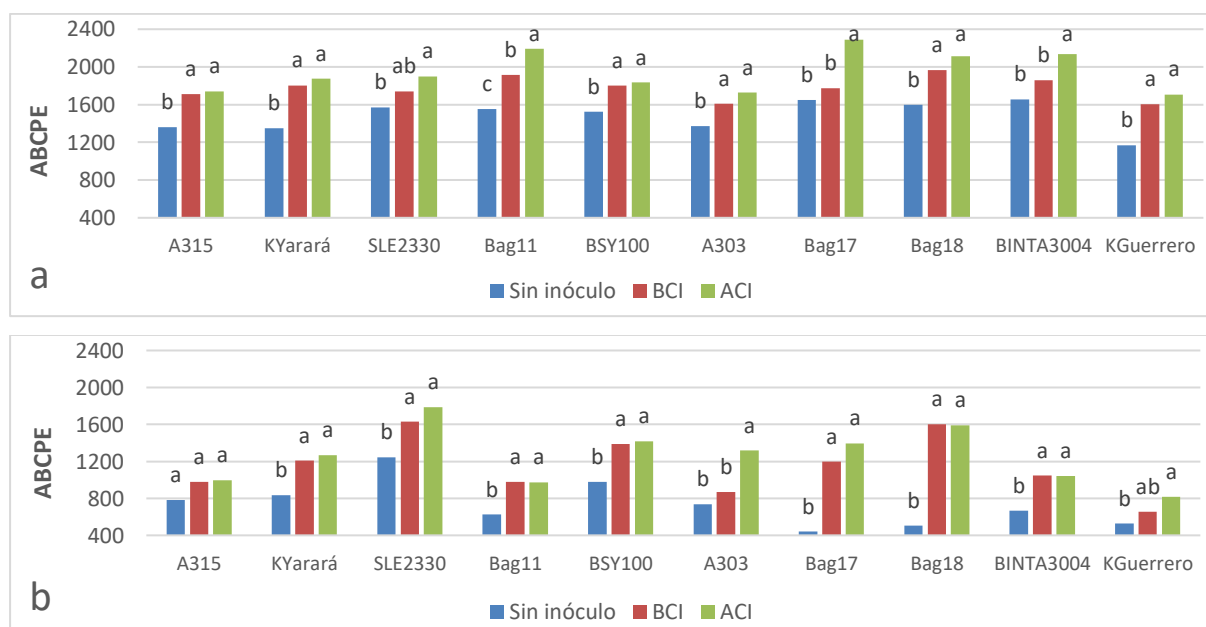


Figura 2.9. Medias del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) para la interacción Año × Inoculación × Cultivar en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, con diferentes tratamientos de inoculación y diez cultivares de trigo en (a) 2012 y (b) 2013. Medias seguidas por la misma letra dentro de cada tratamiento de inoculación y cultivar son significativamente iguales (LSD $p=0,05$). BCI: baja concentración de inóculo; ACI: alta concentración de inóculo

La DAFV estuvo afectada por la variación de los tratamientos de inoculación y los cultivares (Tabla 2.6). Así, incrementos en la concentración de inóculo provocaron reducciones promedio del -24,0% (BCI) al -35,4% (ACI) con respecto al tratamiento sin inocular (194 días) (Tabla 2.7, Fig. 2.10). Sin embargo, se observaron diferencias significativas en la DAFV para la triple interacción *Año* × *Patógeno* × *Inoculación* y para *Año* × *Patógeno* × *Cultivar* (Tabla 2.6). En ambos años, y con los dos patógenos, el tratamiento sin inóculo presentó valores superiores de DAFV diferenciándose significativamente de los tratamientos de BCI y ACI (Fig. 2.11). No obstante, existieron diferencias de magnitud ya que la disminución de la DAFV debida a mancha amarilla fue del -36,2% en 2012 frente a una alta presión de inóculo del patógeno y del -41,1% en 2013. Comparando los mismos tratamientos, pero para roya de la hoja, la caída en el DAFV fue del -32,4% en 2012 y del -31,9 % en 2013, cuando se comparó el tratamiento de ACI respecto al tratamiento sin inocular (Fig. 2.11). Existieron diferencias significativas de DAFV entre BCI y la ACI para mancha amarilla en los dos años y para roya de la hoja en 2012, sin embargo, no se observaron dichas diferencias con esta última en 2013.

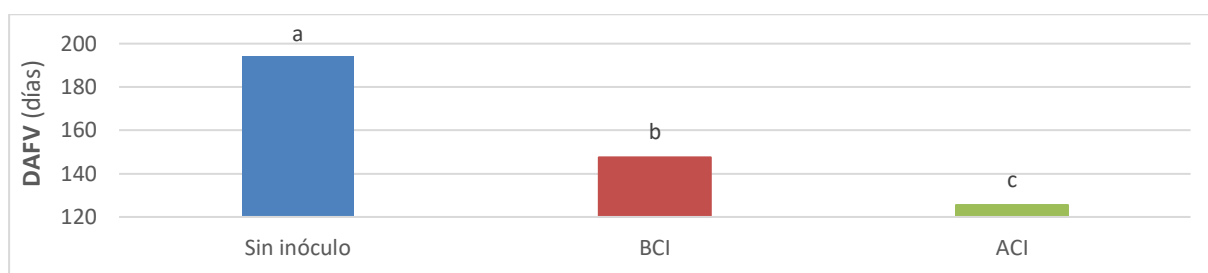


Figura 2.10. Medias de la duración del área foliar verde (DAFV) para el tratamiento de *Inoculación* en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, con diferentes tratamientos de inoculación y diez cultivares de trigo durante 2012 y 2013. Medias seguidas por la misma letra son significativamente iguales (LSD $p=0,05$). BCI: baja concentración de inóculo; ACI: alta concentración de inóculo

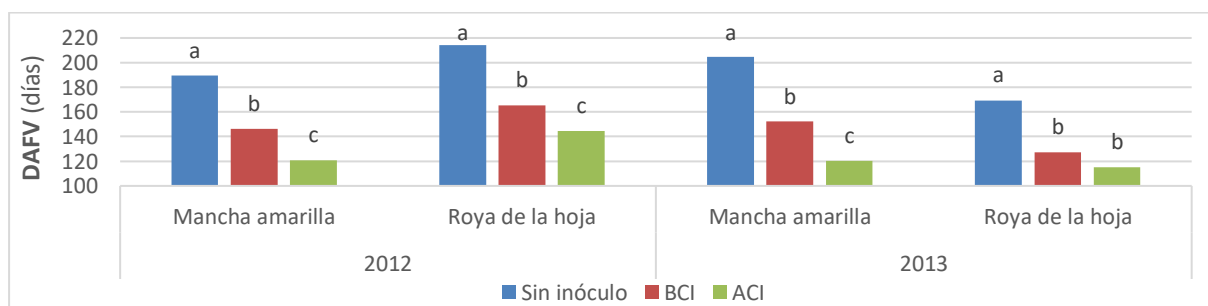


Figura 2.11. Medias de la duración del área foliar verde (DAFV) para la interacción *Año* × *Patógeno* × *Inoculación* en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, con diferentes tratamientos de inoculación y diez cultivares de trigo durante 2012 y 2013. Medias seguidas por la misma letra dentro de cada año y enfermedad son significativamente iguales (LSD $p=0,05$). BCI: baja concentración de inóculo; ACI: alta concentración de inóculo

La triple interacción *Año* × *Patógeno* × *Cultivar* (Tabla 2.6) estuvo explicada por el comportamiento diferencial de los cultivares frente a las dos enfermedades durante los dos años bajo estudio. En efecto, los cultivares ACA 315 y Sursem LE 2330 no presentaron diferencias de DAFV con los diferentes patógenos en 2012 sin embargo en 2013, la roya de la

hoja disminuyó estos valores de manera significativa (Fig. 2.12). Otros cultivares como Klein Yará y Klein Guerrero no presentaron diferencias en la DAFV entre patógenos en ambos años. En cambio, cultivares como Baguette 11, ACA 303, Baguette 17 y BioINTA 3004 presentaron menores valores de DAFV con mancha amarilla en 2012 mientras que en 2013 estos valores fueron menores con roya de la hoja (Fig. 2.12).

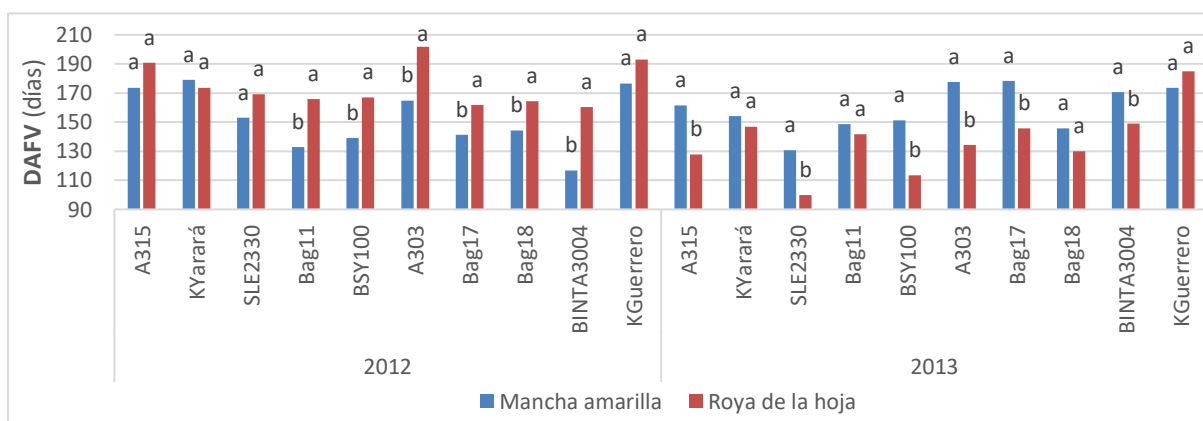


Figura 2.12. Medias de la duración del área foliar verde (DAFV) para la interacción Año × Patógeno × Cultivar en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, con diferentes tratamientos de inoculación y diez cultivares de trigo durante 2012 y 2013. Medias seguidas por la misma letra dentro de cada año y cultivar son significativamente iguales (LSD $p=0,05$)

Al igual que la DAFV, la tasa de caída del IAFV en el periodo EC39-EC82 estuvo influenciada por los tratamientos de inoculación y por la interacción *Inoculación* × *Cultivar* (Tabla 2.6). En ese sentido, si bien las tasas de caída de IAFV presentaron mayores valores promedio en el tratamiento sin inóculo (-0,149 de IAFV/día) con respecto a la BCI (-0,125 de IAFV/día) y a la ACI (-0,115 de IAFV/día) (Tabla 2.7), estas presentaron diferencias entre cultivares (Fig. 2.13). Para los años de evaluación se detectaron importantes diferencias con respecto a la tasa de caída del IAFV, presentándose mayores valores para el año 2012, concordando con los mayores niveles de enfermedad detectados en ese año. Para el primer año de evaluación, el tratamiento sin inóculo presentó una tasa de -0,198 IAFV/día, en tanto que los tratamientos inoculados presentaron valores de -0,167 IAFV/día (BCI) y -0,151 IAFV/día (ACI). Por su parte en 2013, el tratamiento sin inóculo mostró una tasa de caída de -0,100 IAFV/día y los tratamientos inoculados una tasa de -0,083 IAFV/día (BCI) y de -0,080 IAFV/día (ACI). Si bien los tratamientos sin inocular presentaron mayores valores de tasas de caída, debe considerarse que en las evaluaciones de EC39 y EC82 se presentaron valores de IAFV significativamente superiores para este tratamiento (Fig. 2.13).

La interacción *Patógeno* × *Cultivar* influyó significativamente la tasa de caída del IAFV (Tabla 2.6). La tasa de caída de IAFV promedio presentó mayores valores ante *P. triticina* (-0,140 IAFV/día) con respecto a *Py. tritici-repentis* (-0,120 IAFV/día) (Tabla 2.7, Fig. 2.14) explicado por el comportamiento detectado en ocho de los genotipos que presentaron mayores tasas de caídas ante inoculaciones con *P. triticina*, pudiendo esto ser atribuido a los valores significativamente superiores que se obtuvieron en las evaluaciones de EC39 ante roya de la hoja (datos no mostrados). En este sentido, los cultivares presentaron una tasa de caída

que fluctuó entre -0,109 IAFV/día (Baguette 11 y Sursem LE 2330) a -0,128 IAFV/día (Klein Yarará) ante mancha amarilla, en tanto que frente a roya de la hoja se detectaron valores entre -0,121 IAFV/día (ACA 315) a -0,161 IAFV/día (Baguette 11).

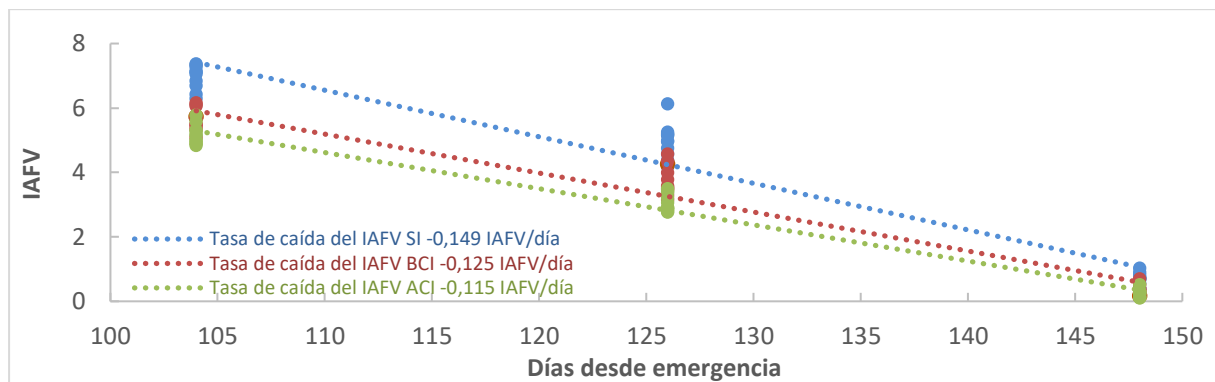


Figura 2.13. Índice del área foliar verde (IAFV) promedio en los estadios de hoja bandera (EC39), antesis (EC60) y grano lechoso (EC82) a los 104, 126 y 148 días (respectivamente) desde emergencia para la interacción *Inoculación* × *Cultivar* en un ensayo de trigo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, con diferentes tratamientos de inoculación y diez cultivares durante 2012 y 2013. Las líneas punteadas representan el ajuste promedio para todos los genotipos con los tres tratamientos de inoculación, ●SI: sin inóculo; ●BCI: baja concentración de inóculo; ●ACI: alta concentración de inóculo

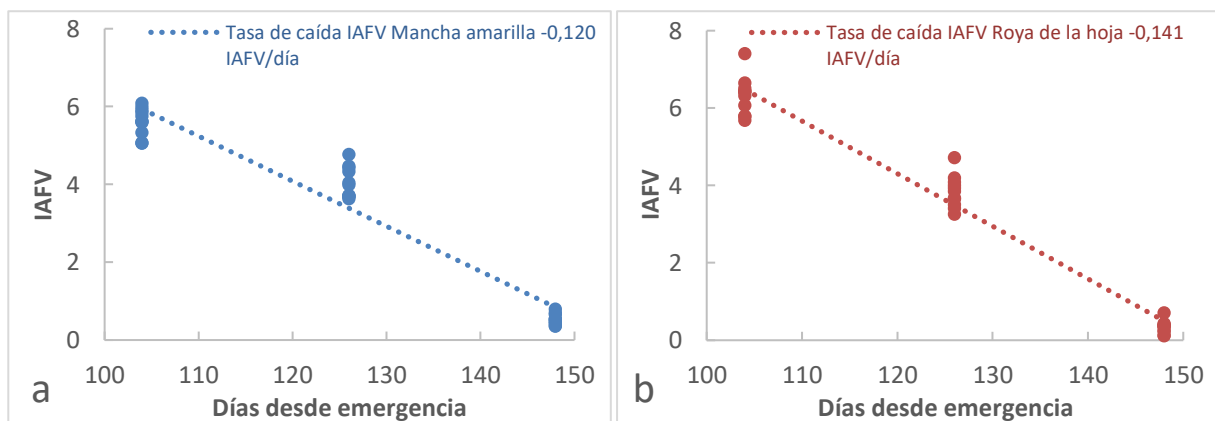


Figura 2.14. Índice del área foliar verde (IAFV) promedio en los estadios de hoja bandera (EC39), antesis (EC60) y grano lechoso (EC82) a los 104, 126 y 148 días (respectivamente) desde emergencia para el factor *Patógeno* × *Cultivar* en un ensayo inoculado con (a) ●*Py. tritici-repentis* y (b) ●*P. triticina* con diferentes tratamientos de inoculación y diez cultivares de trigo durante 2012 y 2013. La línea punteada representa el ajuste promedio para todos los genotipos

2.3.3. Rendimiento y componentes de rendimiento

El rendimiento y sus componentes fueron influenciados diferencialmente y en forma significativa por los cultivares y las interacciones *Año* × *Cultivar* y *Año* × *Patógeno* × *Cultivar* (Tabla 2.8). Por su parte, el año de evaluación influyó en forma significativa en el PMG, en tanto que los tratamientos de inoculación provocaron diferencias en NGT, el PMG y el rendimiento (Tabla 2.9). Para la interacción *Año* × *Inoculación* se hallaron diferencias significativas para el NGE (Tabla 2.8). El PMG estuvo influenciado en forma significativa por las interacciones *Patógeno* × *Inoculación*, *Inoculación* × *Cultivar* y *Año* × *Inoculación* × *Cultivar* (Tabla 2.8). Por su parte, la interacción *Patógeno* × *Cultivar* evidenció diferencias significativas

para el NGE y el rendimiento (Tabla 2.8). Los tratamientos de inoculación influenciaron en forma significativa el rendimiento y sus componentes (NGE, NGT y PMG).

Tabla 2.8. Valor *p* (ANOVA) del número de espigas/m² (NESP), el número de granos totales (NGT), el número granos/espiga (NGE), el peso de mil granos (PMG) y el rendimiento en grano (RG) en un ensayo de trigo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* durante 2012 y 2013

Fuente de Variación	Gl	NESP	NGE	NGT	PMG	RG
Año (A)	1	0,061	0,600	0,129	0,014	0,354
Patógeno (Pa)	1	0,250	0,412	0,852	0,390	0,869
<i>A × Pa</i>	1	0,008	0,108	0,580	0,655	0,548
Inoculación (In)	2	0,562	<,001	0,019	<,001	<,001
<i>A × In</i>	2	0,035	0,002	0,541	0,106	0,615
<i>Pa × In</i>	2	0,115	0,335	0,503	0,008	0,642
<i>A × Pa × In</i>	2	0,246	0,414	0,321	0,143	0,263
Cultivar (Cu)	9	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
<i>A × Cu</i>	9	0,002	<,001	<,001	<,001	<,001
<i>Pa × Cu</i>	9	0,008	0,030	0,195	0,291	0,080
<i>In × Cu</i>	18	0,924	0,297	0,900	<,001	0,419
<i>A × Pa × Cu</i>	9	0,042	0,007	0,001	0,006	<,001
<i>A × In × Cu</i>	18	0,634	0,450	0,39	0,066	0,435
<i>Pa × In × Cu</i>	18	0,842	0,390	0,490	0,416	0,726
<i>A × Pa × In × Cu</i>	18	0,758	0,675	0,354	0,767	0,586
Total	359					

Tabla 2.9. Medias de factores principales del número de espigas/m² (NESP), el número de granos totales (NGT), el número granos/espiga (NGE), el peso de mil granos (PMG) y el rendimiento en grano (RG) en un ensayo de trigo inoculado *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* durante 2012 y 2013

Fuente de Variación	NESP (espigas/m ²)	NGE (granos/espiga)	NGT (granos/m ²)	PMG (g)	RG (kg/ha)
Año					
2012	550	34,1	18543	30,8	5378
2013	414	34,7	13996	36,4	4750
Patógeno					
<i>Py. tritici-repentis</i>	474	35,0	16375	33,2	5028
<i>P. triticina</i>	490	33,8	16165	34,1	5100
Inoculación					
<i>Sin inóculo</i>	476	38,0	17582	35,3	5735
<i>BCI</i>	492	33,3	16183	32,5	4861
<i>ACI</i>	477	32,0	15044	33,1	4596
Cultivar					
<i>ACA 315</i>	545	28,0	15103	34,3	4830
<i>Klein Yarará</i>	526	31,2	16266	33,7	5063
<i>Sursem LE 2330</i>	468	42,4	19848	28,6	5241
<i>Nidera Baguette 11</i>	503	33,1	16431	33,1	5053
<i>Buck SY 100</i>	468	34,6	15987	36,1	5408
<i>ACA 303</i>	521	29,5	15323	35,4	5070
<i>Nidera Baguette 17</i>	493	35,3	17282	34,2	5512
<i>Nidera Baguette 18</i>	476	39,1	18312	32,1	5455
<i>BioINTA 3004</i>	440	31,2	13117	32,7	4034
<i>Klein Guerrero</i>	378	39,8	15027	36,1	4973

El NGT presentó importantes reducciones ante incrementos en la concentración de inóculo de los patógenos evaluados, explicado principalmente por caídas en el NGE, al no detectarse diferencias en el número de espigas/m² ante la presencia de patógenos (Tabla 2.8). Cuando se comparó el tratamiento sin inóculo con el de ACI, el NGT disminuyó de 17582 granos/m² a 15044 granos/m², lo que generó una merma del -14,4% (Tabla 2.9).

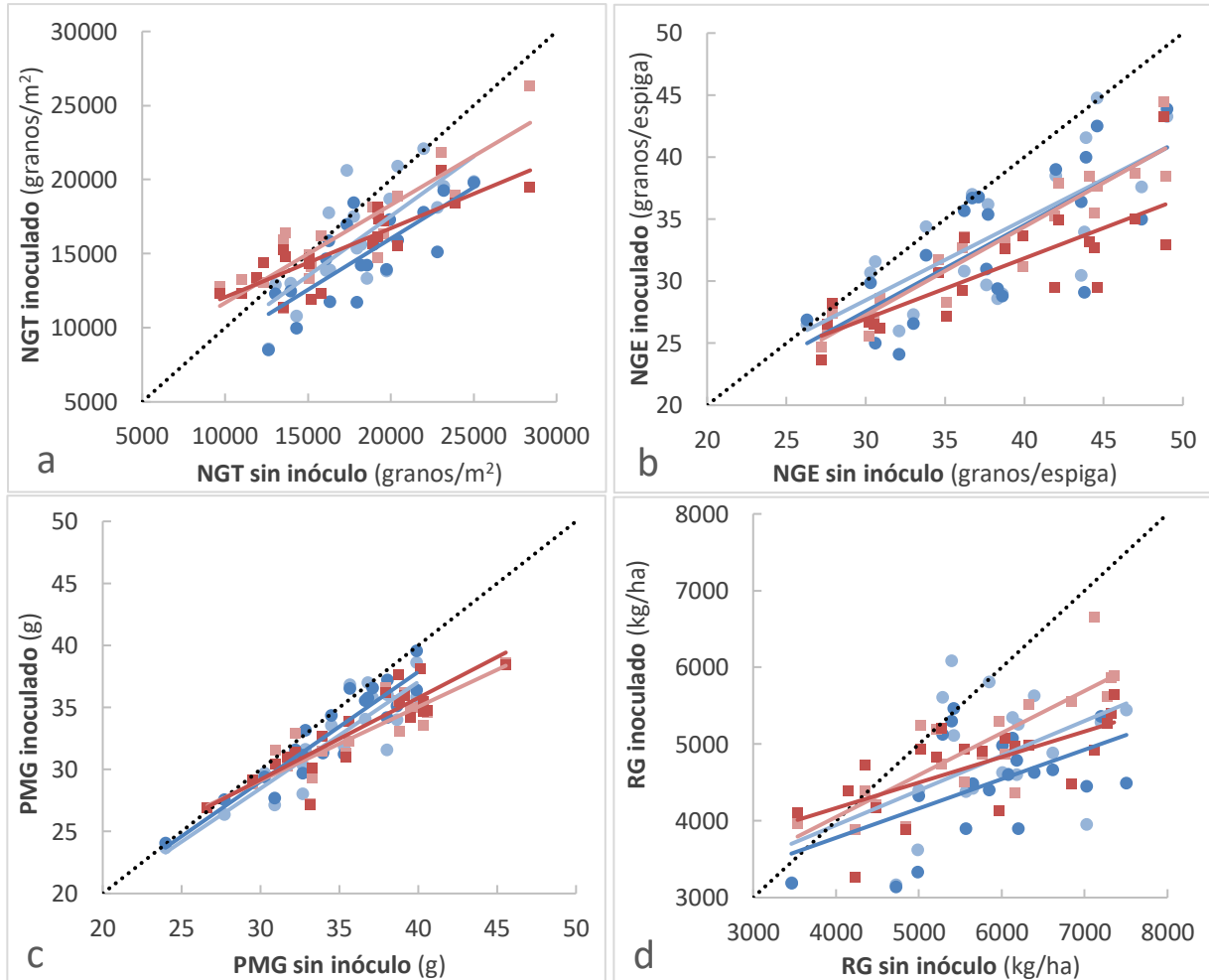


Figura 2.15. Rectas de regresión para la interacción *Patógeno* × *Inoculación* (a) del número de granos totales (NGT), (b) el número de granos/espiga (NGE), (c) el peso de mil granos (PMG) y (d) el rendimiento en grano (RG) en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, con diferentes tratamientos de inoculación y diez cultivares de trigo durante 2012 y 2013. ● (baja concentración de *Py. tritici-repentis*), ● (alta concentración de *Py. tritici-repentis*), ■ (baja concentración de *P. triticina*), ■ (alta concentración de *P. triticina*). La línea punteada indica la relación 1:1

Por otro lado, el NGE mostró diferencias significativas para la interacción *Año* × *Inoculación* explicado por la reducción de esta variable con el incremento en la concentración de inóculo, exhibiendo una respuesta más marcada en 2013. En los dos años, los tratamientos inoculados presentaron disminuciones significativas en esta variable respecto al tratamiento sin inocular, sin embargo, no se detectaron diferencias entre la BCI y la ACI (datos no mostrados). En 2012 y comparado con el tratamiento sin inóculo (35,9 granos/espiga), los tratamientos inoculados disminuyeron el NGE un -6,65% (BCI) y -8,33% (ACI). En 2013 se detectaron caídas más pronunciadas en esta variable ante aumentos en la concentración de

inóculo con disminuciones de -17,4% (BCI) y -22,4% (ACI) con respecto al tratamiento sin inocular (40 granos/espiga).

Por su parte, el PMG presentó una disminución promedio con respecto al tratamiento sin inóculo (35,3 g) que fluctuó entre -6,4% (BCI) y -7,9% (ACI) (Tabla 2.9). Asimismo, el PMG exhibió diferencias significativas para la interacción *Patógeno* × *Inoculación* (Tabla 2.8). Como se observa en la Fig. 2.15c, el aumento en la concentración de inóculo generó reducciones significativas en ambos patógenos con respecto al tratamiento sin inóculo, sin embargo y como puede visualizarse en las líneas de tendencia, inoculaciones con *P. triticina* provocaron mayores reducciones porcentuales con respecto al tratamiento sin inocular (Fig. 2.15c). Cuando *Py. tritici-repentis* fue el patógeno principal, se detectó una merma en el PMG frente al tratamiento sin inóculo (34,4 g) de -6,25% para la baja concentración y de -4,30% para la alta concentración. Para inoculaciones de *P. triticina*, la disminución del PMG frente a aumentos en el nivel de inóculo fueron de -9,40% y -8,07% para la baja y alta concentración de inóculo (respectivamente) con respecto al testigo sin inocular (36,2 g), no detectándose diferencias significativas entre estos tratamientos, comportamiento que se visualiza en la superposición en las líneas de tendencia de estos tratamientos (Fig. 2.15c).

El rendimiento evidenció reducciones significativas ante los tratamientos inoculados de BCI y ACI, sin presentar diferencias significativas entre estos. Con respecto al tratamiento sin inocular (5735 kg/ha), la reducción en el rendimiento fue de -15,2% para el tratamiento de BCI y de -19,9% con respecto al tratamiento de ACI en promedio para ambos patógenos (Tabla 2.9), sin interacciones significativas *Patógeno* × *Inoculación*. Por otro lado, para el rendimiento y sus componentes (NGT, NGE y PMG) la tasa de disminución de estas variables en los tratamientos enfermos fue más pronunciada que en los tratamientos inoculados con *P. triticina* (Fig. 2.15).

2.3.4. Parámetros de calidad panadera

En la Tabla 2.10. se presentan los resultados del ANAVA de los parámetros de calidad panadera de CPG, GH, *P*, *L*, *P/L* y *W*. Para el parámetro de CPG, la interacción *Patógeno* × *Inoculación* (Tabla 2.10) fue significativa indicando diferencias entre los tratamientos de inoculación en función del tipo de patógeno considerado. Así, los tratamientos inoculados con *Py. tritici-repentis* incrementaron significativamente este parámetro en un +7,81% (BCI) y un +15,2% (ACI) respecto al testigo sin inocular (10,6%) (Fig. 2.16a). Las inoculaciones con *P. triticina* disminuyeron el contenido de proteínas en grano, aunque solamente, la ACI lo hizo de manera significativa en un -10,14% comparado al testigo sin inocular (11,6%) (Fig. 2.16a). Además, existieron diferencias del CPG entre cultivares, la cual estuvo influenciada por el año (Tabla 2.10). Dicho parámetro de calidad fue significativamente menor en los cultivares ACA 315, Klein Yará, Sursem LE 2330, Baguette 11 y BioINTA 3004 en 2012 (Fig. 2.20). Por el contrario, para el mismo periodo, Baguette 17 y Baguette 18 presentaron un mayor contenido de proteínas en grano comparado con 2013; en tanto que los cultivares Buck SY100, ACA 303 y Klein Guerrero no presentaron diferencias significativas entre los dos años bajo estudio (Fig. 2.17). Por otro lado, para el CPG, la tasa de disminución en los tratamientos enfermos fue más pronunciada en los tratamientos inoculados con *P. triticina* (Fig. 2.18a).

Tabla 2.10. Valor *p* (ANOVA) del contenido de proteína en grano (CPG), el gluten húmedo (GH), la tenacidad de la masa (*P*), la extensibilidad de la masa (*L*), relación *P/L* y la fuerza del gluten (*W*) en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* durante 2012 y 2013

Fuente de Variación	Gl	CPG	GH	<i>P</i>	<i>L</i>	<i>P/L</i>	<i>W</i>
Año (A)	1	0,545	0,067	0,075	0,040	0,010	0,116
Patógeno (Pa)	1	0,199	0,467	0,657	0,858	0,706	0,421
<i>A × Pa</i>	1	0,953	0,595	0,664	0,362	0,339	0,726
Inoculación (In)	2	0,447	0,117	0,166	0,698	0,415	0,439
<i>A × In</i>	2	0,374	0,881	0,770	0,118	0,489	0,740
<i>Pa × In</i>	2	<,001	<,001	<,001	<,001	0,261	<,001
<i>A × Pa × In</i>	2	0,908	0,853	0,879	0,180	0,279	0,924
Cultivar (Cu)	9	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
<i>A × Cu</i>	9	<,001	0,086	0,009	0,899	0,284	<,001
<i>Pa × Cu</i>	9	0,061	<,001	<,001	0,623	0,152	0,002
<i>In × Cu</i>	18	0,921	0,677	0,646	0,699	0,998	0,970
<i>A × Pa × Cu</i>	9	0,178	0,818	0,987	0,981	0,882	0,733
<i>A × In × Cu</i>	18	0,936	0,961	0,789	0,808	0,920	0,791
<i>Pa × In × Cu</i>	18	0,882	0,984	0,059	0,817	0,941	0,927
<i>A × Pa × In × Cu</i>	18	0,757	0,112	0,899	0,813	0,991	0,932
Total	359						

Tabla 2.11. Medias de factores principales del contenido de proteína en grano (CPG), el gluten húmedo (GH), la tenacidad de la masa (*P*), la extensibilidad de la masa (*L*), la relación *P/L* y la fuerza del gluten (*W*) en un ensayo de trigo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* durante 2012 y 2013

Fuente de Variación	CPG (%)	GH (%)	<i>P</i> (mm)	<i>L</i> (mm)	<i>P/L</i>	<i>W</i> (J×10 ⁻⁴)
Año						
2012	11,2	23,6	93,2	87,1	1,16	403
2013	11,3	25,1	95,1	101	1,04	434
Patógeno						
<i>Py. tritici-repentis</i>	11,4	24,2	94,0	93,8	1,12	426
<i>P. triticina</i>	11,0	24,5	94,3	94,6	1,08	410
Inoculación						
Sin inóculo	11,1	24,3	94,0	93,9	1,10	406
BCI	11,2	24,1	93,8	94,9	1,08	412
ACI	11,3	24,6	94,6	93,8	1,11	427
Cultivar						
ACA 315	12,4	34,1	141	87,4	1,69	600
Klein Yará	11,6	30,4	111	83,4	1,41	490
Sursem LE 2330	11,9	31,4	139	79,7	1,83	584
Nidera Baguette 11	11,2	22,0	88,2	87,1	1,10	418
Buck SY 100	10,6	21,9	87,8	87,6	1,08	363
ACA 303	11,4	22,6	84,5	111	0,818	406
Nidera Baguette 17	10,4	18,5	68,9	113	0,646	287
Nidera Baguette 18	9,80	16,8	61,8	112	0,583	247
BioINTA 3004	11,9	23,6	80,7	90,0	0,934	433
Klein Guerrero	11,0	22,3	78,6	89,9	0,898	356

Asimismo, se observaron diferencias significativas de gluten húmedo en función del tipo de patógeno inoculado y del tratamiento de inoculación (Tabla 2.10). Así, dicha variable se incrementó en un +7,18% (BCI) y alta +17,2% (ACI) en los tratamientos inoculados con *Py. tritici-repentis* de manera significativa respecto al testigo sin inocular (22,4%) (Fig. 2.16b). Por

el contrario, con inoculaciones de *P. triticina* el gluten húmedo disminuyó en un -7,48% con BCI y en un -12,2% ACI en relación al testigo sin inocular (26,2%).

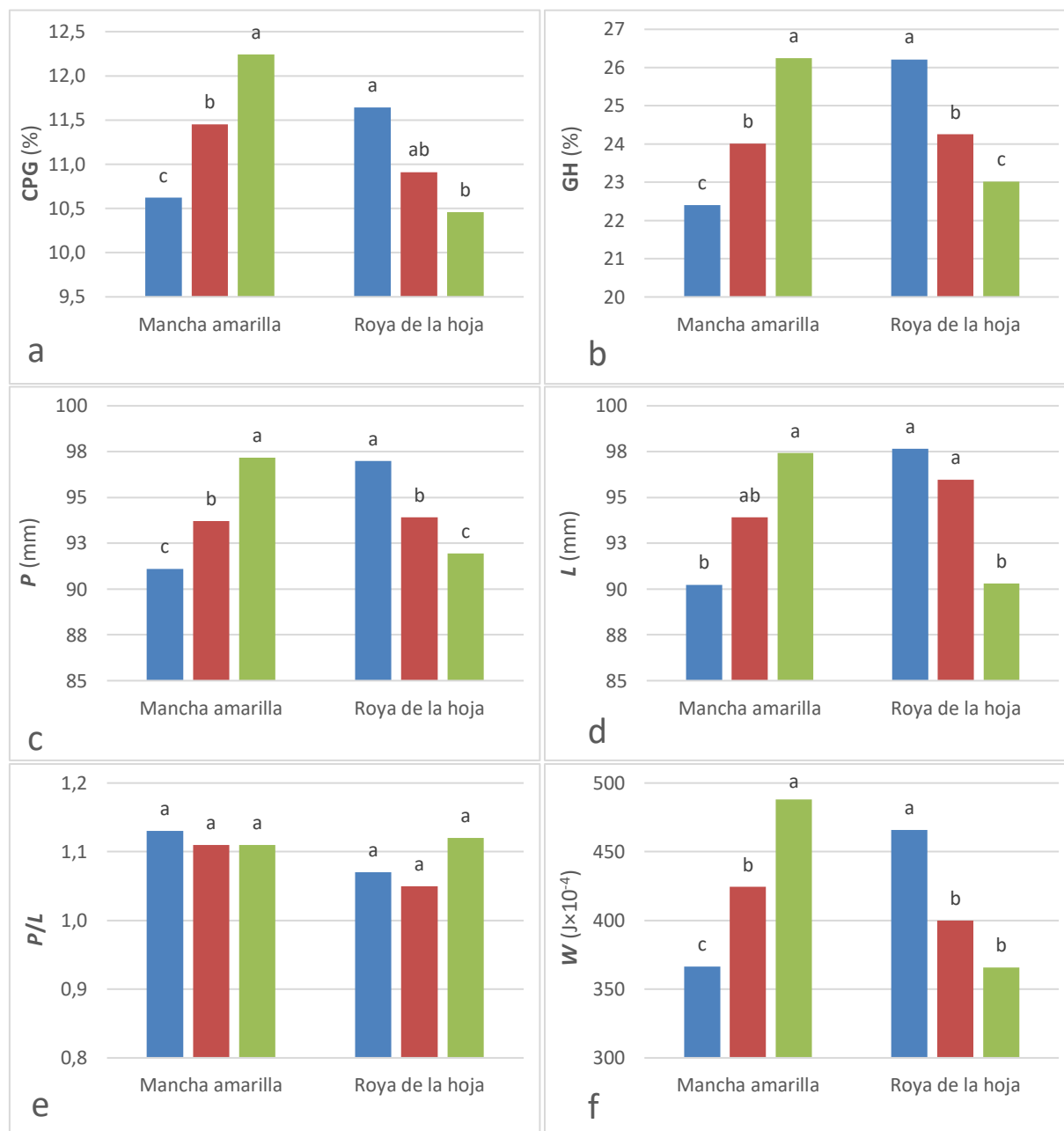


Figura 2.16. Medias (a) del contenido de proteínas en grano (CPG), (b) el gluten húmedo, (c) la tenacidad de la masa (P), (d) la extensibilidad de la masa (L), (e) la relación P/L y (f) la fuerza del gluten (W) en la interacción *Patógeno* \times *Inoculación* en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, con diferentes tratamientos de inoculación y diez cultivares de trigo durante 2012 y 2013. Medias seguidas por la misma letra dentro de cada enfermedad son significativamente iguales (LSD $p=0,05$). ● (sin inóculo), ● (baja concentración de inóculo), ● (alta concentración de inóculo)

Con respecto a los parámetros reológicos del alveograma, el P presentó diferencias significativas en función del tipo de patógeno considerado (Tabla 2.10). Así, inoculaciones con *Py. tritici-repentis* incrementaron significativamente este parámetro en un +2,86% (BCI) y en un +6,66% (ACI) en relación al tratamiento sin inocular (91,1 mm) (Fig. 2.16c). El P disminuyó

de manera significativa con las inoculaciones de *P. triticina* en un -3,16% para BCI y en un -5,19% para la ACI, ambos comparado al testigo sin inocular (97,0 mm).



Figura 2.17. Medias del contenido de proteínas en grano (CPG) en la interacción Año × Cultivar en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, con diferentes tratamientos de inoculación y diez cultivares de trigo durante 2012 y 2013. Medias seguidas por la misma letra dentro de cada cultivar son significativamente iguales (LSD $p=0,05$)

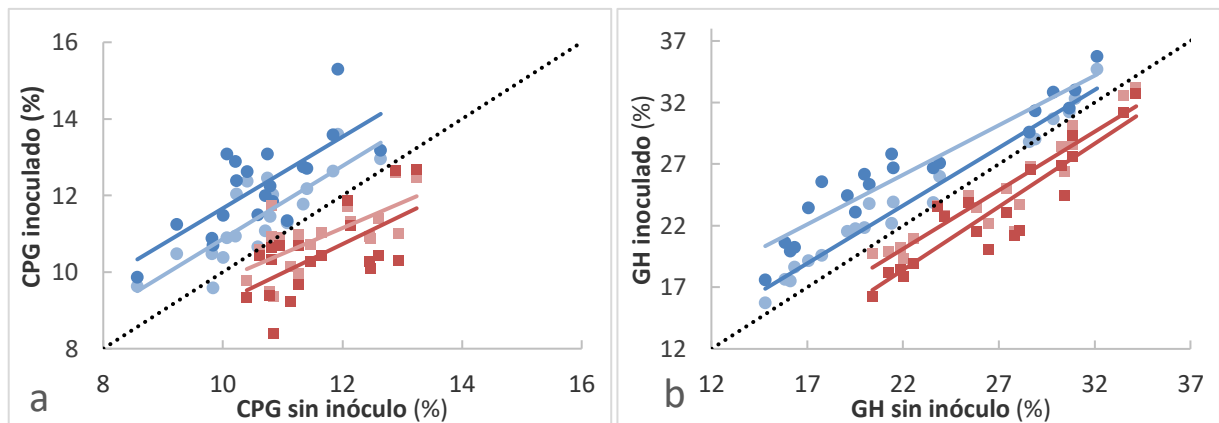


Figura 2.18. Rectas de regresión para la interacción Patógeno × Inoculación del contenido de proteínas en granos (CPG) (a) y contenido de gluten húmedo (GH) (b) en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, con diferentes tratamientos de inoculación y diez cultivares de trigo durante 2012 y 2013. ● (baja concentración de *Py. tritici-repentis*), ● (alta concentración de *Py. tritici-repentis*), ■ (baja concentración de *P. triticina*), ■ (alta concentración de *P. triticina*). La línea punteada indica la relación 1:1

El parámetro *L* presentó diferencias significativas entre años y cultivares (Tabla 2.10). Dicha variable fue significativamente mayor en 2013 (101,4 mm) que en 2012 (87,1 mm) (Tabla 2.11). Con respecto a los cultivares, el *L* varió entre 87,4 a 79,7 mm en los cultivares de grupo de calidad 1; de 87,6 a 87,1 mm en los de grupo de calidad 2; y entre 112 a 89,9 mm en los de grupo de calidad 3 (Tabla 2.11). Además, esta variable estuvo influenciada por el tipo de patógeno inoculado y la concentración de inóculo aplicada (Tabla 2.10). Así, el *L* se incrementó significativamente con el tratamiento de ACI en un +7,97% de *Py. tritici-repentis* comparado con el tratamiento sin inocular (90,2 mm) en tanto que con la baja no se observaron diferencias (Fig. 2.16d). Contrariamente, con inoculaciones de *P. triticina* el *L* disminuyó un -7,54% de manera significativa únicamente con la ACI comparado con la BCI (103 mm) y el testigo sin inocular (97,7mm) los cuales no presentaron diferencias. Por otro lado, la

tasa de disminución de este parámetro en los tratamientos enfermos fue más pronunciada en los tratamientos inoculados con *P. triticina* (Fig. 2.19a).

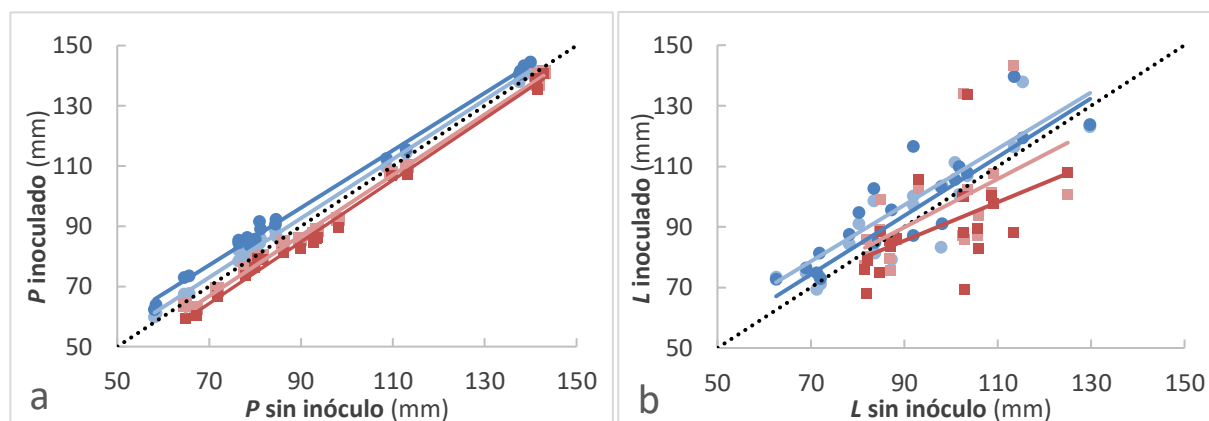


Figura 2.19. Rectas de regresión para la interacción *Patógeno* × *Inoculación* de (a) la tenacidad de la masa (*P*) y (b) la extensibilidad de la masa (*L*) en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, con diferentes tratamientos de inoculación y diez cultivares de trigo durante 2012 y 2013. ● (baja concentración de *Py. tritici-repentis*), ● (alta concentración de *Py. tritici-repentis*), ■ (baja concentración de *P. triticina*), ■ (alta concentración de *P. triticina*). La línea punteada indica la relación 1:1

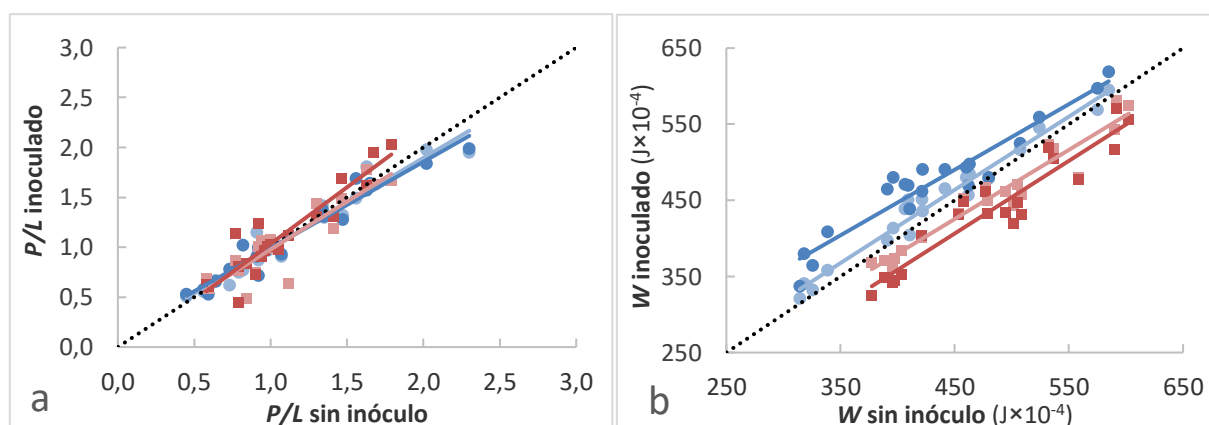


Figura 2.20. Rectas de regresión para la interacción *Patógeno* × *Inoculación* de (a) la relación *P/L* y (b) la fuerza del gluten (*W*) en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, con diferentes tratamientos de inoculación y diez cultivares de trigo durante 2012 y 2013. ● (baja concentración de *Py. tritici-repentis*), ● (alta concentración de *Py. tritici-repentis*), ■ (baja concentración de *P. triticina*), ■ (alta concentración de *P. triticina*). La línea punteada indica la relación 1:1

La relación *P/L* estuvo influenciada únicamente por el año y el cultivar (Tabla 2.10). Dicha variable fue significativamente mayor en 2012 (1,16) que en 2013 (1,04) (Tabla 2.11). Con respecto a los cultivares, el valor de *P/L* varió ente 1,83 a 1,41 en los cultivares de grupo de calidad 1; de 1,10 a 1,08 en los de grupo de calidad 2; y entre 0,93 a 0,58 en los de grupo de calidad 3 siendo más bajos en los cultivares Baguette 17 y Baguette 18 (Tabla 2.11). A diferencia de los demás parámetros de calidad panadera mencionados hasta aquí, este parámetro no presentó diferencias en función del tipo de patógeno inoculado y las concentraciones de inoculación (Fig. 2.16e), dado que la interacción *Patógeno* × *Inoculación* no fue significativa (Tabla 2.10).

El parámetro *W* estuvo influenciado por los tratamientos de inoculación y tipo de patógeno inoculado (Tabla 2.10), esta influencia fue en mayor magnitud que las demás

variables alveográficas de *P* y *L*. En este sentido, la BCI de *Py. tritici-repentis* incrementó significativamente este parámetro en un +15,8% en tanto que la alta concentración lo incrementó un +33,1% respecto al testigo sin inocular ($366 \text{ J} \times 10^{-4}$) (Fig. 2.16f). En cambio, la inoculación con *P. triticina* en BCI y ACI disminuyó esta variable de manera significativa, aunque mucho menos pronunciada que *Py. tritici-repentis* (-14,2% y -21,5% respectivamente) respecto al testigo sin inóculo que presentó un valor de $465 \text{ J} \times 10^{-4}$. Con respecto a los cultivares, el valor de *W* presentó rangos de variación ente 585 a $458 \text{ J} \times 10^{-4}$ en los cultivares de grupo de calidad 1; de 494 a $450 \text{ J} \times 10^{-4}$ en los de grupo de calidad 2; y entre 462 a $347 \text{ J} \times 10^{-4}$ en los de grupo de calidad 3 siendo más bajos en los cultivares Baguette 17 y Baguette 18 (Tabla 2.11).

En la Tabla 2.12 se presentan los resultados del ANAVA de los parámetros de calidad panadera de *A*, *B*, *D* y *E* del farinograma y el volumen de pan. Se observaron diferencias significativas de *A* entre cultivares cuyos valores estuvieron entre 66,1 a 62,2 ml en los cultivares de grupo de calidad 1; de 59,7 a 58,6 ml en los de grupo de calidad 2; y entre 61,7 a 52,8 ml en los de grupo de calidad 3 siendo más bajos en los cultivares Baguette (Tabla 2.13). Además, este parámetro estuvo influenciado por el tipo de patógeno inoculado y la concentración de inóculo aplicada (la interacción *Patógeno* × *Inoculación* fue significativa, Tabla 2.12). En este sentido, el *A* se incrementó significativamente en un +4,57% con la BCI de *Py. tritici-repentis* y un +10,1% con la ACI, respecto al testigo sin inóculo que presentó un valor de 57,3 ml (Fig. 2.21a). Contrariamente, con inoculaciones de *P. triticina*, este parámetro disminuyó un -4,73% (BCI) y un -7,64% (ACI) de manera significativa en relación al tratamiento sin inocular (62,5 ml).

Tabla 2.12. Valor *p* (ANAVA) de la absorción de agua de la harina (*A*), el tiempo de desarrollo de la masa (*B*), la estabilidad de la masa (*D*), el grado de ablandamiento de la masa (*E*) y el volumen de pan (VP) en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* durante 2012 y 2013

Fuente de Variación	Gl	A	B	D	E	VP
<i>Año (A)</i>	1	0,093	0,002	0,002	0,039	0,053
<i>Patógeno (Pa)</i>	1	0,784	0,495	0,684	0,602	0,153
<i>A</i> × <i>Pa</i>	1	0,899	0,390	0,649	0,297	0,770
<i>Inoculación (In)</i>	2	0,265	0,311	0,815	0,711	0,009
<i>A</i> × <i>In</i>	2	0,808	0,316	0,196	0,285	0,786
<i>Pa</i> × <i>In</i>	2	<,001	0,152	0,006	0,152	<,001
<i>A</i> × <i>Pa</i> × <i>In</i>	2	0,973	0,464	0,508	0,332	0,943
<i>Cultivar (Cu)</i>	9	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
<i>A</i> × <i>Cu</i>	9	0,003	0,778	0,292	0,993	<,001
<i>Pa</i> × <i>Cu</i>	9	<,001	0,789	0,998	0,729	<,001
<i>In</i> × <i>Cu</i>	18	0,834	0,973	0,193	0,964	0,873
<i>A</i> × <i>Pa</i> × <i>Cu</i>	9	0,863	0,892	0,409	0,969	0,847
<i>A</i> × <i>In</i> × <i>Cu</i>	18	0,853	0,477	0,581	0,812	0,832
<i>Pa</i> × <i>In</i> × <i>Cu</i>	18	0,246	0,209	0,207	0,835	0,084
<i>A</i> × <i>Pa</i> × <i>In</i> × <i>Cu</i>	18	0,983	0,899	0,442	0,786	0,964
Total	359					

Por su parte, el *B* presentó diferencias significativas entre años siendo superior en el año 2013 (7,13 min) que en 2012 (3,89 min) (Tabla 2.12 y 2.13). Además, se observaron diferencias

significativas entre cultivares cuyos valores estuvieron en el rango de 10,1 a 6,76 min en los cultivares de grupo de calidad 1; 4,62 a 4,61 min en los cultivares de grupo de calidad 2; y entre 3,28 a 4,84 min en los de grupo de calidad 3 siendo más bajos en los cultivares Baguette 17 y Baguette 18 (2.13). En el caso de este parámetro, no se observaron variaciones en función del tipo de patógeno inoculado y los diferentes tratamientos de inoculación (la interacción *Patógeno* × *Inoculación* no fue significativa, Tabla 2.12).

Tabla 2.13. Medias de factores principales de la absorción de agua de la harina (A), el tiempo de desarrollo de la masa (B), la estabilidad de la masa (D), el grado de ablandamiento de la masa (E) y el volumen de pan (VP) en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* durante 2012 y 2013

Fuente de Variación	A (ml)	B (min)	D (min)	E (UF)	VP (cm ³)
Año					
2012	59,3	3,89	6,90	122	499
2013	60,7	7,13	10,1	93,5	527
Patógeno					
<i>Py. tritici-repentis</i>	60,1	5,59	8,57	106	521
<i>P. triticina</i>	59,9	5,42	8,48	110	505
Inoculación					
Sin inóculo	59,9	5,65	8,53	108	505
BCI	59,7	5,25	8,45	109	507
ACI	60,4	5,62	8,60	107	526
Cultivar					
ACA 315	66,1	9,09	13,5	63,9	631
Klein Yarárá	62,2	6,76	9,05	71,1	557
Sursem LE 2330	64,6	10,1	15,5	46,7	615
Nidera Baguette 11	59,7	4,62	7,89	100	513
Buck SY 100	58,6	4,61	8,02	105	494
ACA 303	60,4	4,84	7,29	149	515
Nidera Baguette 17	54,9	4,08	6,32	158	428
Nidera Baguette 18	52,3	3,65	5,23	158	380
BiolNTA 3004	61,7	3,28	6,04	111	523
Klein Guerrero	59,2	3,97	6,43	115	473

Por otro lado, el parámetro *D* presentó variaciones significativas entre años siendo superior en 2013 (10,1 min) que en 2012 (6,90 min) (Tabla 2.12 y 2.13). Además, se observaron diferencias significativas entre cultivares con valores que oscilaron entre 15,5 min a 9,05 min en los cultivares de grupo de calidad 1; entre 8,02 min a 7,89 min en los cultivares de grupo de calidad 2; y entre 7,29 min a 5,23 min en los de grupo de calidad 3 siendo más bajos en los Baguettes (Tabla 2.13). Asimismo, el valor de *D* estuvo influenciado por el tipo de patógeno inoculado y los tratamientos de inoculación (la interacción *Patógeno* × *Inoculación* fue significativa, Tabla 2.12). Este parámetro, se incrementó significativamente en un +11,1% con la ACI de *Py. tritici-repentis* comparado con el testigo sin inocular (8,16 min), en tanto que con la BCI no se observaron diferencias (Fig. 2.21b). Contrariamente, el *D* disminuyó de manera significativa en un -8,65% con la ACI de *P. triticina* comparado con el tratamiento sin inocular (8,9 min), en tanto que con la BCI no se evidenciaron diferencias.

Se observaron diferencias significativas del parámetro *E* entre años y entre los diferentes cultivares (Tabla 2.12 y 2.13). Este parámetro fue superior en el año 2012 (123 UF) que en 2013 (94 UF) en tanto que entre cultivares, los valores estuvieron en el rango de 63,9 a 46,7

UF en los cultivares de grupo de calidad 1; entre 106 a 101 UF en los cultivares de grupo de calidad 2; y entre 159 a 111 UF en los de grupo de calidad 3 siendo más bajos en los cultivares Baguette 17 y Baguette 18 (Tabla 2.13).

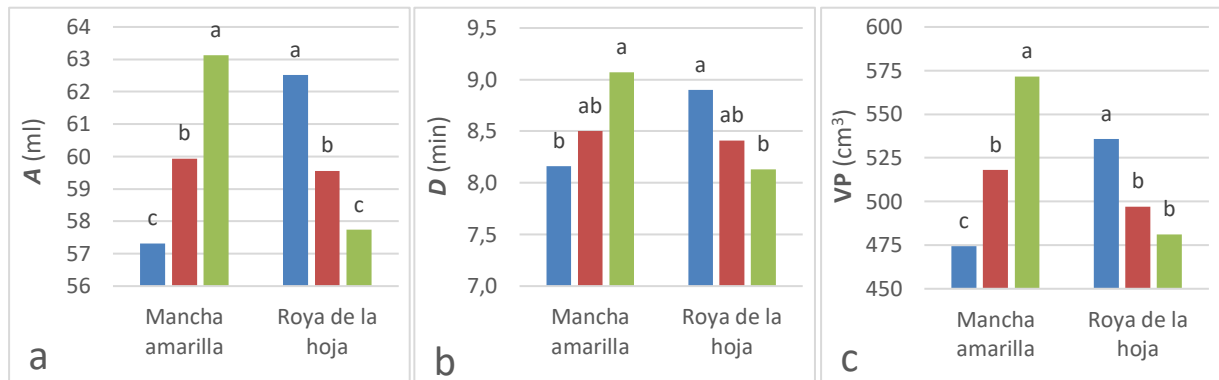


Figura 2.21. Medias de (a) la absorción de agua de la harina (A), (b) la estabilidad de la masa (D) y (c) el volumen de pan (VP) en la interacción *Patógeno* × *Inoculación* en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, con diferentes tratamientos de inoculación y diez cultivares de trigo durante 2012 y 2013. Medias seguidas por la misma letra dentro de cada enfermedad son significativamente iguales (LSD $p=0,05$). ● (sin inóculo), ● (baja concentración de inóculo), ● (alta concentración de inóculo)

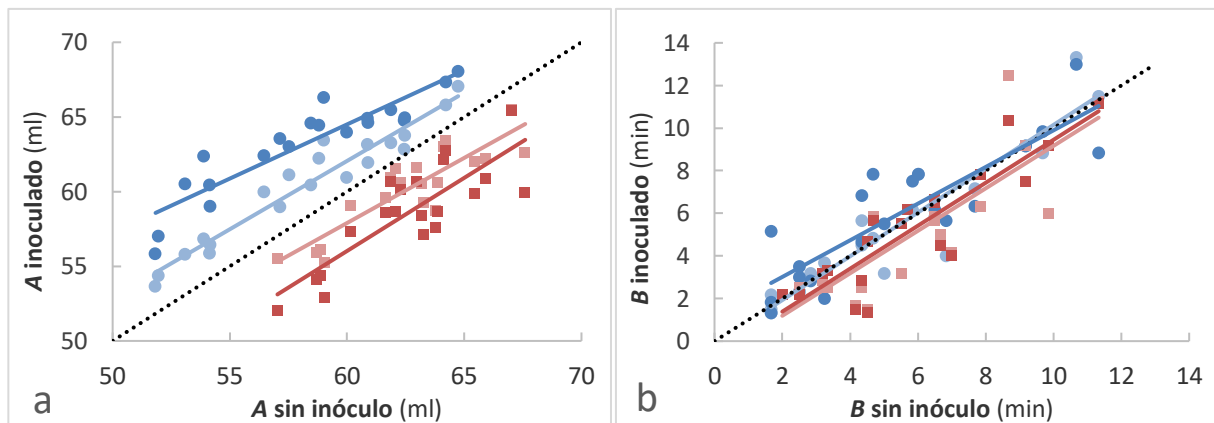


Figura 2.22. Rectas de regresión para la interacción *Patógeno* × *Inoculación* de (a) la absorción de agua de la harina (A) y (b) el tiempo de desarrollo de la masa (B) en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, con diferentes tratamientos de inoculación y diez cultivares de trigo durante 2012 y 2013. ● (baja concentración de *Py. tritici-repentis*), ● (alta concentración de *Py. tritici-repentis*), ■ (baja concentración de *P. triticina*), ■ (alta concentración de *P. triticina*). La línea punteada indica la relación 1:1

El volumen de pan presentó diferencias significativas entre cultivares (Tabla 2.12) con valores que estuvieron entre los 631 a 557 cm³ en los cultivares de grupo de calidad 1; entre 513 a 494 cm³ en los cultivares de grupo de calidad 2; y entre 523 a 380 cm³ en los de grupo de calidad 3 siendo más bajos en los cultivares Baguette (Tabla 2.13). Además, esta variable estuvo influenciada por el tipo de patógeno inoculado y la concentración de inóculo aplicada (la interacción *Patógeno* × *Cultivar* fue significativa, Tabla 2.12). Así, el volumen de pan se incrementó significativamente en un +9,15% con BCI de *Py. tritici-repentis* y +20,5% con la ACI en relación al testigo sin inocular que presentó 474 cm³ (Fig. 2.21c). Contrariamente, con inoculaciones de *P. triticina* este parámetro disminuyó un -7,22% (BCI) y un -10,2% (ACI) con respecto al testigo sin inocular (522 cm³), aunque ambos tratamientos inoculados no se diferenciaron estadísticamente entre sí. Finalmente, bajo las condiciones de este trabajo, los

parámetros de calidad que mejor explicaron el volumen de pan ($R^2=76,36$; $C_p=5,86$) fueron el CPG ($p=0,024$), el P ($p=0,001$) y el W ($p=0,039$) del alveograma y el A ($p<0,001$) del farinograma.

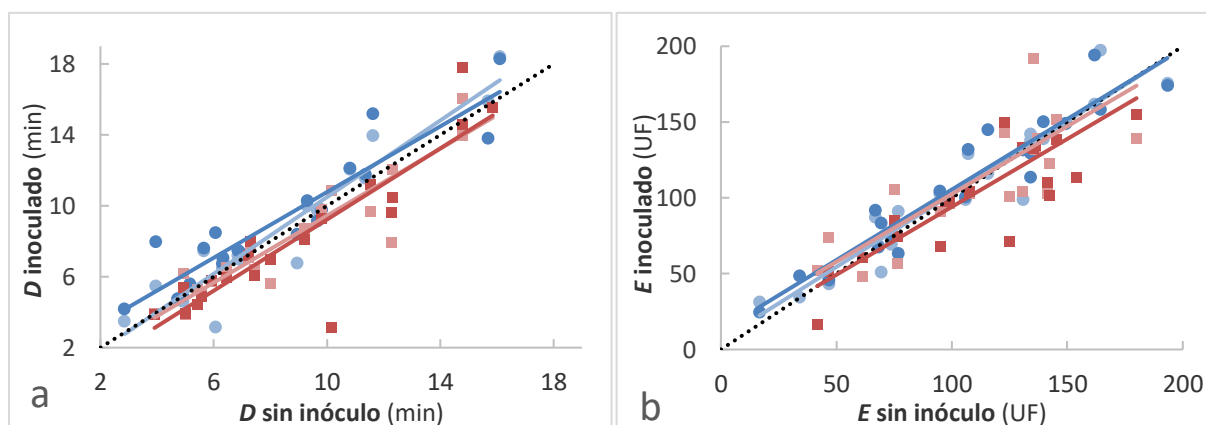


Figura 2.23. Rectas de regresión para la interacción *Patógeno* × *Inoculación* de la estabilidad (D) y grado de ablandamiento de la masa (E) en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, con diferentes tratamientos de inoculación y diez cultivares de trigo durante 2012 y 2013. ● (alta concentración de *Py. tritici-repentis*), ■ (baja concentración de *P. triticina*), ■ (alta concentración de *P. triticina*). La línea punteada indica la relación 1:1

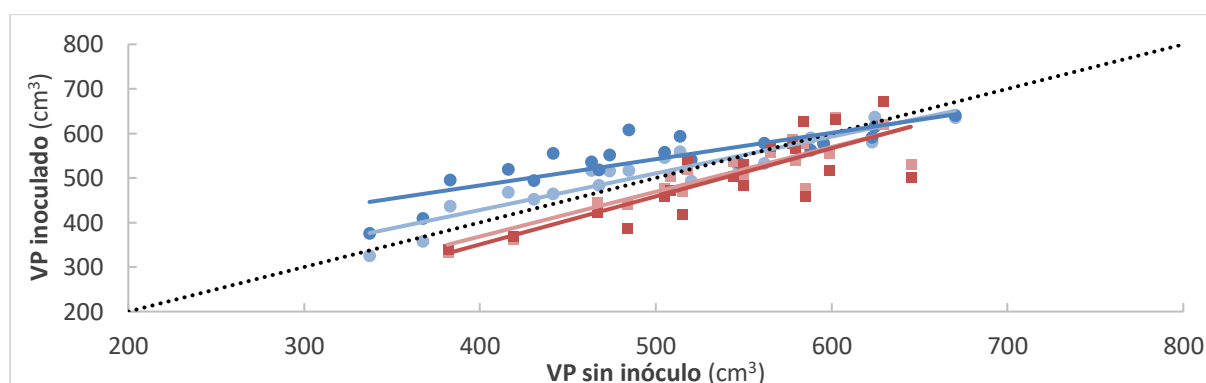


Figura 2.24. Rectas de regresión para la interacción *Patógeno* × *Inoculación* del volumen de pan (VP) en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, con diferentes tratamientos de inoculación y diez cultivares de trigo durante 2012 y 2013. ● (baja concentración de *Py. tritici-repentis*), ● (alta concentración de *Py. tritici-repentis*), ■ (baja concentración de *P. triticina*), ■ (alta concentración de *P. triticina*). La línea punteada indica la relación 1:1

2.3.5. Tolerancia a la mancha amarilla y a la roya de la hoja y sus implicancias en la calidad de trigo pan

Los valores promedio para los dos años y para cada patógeno por separado, de las pendientes de regresión lineal entre DAFV y el rendimiento mostraron diferencias significativas entre cultivares, lo que permitió detectar la existencia de cultivares tolerantes y sensibles a la mancha amarilla y a la roya de la hoja (Tabla 2.14). La comparación entre las rectas de regresión para cada patógeno, evidenciaron que algunos cultivares fueron tolerantes a las dos enfermedades, en tanto que otros, mostraron diferencias notorias. En este sentido, los cultivares BioINTA 3004 y Klein Guerrero fueron tolerantes a ambas

enfermedades en los dos años, presentando bajos valores de pendiente entre la DAFV y el rendimiento, en tanto que los demás cultivares variaron su comportamiento en función de la enfermedad considerada (Tabla 2.14, Fig. 2.25). Así, para mancha amarilla se observó que también Sursem LE 2330, Baguette 17 y ACA 303 tuvieron valores de pendiente significativamente bajos, tratándose de cultivares tolerantes mientras que Klein Yará, Buck SY100 y Baguette 18 se comportaron como sensibles (valores de pendiente significativamente elevados, Tabla 2.14, Fig. 2.25a). Con respecto a roya de la hoja, se observó que también los cultivares ACA 315, Klein Yará y Baguette 11 fueron los más tolerantes (valores de pendiente significativamente bajos) mientras que Sursem LE 2330, Baguette 17 y ACA 303 fueron algunos de los más sensibles (valores de pendiente elevados, Tabla 2.14, Fig. 2.25b).

Tabla 2.14. Pendientes (coeficiente b) de las rectas de regresión entre el rendimiento en grano y la duración del área foliar verde promedio de los dos años para la mancha amarilla y la roya de la hoja (MA y RH respectivamente) en un ensayo de trigo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* durante 2012 y 2013

Cultivar	Grupo de Calidad	Pendiente para MA	Pendiente para RH
ACA 315	1	21,1 ab	5,4 bc
Klein Yará	1	28,6 a	13,4 bc
Sursem LE 2330	1	10,0 b	20,8 ab
Nidera Baguette 11	2	17,6 ab	9,5 bc
Buck SY 100	2	35,0 a	18,5 ab
ACA 303	3	15,4 b	22,6 a
Nidera Baguette 17	3	13,4 b	22,6 ab
Nidera Baguette 18	3	26,4 a	17,5 ab
INTA 3004	3	6,2 b	4,0 c
Klein Guerrero	3	13,6 b	14,9 b

Por el contrario, el modelo que cuantifica tolerancia considerando la pendiente de regresión entre ABCPE con el rendimiento no mostró resultados consistentes ni significativos. Por otra parte, se observó que la tolerancia estuvo negativamente correlacionada con el potencial de rendimiento de los cultivares, tanto para mancha amarilla ($r=0,718$) como para roya de la hoja ($r=0,661$) indicando que los cultivares de mayor potencial de rendimiento fueron los más sensibles independientemente del tipo de enfermedad (Fig. 2.27). Del mismo gráfico se desprende que no necesariamente los cultivares de mejor aptitud panadera (grupo de calidad 1) fueron de menor potencial de rendimiento y viceversa. Por ejemplo, el cultivar BioINTA 3004 que es un cultivar de grupo de calidad 3 (baja aptitud panadera) evidenció el menor potencial de rendimiento (Fig. 2.27).

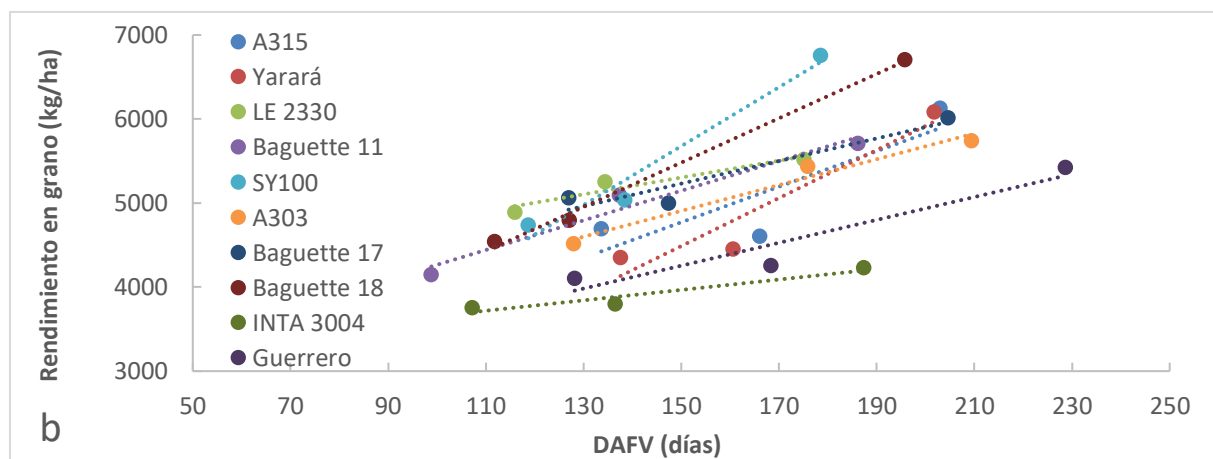
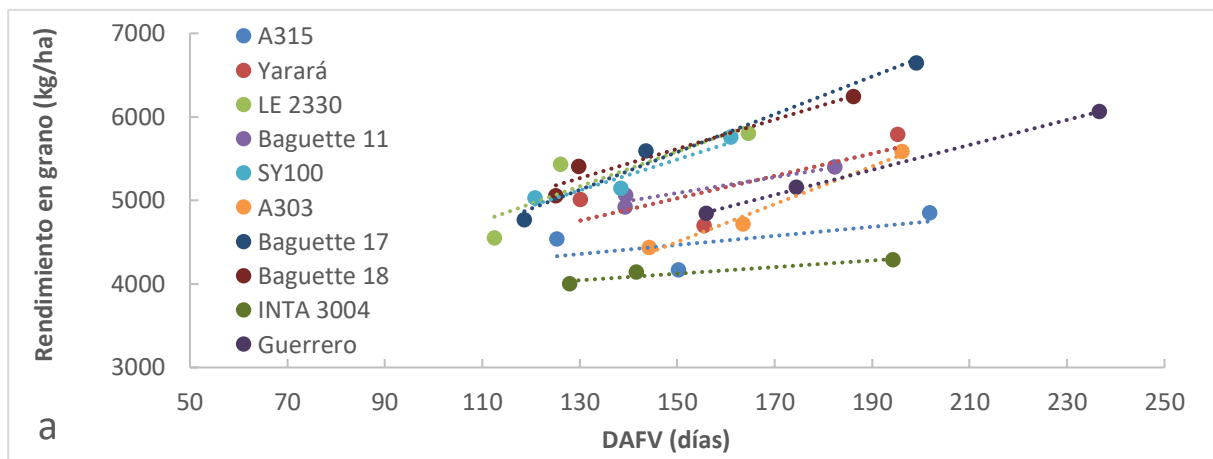


Figura 2.25. Rectas de regresión entre la duración del área foliar verde (DAFV) y el rendimiento en grano promedio para los dos años en diez cultivares de trigo con diferentes tratamientos de inoculación con (a) *Py. tritici-repentis* y (b) *P. triticina* durante 2012 y 2013

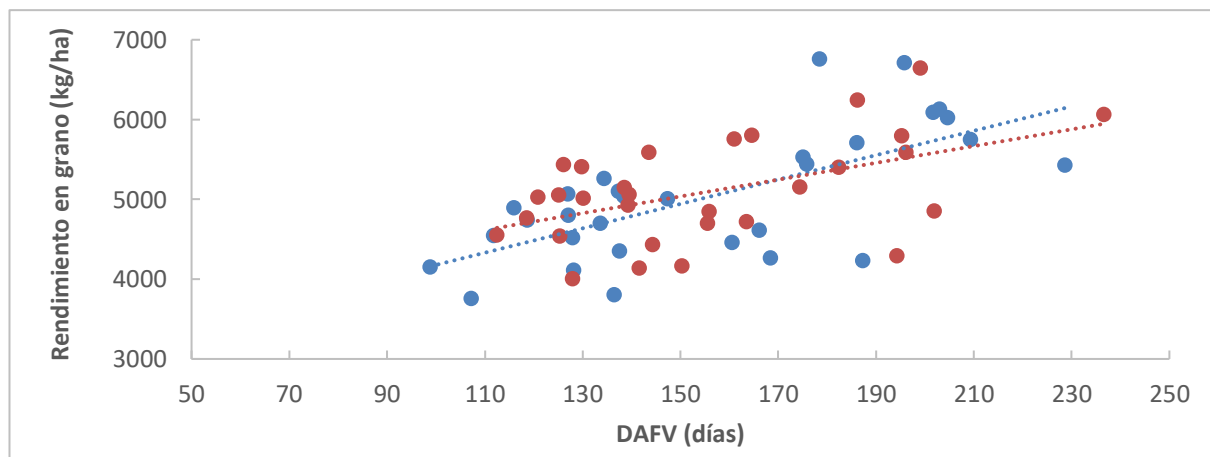


Figura 2.26. Recta de regresión entre la duración del área foliar verde (DAFV) y el rendimiento en grano promedio para las 10 cultivares enfermas con (●) mancha amarilla y (●) roya de la hoja para los dos años.

Por otro lado, en la Tabla 2.15 se observa que existió una relación significativa entre el grupo de calidad y el porcentaje de variación de algunos parámetros de calidad panadera comparando tratamientos de inoculación extremos (ACI frente al testigo sin inocular) dependiendo del tipo de patógeno inoculado. En este sentido, comparando el tratamiento sin inóculo con ACI, los cultivares de mejor aptitud panadera (grupo de calidad 1) presentaron

menores variaciones del CPG que los de grupo de calidad 2 y 3 ante infecciones de *Py. tritici-repentis* cuyos valores oscilaron entre el 8,69% 16,6% y 17,1%, respectivamente ($p=0,027$; $r=0,478$; Tabla 2.15). Lo mismo ocurrió con inoculaciones de *P. triticina*, donde los cultivares del grupo de calidad 1 presentaron menores variaciones CPG que los de grupo de calidad 2 y 3 ($p=0,033$; $r=0,452$; Tabla 2.15), aunque con valores más bajos (6,79%, 8,14% y 12,2%, respectivamente).

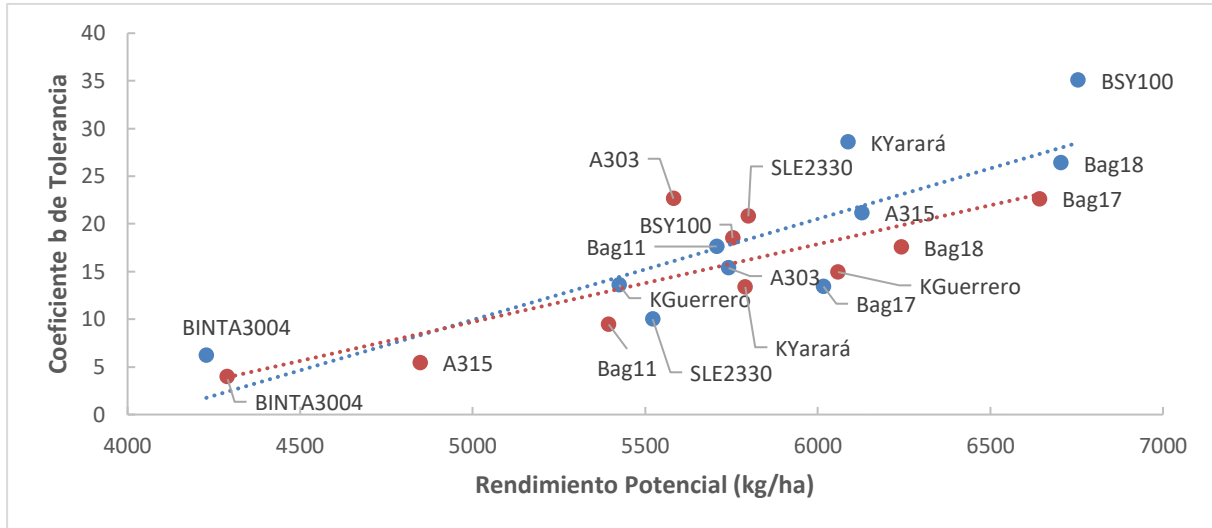


Figura 2.27. Rectas de correlación entre el rendimiento potencial de los cultivares (tratamientos protegidos) y el y el coeficiente b de tolerancia para los dos años promedio en diez cultivares de trigo (●) *Py. tritici-repentis* y (●) *P. triticina* durante 2012 y 2013. La línea punteada representa el ajuste para los 10 cultivares inoculados con cada patógeno

Tabla 2.15. Coeficientes de correlación (r), pendiente y probabilidad (p) entre el grupo de calidad y el porcentaje de variación de los parámetros de calidad entre la alta concentración de inóculo y el testigo sin inocular promedio de los dos años para la mancha amarilla y la roya de la hoja en un ensayo de trigo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* durante 2012 y 2013

Parámetro de calidad	Mancha amarilla		Roya de la hoja	
	r	Pendiente	r	Pendiente
Contenido de proteínas en grano (CPG)	0,476*	4,03	0,453*	-2,75
Gluten húmedo (GH)	0,492*	6,64	0,104	-2,04
Tenacidad (P)	0,697**	3,20	0,236	-1,48
Extensibilidad (L)	0,023	1,72	0,009	-0,789
P/L	0,273	4,65	0,076	-4,14
Fuerza del gluten (W)	0,434*	0,671	0,014	0,175
Absorción de agua (A)	0,425*	2,45	0,059	-0,748
Tiempo de desarrollo (B)	0,063	9,86	0,094	-7,28
Estabilidad (D)	0,005	1,13	0,144	-6,80
Grado de ablandamiento (E)	0,230	5,93	0,100	-6,65
Volumen de pan (VP)	0,488*	5,92	0,284	-2,94

(* valores de $p<0,05$; ** valores de $p<0,01$; ***valores de $p<0,001$)

Algo similar ocurrió con el parámetro gluten húmedo, en el que comparando las variaciones entre el tratamiento sin inoculación con la ACI de *Py. tritici-repentis*, se observaron menores variaciones de este parámetro en los cultivares de mejor aptitud panadera ($p=0,023$; $r=0,492$), en tanto que con inoculaciones de *P. triticina* se observó la misma tendencia, aunque la misma no fue significativa ($p=0,362$; $r=0,104$) (Tabla 2.15). Por su parte, la relación entre el

grupo de calidad y el porcentaje de variación entre tratamientos extremos de inoculación también fue significativa únicamente con *Py. tritici-repentis* en los parámetros de calidad de *P*, *W*, *A* y volumen de pan (Tabla 2.15).

Tabla 2.16. Coeficientes de correlación (*r*), pendiente y probabilidad (*p*) entre la tolerancia y el porcentaje de variación de los parámetros de calidad entre la alta concentración de inóculo y el testigo sin inocular promedio de los dos años para mancha amarilla (MA) y roya de la hoja (RH) en un ensayo de trigo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* durante 2012 y 2013

Parámetro de calidad	Mancha amarilla		Roya de la hoja	
	<i>r</i>	Pendiente	<i>r</i>	Pendiente
Contenido de proteínas en grano (CPG)	0,066	-0,154	0,286	0,296
Gluten húmedo (GH)	0,013	0,112	0,271	-0,445
Tenacidad (<i>P</i>)	0,001	-0,009	0,236	-0,201
Extensibilidad (<i>L</i>)	0,299	-0,145	0,035	0,284
<i>P/L</i>	0,008	0,084	0,199	-0,902
Fuerza del gluten (<i>W</i>)	0,014	0,175	0,434	-0,671
Absorción de agua (<i>A</i>)	0,014	0,045	0,272	-0,216
Tiempo de desarrollo (<i>B</i>)	0,023	-0,614	0,097	-1,00
Estabilidad (<i>D</i>)	0,012	-0,180	0,034	-0,451
Grado de ablandamiento (<i>E</i>)	0,004	-0,087	0,068	0,663
Volumen de pan (<i>VP</i>)	0,009	-0,085	0,249	-0,37

No se evidenciaron efectos de la tolerancia sobre la calidad panadera. Las correlaciones entre las pendientes de regresión que indican tolerancia con las variaciones de los parámetros de calidad panadera comparando la ACI con el testigo sin inocular no resultaron significativas (Tabla 2.16). En este sentido, los cultivares tolerantes no redujeron en forma significativa el CPG, el gluten húmedo, el volumen de pan y otros parámetros de calidad panadera en relación a los más sensibles (no tolerantes).

2.4. Discusión

Las variaciones climáticas entre años influenciaron fuertemente el desarrollo epidemiológico de las enfermedades evaluadas, coincidiendo con Wegulo *et al.* (2012) y Campbell & Madden (1990), al jugar un rol preponderante tanto la temperatura media, humedad relativa ambiente y precipitaciones en la supervivencia, reproducción y sobrevivencia de *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*. En este sentido, el año 2012 presentó condiciones más favorables para el desarrollo de enfermedades en post-floración debido a la mayor acumulación de precipitaciones, humedad relativa y temperaturas medias más elevadas que provocaron mayores niveles de ABCPE y mayores tasas de caída del IAFV.

Las condiciones meteorológicas predisponentes en 2012 provocaron mayores niveles de ABCPE que se incrementó significativamente con el aumento de la concentración de inóculo en ambos patógenos. Además, dicha variable fue significativamente superior con roya de la hoja que con mancha amarilla probablemente debido 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 (Roelfs *et al.* 1992; Wiik 2009). En este sentido, cabe mencionar que *Py. tritici-repentis* requiere temperaturas óptimas de 19 a 20 °C, aunque su rango puede ser más amplio (10-30 °C) y 18 horas de mojado sobre sus hojas (Fernández *et al.* 1996). Por otro lado, *P. triticina* es más exigente con respecto a temperaturas medias (15 y 22 °C) y requiere un período de mojado de 6 a 8 horas (Alberione 2005), rango de condiciones que se presentaron a partir del mes de octubre en ambos años, con temperaturas medias superiores a 16 °C y humedad relativa superiores al 80%.

En este trabajo, donde se realizaron inoculaciones artificiales en forma separada de *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, el aumento en la concentración de inóculo de los patógenos provocó disminuciones en la DAFV, coincidiendo con lo reportado en distintos patosistemas por Waggoner y Berger (1987); Dimmock & Gooding (2002a); Parker *et al.* (2004) y Van den Berg *et al.* (2013), a partir del aumento en la clorosis y senescencia foliar. En un mismo sentido, Sharma *et al.* (2004) y Rosyara *et al.* (2006) documentaron disminución en la DAFV de la hoja bandera ante infecciones causadas por *Cochliobolus sativus* (S Ito & Kurib) [anamorfo *Bipolaris sorokiniana* (Sacc) Shoem] y *Py. tritici-repentis*. De la misma manera, Serrago *et al.* (2009) verificaron caídas en esta variable ante infecciones de *P. triticina*, *Py. tritici-repentis* y *M. graminicola*. Coincidiendo con Gooding *et al.* (2000), la presencia de patógenos foliares provocan disminuciones en la DAFV a partir del adelantamiento en la senescencia foliar. Con respecto a la tasa de caída de IAFV para el periodo EC39-EC82, se detectaron mayores diferencias entre tratamientos de inoculación con *Py. tritici-repentis*, aunque las inoculaciones con *P. triticina* mostraron tasas de caída superiores en los tres tratamientos de inoculación, comportamiento que podría ser explicado por los valores superiores en IAFV de los estratos en EC39 con *P. triticina* con respecto a *Py. tritici-repentis* y a las mayores tasas de infección que presenta *P. triticina*.

En relación al comportamiento de los genotipos evaluados, se encontró una estrecha relación entre aumentos en el ABCPE con disminuciones de la DAFV. En este sentido, los cultivares Klein Guerrero, ACA 303 y ACA 315 se destacaron por poseer un mejor comportamiento sanitario en promedio de los dos años y por mantener altos valores de DAFV en comparación a los restantes genotipos. Por otro lado, los cultivares Sursem LE 2330, Buck SY100, Baguette 11 y Baguette 18 evidenciaron altos valores de ABCPE y bajos valores de DAFV. En 2012 no existieron diferencias significativas de susceptibilidad entre enfermedades en todos los cultivares utilizados, con excepción del cultivar Klein Yarará que presentó mayor susceptibilidad a roya de la hoja. En cambio, en 2013, tanto Klein Yarará como los cultivares Sursem LE 2330, Baguette 17, Baguette 18 y BioINTA 3004 fueron significativamente más susceptibles a roya de la hoja que a mancha amarilla.

Las enfermedades foliares evaluadas generaron reducciones notorias en el rendimiento ante aumentos en la concentración de inóculo ensayadas. En este sentido, la mancha amarilla ocasionó mermas del -16,0% (BCI) y del -22,4% (ACI) en tanto que roya de la hoja generó disminuciones del orden de -14,3% (BCI) y del -16,9% (ACI). El efecto de la mancha amarilla y la roya de la hoja sobre el rendimiento del trigo ha sido ampliamente documentado a nivel mundial. En este sentido, Wegulo *et al.* (2012) comprobaron reducciones del 27-42% en el

rendimiento frente a infecciones conjuntas ocasionadas por *Py. tritici-repentis* y *M. graminicola*. Autores como Rees *et al.* (1982) documentaron reducciones en el rendimiento del 49% bajo condiciones favorables para el desarrollo de mancha amarilla en Australia, en tanto que, en Estados Unidos, se reportaron caídas cercanas al 15% en parcelas inoculadas con este patógeno frente a testigos protegidos (Evans *et al.* 1999). En Argentina, Carmona *et al.* (1998) verificaron en ensayos de eficiencia de fungicidas un aumento entre el 22 y el 55% con respecto a testigos enfermos con *Py. tritici-repentis*. En tanto que Serrago (2010), estudiando diferentes años y ambientes, encontró disminuciones en el rendimiento del 17 al 47% frente a infecciones de patógenos hemibiotróficos y necrotróficos (*M. graminicola* y *Py. tritici-repentis*) y biotróficos (*P. triticina*) respectivamente. Recientemente, Serrago & Miralles (2014) reportaron caídas en el rendimiento de 25% frente a inoculaciones con *P. triticina* con respecto a testigos protegidos.

Por otro lado, bajo las condiciones exploradas en este trabajo, no se detectaron disminuciones del NESP ante inoculaciones de *P. tritici-repentis* y *P. triticina*. En general, las principales enfermedades foliares de Argentina tienden a tener un impacto relativamente bajo sobre la producción y supervivencia de macollos y, por lo tanto, en el NESP. Esto podría deberse a que la disminución de este componente está asociada generalmente a epifitias en estadios fenológicos tempranos (*e.g.* macollaje). En el presente estudio, las enfermedades tuvieron una baja incidencia en estadios tempranos y presentaron un mayor desarrollo a partir de anthesis, explicada por las condiciones ambientales más propicias para su desarrollo. En este sentido, Varga *et al.* (2005) no encontraron caídas en el NESP frente a epifitias naturales de *M. graminicola* y *Puccinia striiformis f. sp. tritici* (agente causal de la roya estriada) en trigo. Coincidiendo con nuestros resultados, otros autores como Robert *et al.* (2004) y Carignano *et al.* (2008) utilizando inoculaciones y/o infecciones naturales no observaron caídas en el NESP. Contrariamente, Ronis *et al.* (2009) observaron disminuciones de esta variable ante epifitias causadas por *Py. tritici-repentis* y *M. graminicola* explicadas por condiciones predisponentes tempranas para el desarrollo de estas enfermedades y por la utilización de cultivares altamente susceptibles a estos patógenos. Asimismo, Castro (2016) documentó caídas significativas de la producción y supervivencia de macollos con inoculaciones de *M. graminicola* en macollaje con respecto al testigo protegido.

Las principales causas de pérdida de rendimiento debidas a enfermedades foliares derivan fundamentalmente de las disminuciones provocadas sobre el NGE y el PMG. Esto concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo, donde la caída del NGT, ante aumentos en la concentración de inóculo de los patógenos foliares, se explica fundamentalmente por caídas en el NGE y no por variaciones en el NESP. En efecto, el NGE fue uno de los componentes del rendimiento más afectado por *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* provocando importantes reducciones en el NGT, principal componente del rendimiento (Borrás *et al.* 2004). Se detectó una importante variabilidad en la reducción de ésta variable con el aumento del inóculo entre años, llegando a un -8,30% con la ACI de inóculo en 2012 frente a un -22,4% en 2013, para el mismo tratamiento frente al tratamiento sin inocular. Cuando fueron comparados los efectos de la concentración de inóculo de los patógenos, se detectó una tendencia a mayor disminución en el NGE ante inoculaciones con ACI de *P.*

triticina, con reducciones de hasta -18,7% en relación al tratamiento sin inocular, en tanto que ante *Py. tritici-repentis* esta caída fue de hasta -12,9%. Coincidiendo con Rees *et al.* (1982) y Shabeer & Bockus (1988) y en contraste con Varga *et al.* (2005) y Carignano *et al.* (2008), el tratamiento sin inóculo presentó mayores valores de NGE comparado con tratamientos enfermos. En un mismo sentido, Castro (2016) observó caídas en el NGE frente a inoculaciones de *M. graminicola*. Por su parte, Simón *et al.* (2011) también reportaron disminuciones de este componente de rendimiento ante inoculaciones de *Py. tritici-repentis*.

Reducciones en el PMG ante epifitias de patógenos fúngicos foliares han sido asociadas con infecciones en post-floración por diversos autores (Simón *et al.*, 1996; Wang *et al.*, 2004; Ishikawa *et al.* 2012). Los menores valores en el PMG detectados en 2012 con respecto a 2013, estuvieron explicados por la epifitia de la fusariosis de la espiga generada por *Gibberella zeae* (Schwein) Petch (anamorfo *Fusarium graminearum* Schwabe) en el primer año, que ha sido asociado con disminuciones en esta variable, debido a la formación de granos poco desarrollados, arrugados y de bajo peso (Kohli *et al.* 1995). En este sentido, los cultivares BioINTA 3004 (41,8% de incidencia en granos), Baguette 17 (11,8%) y Baguette 18 (12,9%) fueron los genotipos más afectados por la enfermedad. En este trabajo, las inoculaciones con *Py. tritici-repentis* redujeron el PMG hasta un -6,25% frente al tratamiento sin inocular, en tanto que *P. triticina* produjo caídas de hasta -9,40%. Dentro de los componentes del rendimiento, la disminución en el PMG ante infecciones generadas por patógenos foliares en trigo ha sido ampliamente documentada (Gooding *et al.* 2000; Dimmock & Gooding 2002a; Ishikawa *et al.* 2012). Coincidiendo con Carignano *et al.* (2008) y Simón *et al.* (2011), tratamientos enfermos presentaron disminuciones en esta variable en comparación a tratamientos que no fueron inoculados. En este sentido, Castro (2016) observó reducciones significativas del PMG ante inoculaciones con *M. graminicola*. Similares respuestas fueron reportadas por Varga *et al.* (2005) y Bancal *et al.* (2008) ante infecciones naturales generadas por *P. triticina* y *M. graminicola*. Sharma *et al.* (2004), evaluando el comportamiento a *Py. tritici-repentis* de 60 cultivares primaverales de distinta procedencia, encontraron disminuciones en el PMG del orden del 2,6 al 33% frente a testigos protegidos. 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 *M. graminicola*. Ante epifitias causadas por *P. triticina* y *M. graminicola*, Robert *et al.* (2004) documentaron caídas en el PMG del 38 al 40%. Recientemente, 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. En este sentido, varios autores indican que la cantidad de asimilados disponible por grano fijado (relación fuente/destino) puede ejercer un efecto en el impacto de las enfermedades sobre el PMG (Pepler *et al.* 2006, Serrago *et al.* 2011). Los asimilados (fuente) para el crecimiento de los granos en desarrollo (destinos) provienen principalmente de la fotosíntesis de las hojas (fotosíntesis actual), también de órganos como las espigas (Maydup *et al.* 2010; Molero *et al.* 2015) y en caso que la fuente fotosintética sea insuficiente para completar el llenado el cultivo, puede remobilizar las reservas almacenadas en los tallos (Bingham *et al.* 2009, Miralles *et al.* 2014). En este sentido, se debe considerar que en aquellas situaciones con relaciones

fuente/destino más deprimidas, ya sea por poca fuente (fotosíntesis foliar afectada o bajo nivel de reservas en tallo) o por gran cantidad de destinos (alto número de granos fijados), habrá mayores efectos en el peso de granos por la presencia de enfermedades durante el período de llenado (Serrago *et al.* 2011). Sin embargo, debería tenerse en cuenta que en estos casos la fotosíntesis de la espiga podría amortiguar e incrementar el peso de los granos (Maydup *et al.* 2010). Bajo las condiciones de este estudio, los cultivares Baguette 18 y Baguette 17, presentaron las mayores caídas en el PMG ante incrementos en la concentración de inóculo (en particular de *P. triticina*) probablemente asociados a un elevado NGE y NGT; respuesta que podría estar explicada por una limitación en la disponibilidad de asimilados (limitación por fuente).

Tal como fue abordado en el capítulo introductorio, la información sobre el efecto de enfermedades foliares sobre el CPG presenta resultados contrastantes. En este trabajo, donde se realizaron inoculaciones artificiales y en forma separada con patógenos de diferente hábito nutricional, se encontraron variaciones en dirección y magnitud del contenido de proteínas en grano en función del tipo de patógeno inoculado. La variación de dirección del efecto se observó a través del aumento de la concentración de inóculo de *Py. tritici-repentis* que provocó incrementos en el CPG comparando la BCI (+7,81%) y la ACI (+15,2%) respecto al testigo sin inocular; en tanto que el de *P. triticina* generó disminuciones (-6,27% y -10,1% respectivamente). Esto se debería a que organismos necrotróficos, como *Py. tritici-repentis*, ejercen un daño directo sobre el área fotosintéticamente activa y disminuyen la radiación interceptada en áreas con tejido muerto, lo que genera un menor suministro y acumulación de carbohidratos. Si estos procesos se dan particularmente en el periodo de llenado del grano y, dado que alrededor del 80% del N ya fue acumulado en antesis, hay un efecto de “concentración” de proteínas y por lo tanto, el porcentaje de las mismas se incrementa. En cambio, dado que organismos biotróficos, no sólo reducen el área fotosintéticamente activa, sino que además afectan la EUR por incrementar la retención de azúcares y aminoácidos en los tejidos dañados, lo que restringe su partición hacia los granos. En este sentido, Walters (1989) indicó una importante acumulación de N en las pústulas, en tanto que la concentración de N en las áreas cercanas no fue alterada, lo que implicó una acumulación de N en las zonas afectadas de la hoja actuando como destinos secundarios. Estudios realizados por Bancal *et al.* (2008) observaron que la roya de la hoja afectó más la absorción de N post-antesis que la removilización de dicho nutriente. Autores como Caldwell *et al.* (1934) y Greaney *et al.* (1941) demostraron que la infección con *P. triticina* en los cultivares más susceptibles incrementó la concentración de proteínas en tallos y hojas y redujo la concentración en el grano. Por otro lado, Caldwell *et al.* (1934) observaron que el control de la roya de la hoja en cultivares susceptibles incrementó el índice de cosecha y el N por tallo y que dichos efectos fueron más importantes que los efectos sobre los carbohidratos, de manera que el rendimiento proteico se redujo con la enfermedad. Asimismo, Fleitas *et al.* (2015) hallaron disminuciones significativas del CPG sobre un cultivar susceptible comparado con todos los tratamientos protegidos con fungicidas ante sucesivas inoculaciones con *P. triticina*. Sin embargo, en algunos casos ha sucedido lo contrario y se han encontrado diferencias genotípicas. En este sentido, Broadfoot (1931) informó importantes reducciones en la concentración de proteínas

cuando *P. graminis* y *P. triticina* fueron controladas con fungicidas, indicando que el patógeno tendió a incrementarla. Por su parte, Rees & Syme (1981) encontraron que la concentración de N en el grano fue reducida significativamente cuando se controló *P. graminis* en dos cultivares altamente susceptibles, pero que la concentración de proteínas se incrementó en un cultivar moderadamente susceptible. Por otro lado, cuando se trata de patógenos necrotróficos como *Py. tritici-repentis*, la información sobre su efecto en el CPG es escasa (Rees *et al.* 1982) y no es posible asimilarla exactamente con la información sobre *M. graminicola*, que presenta resultados contrastantes dada su condición de hemibiótrofo. En este sentido, autores como Gooding *et al.* (1994), Clare *et al.* (1993), Ruske *et al.* (2001), Ishikawa *et al.* (2012), Blandino & Reyneri (2009) y Castro (2016) observaron que la mancha de la hoja incrementó el CPG o no tuvo efectos. Contrariamente, autores como Morris *et al.* (1989), Hedke & Verret (1999) y Arabi *et al.* (2007) hallaron disminuciones del contenido proteico en presencia de la enfermedad. Miranda *et al.* (2015) evaluando el efecto de alta y baja incidencia de *Magnaporthe oryzae* Couch [(anamorfo *Pyricularia oryzae*) Cavara patotipo *Triticum*], otro patógeno hemibiotrófico agente causal del brusone o tizón del trigo, no observaron efectos de la enfermedad sobre el CPG.

En general el impacto negativo de las enfermedades foliares se ha enfocado en forma directa como un efecto sobre el rendimiento, los componentes numéricos que lo conforman y CPG, haciéndose poco hincapié en su impacto sobre variables reológicas de calidad panadera. Las propiedades reológicas de las masas han recibido mucha atención durante los últimos años y son consideradas de gran importancia en la determinación de la calidad panadera de las harinas de trigo (Ktenioudaki *et al.* 2010). El sector molinero considera que el *W* y la relación *P/L* de la harina son las variables que más inciden en la calidad panadera. El sector industrial incluye además el *E*, variable que se considera más ligado a los procesos industriales que a la calidad panadera (García *et al.* 2001). En el presente trabajo, el aumento en la concentración de inóculo de *Py. tritici-repentis* incrementó de manera significativa el contenido de gluten húmedo, volumen de pan y las variables reológicas de *P*, *L*, *W*, *A* y *D*; en tanto que inoculaciones con *P. triticina* ocasionaron el efecto inverso; probablemente explicados por el efecto de ambos patógenos sobre el CPG. En este sentido, en cultivos afectados por mancha de la hoja, Mc Kendry *et al.* (1995) observaron que la calidad se vio significativamente reducida en todos los cultivares ensayados con el incremento de la severidad, aunque la presión de la enfermedad tuvo un mayor impacto en la calidad molinera que sobre la calidad panadera. Recientemente, Castro (2016), utilizando cultivares argentinos, observó disminuciones en el parámetro *P* y la relación *P/L* e incrementos del *L*, el *W* y el volumen de pan explicados por un mayor CPG ante incrementos de la presión de inóculo de *M. graminicola*. Por otro lado, Miranda *et al.* (2015) verificaron incrementos del parámetro *L* y disminuciones del *A* ante incrementos de la incidencia de *M. oryzae*, además de cambios en el aroma y sabor de pan a pesar de no haber modificado el volumen específico del mismo ni el CPG.

En el presente estudio y en concordancia con Castro (2016), las diferencias observadas en los parámetros de calidad panadera a través de todos los cultivares utilizados fueron acordes al grupo de calidad al que pertenecen. En general, la magnitud del efecto del genotipo y del

ambiente sobre la mayoría de los parámetros de calidad difiere y a pesar de los numerosos estudios no existe un consenso general sobre cuál de los dos es más influyente (Vázquez *et al.* 2012). Algunos estudios concluyen que el factor genético es el más importante (Souza 2004; Dencic *et al.* 2010) en tanto que otros indican que el ambiente es el que prevalece (Finlay *et al.* 2007; Johansson *et al.* 2003; Peña *et al.* 2007).

Algunos cultivares, frente al mismo nivel de severidad de ataque de algún patógeno presentan variabilidad en la disminución del rendimiento atribuidos a características intrínsecas de los cultivares que determinan la presencia de algún mecanismo de tolerancia. En el presente trabajo, se observó que los cultivares BioINTA 3004 y Klein Guerrero fueron tolerantes a mancha amarilla y roya de la hoja en los dos años consecutivos, en tanto que los demás cultivares variaron su comportamiento en función de la enfermedad considerada. En este sentido, los cultivares Sursem LE 2330, Baguette 17 y ACA 303 también se comportaron como tolerantes frente a mancha amarilla pero no así frente a roya de la hoja. Por otro lado, los cultivares ACA 315, Klein Yará y Baguette 11 fueron también los más tolerantes a roya de la hoja, aunque no se comportaron como tales frente a mancha amarilla. Finalmente, los cultivares Buck SY100 y Baguette 18 se comportaron como sensibles (no tolerantes) frente a ambas enfermedades.

Con respecto a la cuantificación de la tolerancia, en el presente trabajo y en concordancia con Parker *et al.* (2004), Foulkes *et al.* (2006), Castro (2016) y Castro & Simón (2016), la DAFV demostró ser más explicativa que el ABCPE. Dichos autores sólo pudieron establecer diferencias de tolerancia entre cultivares cuando la regresión lineal entre la DAFV y el rendimiento fue analizada. Coincidentemente, Bryson *et al.* (1997) no encontraron diferencias en tolerancia usando mediciones de ABCPE. Esto se debería a que la DAFV está más estrechamente correlaciona con la pérdida de rendimiento que la estimación del porcentaje de severidad, probablemente por tener en cuenta el área funcional de tejido sano (Byrson *et al.* 1995).

Algunos autores (Parker *et al.* 2004; Bingham *et al.* 2009, Newton 2016) sugieren que la tolerancia a enfermedades en trigo estaría asociada a cultivares con menor potencial de rendimiento en ausencia de la enfermedad dada por una mayor capacidad de compensación comparado con otros de mayor potencial de rinde. En el presente trabajo, se observó una asociación significativa negativa entre el potencial de rendimiento del cultivar y los niveles de tolerancia de los mismos, tanto para mancha amarilla como para roya de la hoja, indicando la mayor sensibilidad en los cultivares de mayor potencial de rinde. Por su parte, los cultivares de grupo de calidad 1 no necesariamente presentaron menores potenciales de rendimiento y viceversa de manera que, bajo las condiciones de este estudio y bajo una disponibilidad de N constante, no se observó la asociación inversa entre rendimiento y calidad señalada por Abbate (2016). En este sentido, Castro (2016) y Castro & Simón (2016) hallaron que el cultivar Baguette 10, que es un genotipo con germoplasma francés de grupo de calidad 3 fue tolerante a mancha de la hoja. Sin embargo, estos trabajos no detallan si los grupos de calidad 3 se asociaron a mayores rendimientos potenciales. Finalmente, y coincidiendo con los resultados observados en este estudio, Castro (2016) documentó que los cultivares de grupo de calidad 1 y 2 tendieron a incrementar o mantener el CPG más que aquellos pertenecientes al grupo

de calidad 3. En concordancia, autores como Dimmock & Gooding (2002b) suponen que cultivares específicamente mejorados para calidad panadera son capaces de mantener la acumulación de N en el grano con altos rendimientos mucho más eficientemente que cultivares mejorados para galletita (de menor aptitud panadera). Esto se debería a la mayor eficiencia para absorber y utilizar el N para generar rendimiento y calidad en los cultivares de buena aptitud panadera cuyo mejoramiento ha sido efectuado priorizando características relacionadas con la calidad.



CAPÍTULO 3

Efecto de la fertilización nitrogenada y fungicidas sobre el área foliar verde, el rendimiento y la calidad panadera de cultivares de trigo de diferente grupo de calidad afectados por mancha amarilla y roya de la hoja



3.1. Introducción

Recientemente, se ha estimado que en los últimos 15 años la tasa de incremento promedio del rendimiento de trigo en Argentina (52 kg/ha/año) supera en un 49% a la tasa de incremento a nivel mundial (35 kg/ha/año) (Abbate 2015). Dicha primera tasa, si bien varía en función de la región triguera considerada, se han debido fundamentalmente al progreso genético de los cultivares sumado a la optimización de las prácticas de manejo del cultivo (Ajjigboye *et al.* 2014; Abeledo *et al.* 2016). Esto ha implicado que, en las últimas décadas y particularmente considerando los últimos 10 años, en Argentina las variables de calidad decrecieran (Renzi *et al.* 2007; Abbate 2015; Abbate 2016).

3.1.1. Manejo de la fertilización nitrogenada de trigo y su impacto en el rendimiento y el contenido de proteínas en grano

El contenido de proteínas del grano de trigo, es uno de los principales determinantes de calidad del cultivo y es definido por factores genéticos, ambientales y edáficos, sumado a prácticas de manejo, principalmente la fertilización nitrogenada (temáticas abordadas en el Capítulo 1 de la presente tesis). En este sentido, autores como Darwich & Darwich (2004) y Cuniberti & Mir (2016) indican que el cultivo de trigo necesita acumular 30-33 kg de nitrógeno (N) en biomasa aérea por tonelada de grano a producir. De esto deriva que, en un ensayo comparativo de rendimiento, a una disponibilidad de N constante en el suelo, exista una asociación negativa entre el rendimiento y el contenido de proteínas en grano (Abbate 2016). Sin embargo, esto no implica que no se puedan compatibilizar elevados rendimientos con adecuados niveles de proteínas, sino que simplemente, el aumento de productividad se asocia directamente con una mayor demanda del nutriente. Ante la aplicación de fertilizante nitrogenado, con bajas disponibilidades de N en el suelo (zona 1, Fig. 3.1), el rendimiento se incrementa asintóticamente, fundamentalmente porque todo el N absorbido es utilizado para la formación de destinos (número de granos por espiga, NGE) y acumulación de carbohidratos, que luego se traducirán en mayores rendimientos. Sin embargo, en esta zona, la cantidad de N disponible para la constitución de proteínas se diluye debido a la formación de un gran número de destinos (NGE), lo que resulta en la frecuente y conocida asociación inversa entre el rendimiento y el contenido de proteínas en grano. Con disponibilidades intermedias del nutriente (zona 2, Fig. 3.1), la respuesta del rendimiento y el contenido de proteínas se modifica. Luego de una cierta cantidad de N absorbido y cubierta la demanda del nutriente para la formación de NGE y acumulación de almidón, el N excedente se destina para la formación y acumulación de proteínas. En estos niveles de disponibilidad de N, la tasa de incremento del rendimiento disminuye con respecto a una menor disponibilidad del nutriente, sin embargo, aún se mantiene positiva. Por el contrario, la tasa de acumulación de proteínas es más elevada. Finalmente, ante una elevada disponibilidad de N en el suelo (zona 3, Fig. 3.1), el rendimiento se estabiliza, pero el contenido de proteínas todavía se incrementa, aunque a tasas cada vez menores.

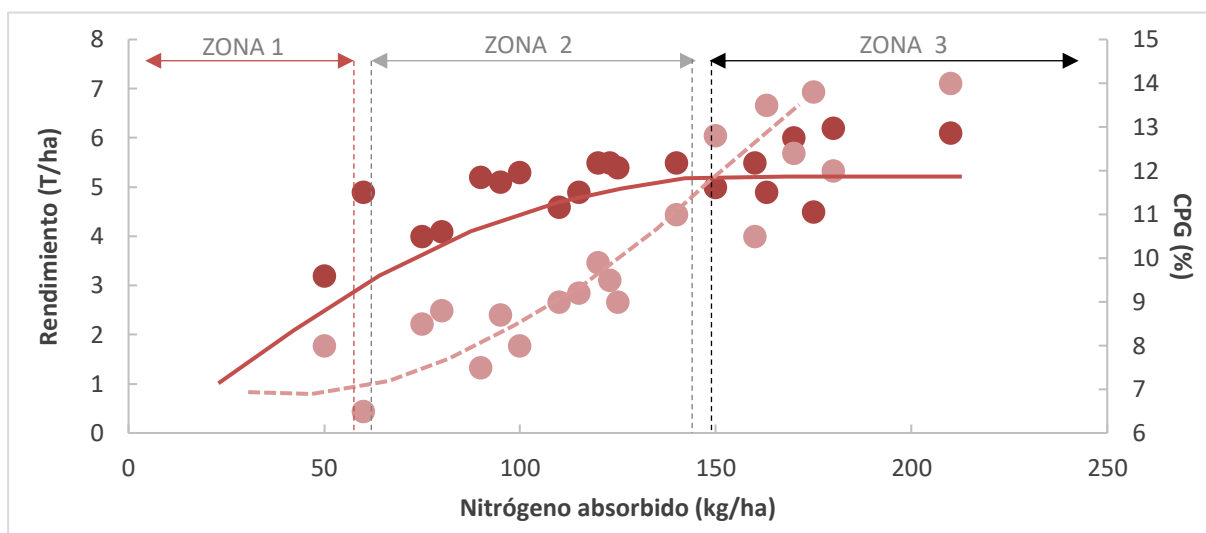


Figura 3.1. Respuesta del rendimiento (●) y contenido de proteínas en grano (CPG ●) del cultivo de trigo al nitrógeno absorbido en función de la disponibilidad del nutriente en el suelo (Adaptado de Abbate 2016)

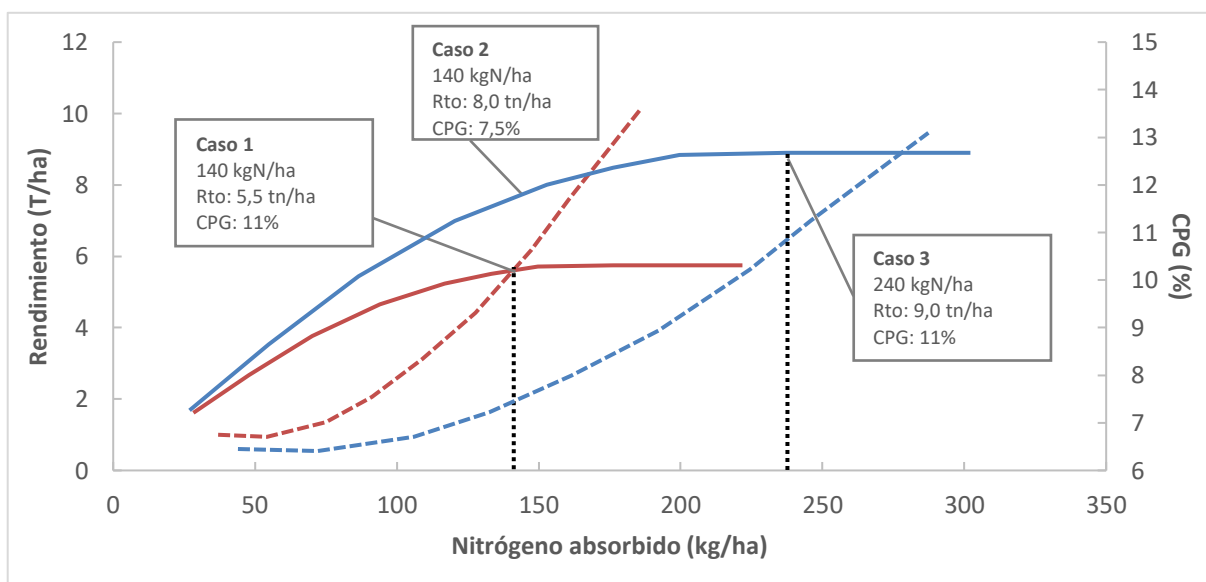


Figura 3.2. Respuesta del rendimiento (línea continua) y contenido de proteínas en grano (línea discontinua) del cultivo de trigo al nitrógeno absorbido en función de la disponibilidad del nutriente en el suelo en genotipos de menor (●) y mayor (●) potencial de rendimiento (Rto: rendimiento; CPG: contenido de proteínas en grano) (Adaptado de Abbate 2016)

3.1.2. Impacto de la fertilización nitrogenada sobre la expresión de enfermedades foliares de trigo

La fertilización nitrogenada puede afectar la expresión de enfermedades foliares (Simón *et al.* 2002, 2003) y la efectividad de la aplicación de fungicidas (Simón *et al.* 2002, 2003; Varga *et al.* 2005). En este sentido, esta práctica de manejo puede tener efectos positivos, negativos o neutros en la severidad de enfermedades dependiendo del ambiente, cultivar y tipo de patógeno. La fertilización nitrogenada en general incrementa la severidad de enfermedades

ocasionadas por organismos biotróficos, dado que el nutriente incrementa la biomasa del cultivo generando canopeos densos (pero con tejidos foliares más blandos) y con mayor humedad relativa (Lemmens *et al.* 2004). Por el contrario, la aplicación de N en general disminuye la severidad de enfermedades ocasionadas por organismos necrotróficos, dado que el nutriente vigoriza la planta disminuyendo la actividad del patógeno que colonizan mejor tejidos débiles y senescentes (Snoeiijers *et al.* 2000; Annone 2001a). En un mismo sentido, otras evidencias de la literatura verificaron que el incremento de N retrasó el desarrollo de mancha amarilla (Krupinsky *et al.* 2007; Carignano *et al.* 2008; Simón *et al.* 2011; Gerard *et al.* 2015). Adicionalmente, Carretero *et al.* (2009) observó que en los ensayos con infecciones naturales donde predominaron patógenos necrotróficos, la severidad fue mayor en los tratamientos no fertilizados. Por otro lado, Bockus & Davis (1993) hallaron que las aplicaciones de N no afectaron directamente el desarrollo de la enfermedad, sino que redujeron el impacto de la misma a través de un retardo en la senescencia de la hoja bandera. Trabajos realizados por Ansar *et al.* (2010), Fleitas (2011), Gerard *et al.* (2015) y Castro (2016) documentaron que la mancha de la hoja, se incrementó con la fertilización nitrogenada hasta una dosis óptima por encima de la cual decreció. Respecto a patógenos biotróficos como *P. triticina*, la fertilización nitrogenada generalmente incrementa la severidad (Daniel & Parlevliet 1995; Mascagni *et al.* 1997; Gerard *et al.* 2015; Germán *et al.* 2016). Esto concuerda con lo observado por Carretero *et al.* (2009) en aquellos ambientes donde se realizaron inoculaciones artificiales con el patógeno.

Tal como se ha señalado en el Capítulo 1, los fungicidas son una importante herramienta de control de enfermedades foliares para la producción de trigos invernales en áreas templadas como Argentina, debido a que estas regiones combinan cultivares de elevado potencial de rendimiento con altas presiones de infección, ambas derivadas de temperaturas moderadas y adecuados niveles de humedad para el progreso de la enfermedad (Gooding 2006). Pero, además, porque los cultivares de trigo argentino carecen de un adecuado nivel de resistencia genética, por lo que la protección química es un método usual de control.

La principal función de los fungicidas foliares es controlar hongos patógenos y reducir el desarrollo de síntomas de la enfermedad en la planta. En este sentido, se ha demostrado que los fungicidas foliares son capaces de prevenir las pérdidas de rendimiento en presencia de enfermedades mediante el mantenimiento del área foliar verde de la hoja bandera en post-antesis (Bryson *et al.* 1997). Esto le permite al cultivo incrementar la radiación interceptada por tejido verde que se traduce en un aumento de producción de asimilados y la partición hacia la espiga durante el llenado del grano (Gooding *et al.* 2000; Dimmock & Gooding 2002a; Ruske *et al.* 2003; Robert *et al.* 2004). Sin embargo, dado que el progreso genético llevado a cabo en las últimas décadas ha sido en base a incrementar el NGE (número de destinos), existe un riesgo en la estabilidad del rendimiento si no se promueven también los aumentos en la fuente fotosintética (Abeledo *et al.* 2016).

3.1.3. Manejo químico de enfermedades foliares de trigo: características de los principios activos de fungicidas más utilizados

La tecnología de fungicidas utilizados en la producción de cereales y granos a nivel mundial dominaron el mercado de fungicidas en 2015 y se proyecta que sea el segmento de mayor tasa de crecimiento durante el periodo 2016-2022, con un importante aumento del uso de carboxamidas (Petoyan 2016) (Fig. 3.3).

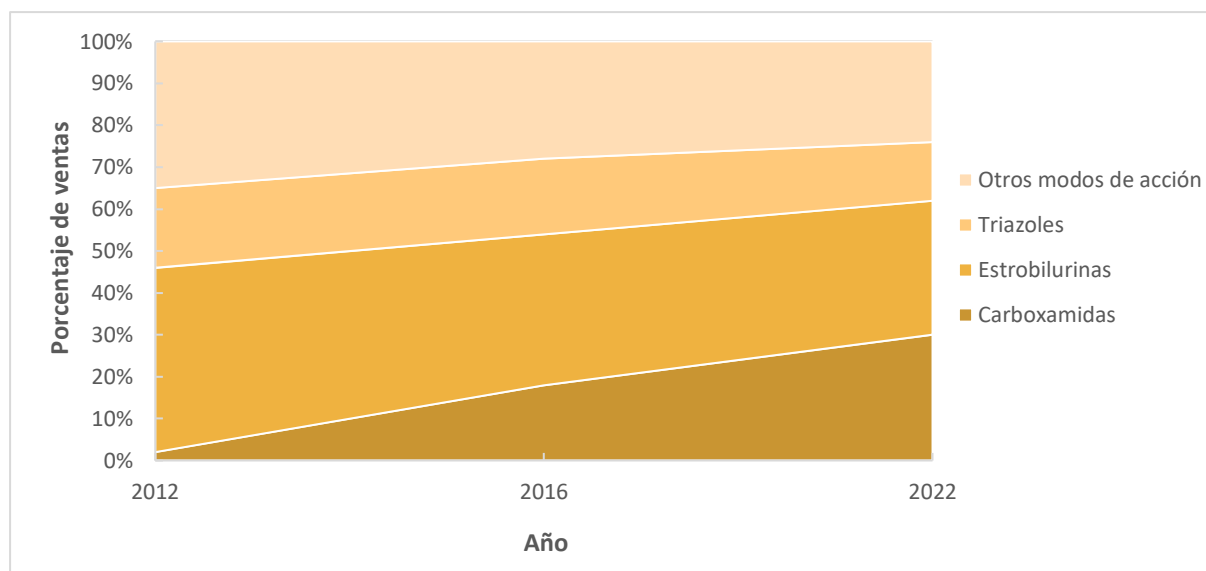


Figura 3.3. Evolución de ventas de las diferentes tecnologías (principios activos) utilizadas en la protección de cultivos y futuras proyecciones considerando el periodo 2012-2022 a nivel mundial (no se incluyen biofungicidas ni terapéuticos de semilla) (Adaptado de Petoyan 2016)

En Argentina los triazoles, las estrobilurinas, las carboxamidas y sus mezclas son los principios activos más utilizados para controlar enfermedades foliares en trigo y en otros cereales de invierno de importancia como cebada. Particularmente las carboxamidas han venido incrementando su uso a partir del 2012. Sin embargo y como se detallará más adelante, las estrobilurinas y las carboxamidas poseen mecanismos de acción similares (actúan inhibiendo los complejos enzimáticos de la membrana mitocondrial que participan del ciclo de Krebs y el transporte de electrones generando energía), por lo que es importante mezclar o alternar estos dos con un tercero con un sitio de acción diferente como por ejemplo los triazoles, y así disminuir el riesgo de generar resistencia (Kiehr *et al.* 2016). Mediante la triple mezcla de triazol + estrobilurina + carboxamida no solo se logra aumentar el espectro de acción sino también el periodo de protección, dado que se combinan el efecto preventivo de los dos últimos más el curativo del primero.

Por un lado, los triazoles son fungicidas que se caracterizan por poseer un principio activo inhibidor de la biosíntesis del ergosterol (internacionalmente conocidos como **DIMs**, del inglés Sterol Dimethylation Inhibitors) y actúan afectando la permeabilidad de la membrana lipídica del hongo. Los triazoles son fungicidas sistémicos, curativos y erradicantes que penetran en tejidos jóvenes y se mueven por xilema en forma acrópeta (Arregui & Puricelli 2013). Sin

embargo, no son tan efectivos para inhibir la germinación de esporas ya que este proceso depende fundamentalmente de sustancias de reservas y para lo cual no es necesario la síntesis del lípido (Reis & Carmona 2013). Recientemente, se han documentado en Europa casos de resistencia de patógenos foliares a estas moléculas tanto en trigo como en cebada (Campbell & Crous 2002; Hawkins *et al.* 2011; Cooke *et al.* 2014).

Por otro lado, las estrobilurinas son derivados sintéticos de compuestos que se producen naturalmente (*Strobilurus tenacellus* Pers.) con una actividad antifúngica de amplio espectro por ser un inhibidor de la respiración mitocondrial (afectan el transporte de electrones) a nivel del complejo III (complejo citocromo-bc1). Se las conoce internacionalmente como **QoIs** (del inglés Quinone Outside Inhibitors) dado que su sitio de acción específico es el anillo de quinona del transportador de electrones denominado coenzima Q (Affourtit *et al.* 2000). Este principio activo posee un sitio de acción específico, de manera que posee un elevado riesgo de generar resistencia en el patógeno cuando se lo utiliza a bajas dosis o en forma individual. En este sentido, se ha documentado resistencia cruzada entre estrobilurinas, por lo que es esencial realizar un manejo químico adecuado para evitar resistencia (Semar *et al.* 2007; Marzani *et al.* 2013; Fountaine *et al.* 2014). En general las esporas del hongo son más sensibles a las estrobilurinas que el propio micelio y es por ello que se las considera como preventivas, dado que actúan inhibiendo la germinación de esporas (Kiehr *et al.* 2016). Además de su actividad antifúngica, las estrobilurinas poseen la propiedad de inhibir la síntesis de etileno en la planta retrasando la senescencia e incrementando el rendimiento además de aumentar la asimilación de N en cereales de invierno (Arregui & Puricelli 2013). La mayoría de las estrobilurinas son lipofílicas con una fuerte afinidad por la cutícula cerosa. El principio activo se mueve ampliamente por la hoja y dependiendo del tipo de estrobilurina puede llegar al mesófilo y al envés de la hoja (movimiento mesostémico). En consecuencia, al cabo de unos días, el fungicida puede encontrarse en ambas superficies de la hoja, aún si sólo una es tratada (Bartlett *et al.* 2002; Arregui & Puricelli 2013); lo cual es especialmente importante en canopeos densos (como el cultivo de trigo con elevada disponibilidad de N en estados avanzados).

En los últimos años se ha incorporado la utilización de carboxamidas las cuales inhiben la fosforilación oxidativa a nivel de la succinato UQ dehidrogenasa (complejo II) lo que impide la respiración mitocondrial (Adock & Tasheva 2012) por lo que se las conoce internacionalmente como **SDHIs** (del inglés Succinate Dehydrogenase Inhibitors). Las carboxamidas fueron los primeros fungicidas sistémicos descubiertos en 1964 y un aspecto a tener en cuenta es que posee 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). 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). Sin embargo, al igual que las estrobilurinas, este principio activo es clasificado como de acción unisitio por lo que posee un elevado riesgo de generar resistencia y es por ello que la resistencia de algunos hongos ha sido señalada tanto en trigo como en cebada (Mueller & Bradley 2008, Stammler *et al.* 2014; Rehfus *et al.* 2016).

La bibliografía disponible (Dimmock & Gooding 2002a) ha documentado que la inclusión de estrobilurinas en los fungicidas para el control de enfermedades foliares en trigo se asoció a aumentos en el rendimiento en grano dado por un mayor peso de mil granos relacionados a una prolongación del periodo verde de la hoja bandera. En este sentido, Bayles (1999) verificó que las estrobilurinas ocasionaron incrementos sustanciales del rendimiento, en el orden del 10 al 20%, por encima de fungicidas tradicionales. Numerosos trabajos mencionan que las estrobilurinas generan efectos sobre el vegetal que exceden a las propiedades antifúngicas del producto (Grossmann & Retzlaff 1997; Grossmann *et al.* 1999; Bayles & Hilton 2000). Por otro lado, se ha mencionado que la carboxamida Fluxapyroxad proporciona un excelente control de los síntomas visibles de las enfermedades foliares de trigo, considerada como muy superior a otros fungicidas actuales (Waterhouse & Semar 2012). Estudios recientes han demostrado que, de forma similar a las estrobilurinas, el aumento del rendimiento en un cultivo tratado con Fluxapyroxad supera al que puede explicarse simplemente a través de un buen control enfermedades foliares (Smith *et al.* 2013). La evidencia obtenida por Smith *et al.* (2013), a través de múltiples ensayos, sugiere que además de controlar los síntomas visibles de enfermedad foliares de trigo, esta carboxamida es capaz de ejercer efectos positivos sobre la fisiología de la planta. Estos mismos autores indican que dichos efectos positivos involucran (i) un aumento de la duración del tejido verde, (ii) un retraso en la senescencia, (iii) una disminución del daño celular y de la conductancia estomática, (iv) un incremento en la tasa de fotosíntesis y (v) un aumento de la eficiencia del uso del agua. Algo similar fue observado por Berdugo *et al.* (2012) quien observó bajo condiciones controladas, que un inhibidor de la SDH (Bixafem) demoró la senescencia de espigas y hojas durante el llenado de grano, lo que resultó en mayores rendimientos.

El concepto de manejo integrado de enfermedades no solo involucra diferentes estrategias para evitar la infección de un patógeno y el desarrollo de la enfermedad, sino que además requiere entender el potencial destructivo de los agentes fitopatógenos (Fry 1982). En este sentido, ante la presencia de agentes fitopatógenos con elevado potencial de daño, cuya infección no pudo ser atenuada por la resistencia genética, escape o tolerancia, no se puede esperar al periodo crítico, sino que se deben hacer aplicaciones de fungicidas mucho antes para no llegar a este punto con una elevada tasa de infección.

La existencia de un momento de aplicación correcto se debe a que los fungicidas fueron desarrollados para una determinada concentración de inóculo y nivel de enfermedad, por encima del cual pierden eficacia y poder residual, ambos dependientes de la energía química entendida como el esfuerzo o trabajo “químico” del fungicida para lograr un control eficaz, la cual disminuye a medida que progresa la enfermedad. De manera que, aplicaciones con niveles de enfermedad muy elevados, requerirá incrementos en la dosis o reaplicaciones más frecuentes (Carmona 2016). Se deben respetar las dosis recomendadas por marbete ya que definir la misma es una labor compleja donde se debe asegurar una alta eficiencia de control, evitar la generación de resistencia en el patógeno, ser de bajo impacto ambiental y asegurar un retorno económico de la aplicación (Oliver & Hewitt 2014). De esta manera, la utilización de dosis recomendadas, aplicada de manera correcta y con el nivel de enfermedad adecuado,

son las que garantizan el máximo control posible a campo y minimizan la probabilidad de generar resistencia al fungicida o mezcla comercial formulada.

Por otro lado, la variabilidad en la eficacia de control de diferentes fungicidas es natural y puede variar entre el 60 y el 90%, encontrándose influenciada por varios factores, entre ellos el principio activo, la dosis y momento de aplicación, el volumen de agua, el tipo de patógeno controlado, la presión de inóculo presente y las condiciones ambientales (De Wolf 2012). En general, los triazoles poseen una actividad residual más corta (7 a 14 días) (Mueller & Bradley 2008; Arregui & Puricelli 2013), mientras que las estrobilurinas poseen una residualidad superior, aproximadamente entre 14 a 21 días (Mueller & Bradley 2008). Esto se relaciona con el hecho de que los triazoles, al ser fungicidas curativos y menos específicos, disminuyen de manera más rápida su energía química en comparación con las estrobilurinas o carboxamidas. Las condiciones climáticas también afectan la residualidad de los fungicidas. En este sentido, Pierce & Mills (2010) mencionaron que lluvias frecuentes pueden disminuir el efecto residual de aplicaciones tempranas de fungicidas, haciéndolos menos efectivos ante el desarrollo de enfermedades foliares de mitad y fin de ciclo. La fertilización nitrogenada también podría afectar la efectividad de la aplicación de fungicidas dado que genera canopeos densos (por mayores índices de área foliar) diluyendo la cantidad de fungicida aplicado por m² de hoja (Balardin *et al.* 2010) y evitando el contacto del producto con estratos foliares inferiores. Pero, además, por favorecer el desarrollo de enfermedades foliares ocasionadas por patógenos biotróficos, temática abordada en párrafos anteriores.

Organismos necrotróficos como *Py. tritici-repentis*, generan síntomas que disminuyen el tejido verde interrumpiendo el suministro y acumulación de carbohidratos y concentrando el contenido proteínas en grano (CPG), por lo que el control por medio de fungicidas lo reduciría. Esto ocasiona que cuando se controlan este tipo de patógenos, el CPG disminuye (Dimmock & Gooding 2002b). Autores como Mc Kendry *et al.* (1995) y más recientemente Liaudat (2001) y Castro (2016) en Argentina, observaron incrementos en el CPG con aumentos de la severidad de mancha de la hoja y disminuciones cuando la enfermedad fue controlada por medio de fungicidas. Sin embargo, no se dispone de información respecto al efecto de la mancha amarilla sobre el contenido de proteínas en grano, aunque se esperaría que el efecto fuera más contundente que la mancha de la hoja ya que en tanto el primero es un patógeno hemibiotrófico, el segundo es un necrotrófico.

Contrariamente, organismos biotróficos como *P. triticina*, afectan más la removilización de N hacia los granos en desarrollo. Es por esto que la bibliografía disponible frecuentemente reporta que cuando se controlan estos organismos, el CPG aumenta. Sin embargo, no sería irracional observar que este efecto no fuera tan contundente ya que, por otro lado, la enfermedad también disminuye el área fotosintéticamente activa, pero, además, porque el control de la misma incrementa el área verde lo cual también favorece absorción y removilización del nutriente.

Se han encontrado interacciones entre el cultivar y el fungicida sobre el CPG y las propiedades reológicas de la masa. Investigaciones realizadas por Cuniberti *et al.* (2004) y González Montaner & Di Nápoli (2005) señalan que cuando se emplean fungicidas en torno a

espigazón para el control de la mancha de la hoja, aparecen efectos negativos sobre las variables de calidad, particularmente sobre la fuerza del gluten (*W*) y la estabilidad farinográfica (*D*). Asimismo, diferencias de rendimiento entre genotipos también conducen a variaciones inversas en el CPG. Existen cultivares que tienen un comportamiento más estable mientras que otros presentan un comportamiento más variable, en función de la eficiencia con que absorban y utilicen el N para generar rendimiento (Simón, 2010).

Por otra parte, la interacción entre el N y las enfermedades foliares sobre la calidad de trigo es compleja y ha sido poco investigada. En este sentido, Dimmock & Gooding (2002b), han señalado que las disminuciones del CPG debidos al control de organismos hemibiotróficos y necrotrofos pueden ser atenuadas a través de la fertilización nitrogenada, ya que elevados niveles de N o aplicaciones tardías del nutriente incrementa la acumulación de proteínas en grano (Ayoub *et al.* 1995; Godfrey *et al.* 2010). Asimismo, en Argentina, Castro (2016) documentó que las reducciones del CPG debidas al incremento de la duración del área foliar verde del cultivo por aplicaciones de fungicidas para el control de mancha de la hoja fueron menores en los tratamientos fertilizados.

Es posible que, variaciones en el CPG debido al uso de fungicidas para el control de patógenos biotróficos y necrotrofos, conlleven a variaciones en las propiedades reológicas de la masa. La mayoría de los trabajos que documentan el efecto de fungicidas sobre la calidad de trigo pan se focalizan en el efecto sobre el CPG. Sin embargo, este parámetro por sí mismo, no es suficiente para predecir la calidad de la harina y las propiedades viscoelásticas de las masas (Reese *et al.* 2007). Existen además parámetros reológicos del alveograma y farinograma que determinan las propiedades físicas de la masa y que influyen muy fuertemente en la calidad panadera de la harina de trigo (Koppel & Ingver 2010). En la actualidad, los estudios sobre el efecto de distintos tipos fungicidas, niveles de N y cultivares de diferente grupo de calidad sobre la calidad panadera de trigo pan ante inoculaciones separadas de *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* son inexistentes o no comprenden todas las variables de calidad panadera o en otros casos, la cuantificación del nivel de enfermedad se ha realizado sólo a través de mediciones de severidad y área bajo la curva del progreso de la enfermedad (Cox *et al.* 1989; Herrman *et al.* 1996; Simón *et al.* 2002; Garrido-Lestache *et al.* 2002; Ruske *et al.* 2003, 2004; Arabi *et al.* 2007; Mc Kendry *et al.* 2007; Blandino & Reyneri 2009; Godfrey *et al.* 2010; Rodrigo *et al.* 2015). La mayoría de estas evidencias de la literatura no tienen en cuenta la dinámica del índice del área foliar verde durante el ciclo del cultivo, cuestión que, como ya ha sido señalado en el Capítulo 1 y 2 de la presente tesis, es una mejor forma de cuantificar enfermedad ya que toma en cuenta aspectos morfofisiológicos del canopeo del cultivo y el genotipo. Frente a éstas incógnitas, se plantearon los **objetivos específicos** IV y V, para contrastar las **hipótesis** de la 7 a la 9 oportunamente detalladas en el Capítulo 1 de la presente tesis.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Datos climáticos y de suelo

Los ensayos se llevaron a cabo durante 2014 y 2015 en la Estación Experimental Julio Hirschhorn, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina (34° 52' LS; 57° 58' LO). Durante el ciclo del cultivo se registró diariamente la temperatura media, precipitaciones, humedad relativa y radiación incidente en la estación meteorológica situada a 200 m de los ensayos. El suelo fue un Argiudol típico (Serie Los Hornos) con los siguientes resultados de análisis (Tabla 3.1).

Tabla 2.1. Resultados del análisis de suelo en el sitio de los ensayos a dos profundidades en 2014

	Profundidad 0-20 cm	Profundidad 20-40 cm
pH (1:2,5)	5,80	6,00
Carbono [%]	2,11	
Materia Orgánica [%]	3,59	
Nitrógeno total [%]	0,200	
Nitratos [ppm]	10,4	5,06
Fósforo [ppm]	28,3	

Tabla 3.2. Breve descripción de los cultivares de diferente grupo de calidad (GC) utilizados en el ensayo (información brindada por los criaderos)

CULTIVAR	GC	DESCRIPCIÓN
ACA 315	1	Ciclo largo a intermedio de porte vegetativo semi-erecto. MR a roya de la hoja. MS a mancha amarilla y septoriosis. MR a Fusarium
Nidera Baguette 11	2	Ciclo intermedio a largo. De porte vegetativo semi-erecto. MS a roya de la hoja, MR a septoriosis, MS-MR a mancha amarilla y Fusarium
ACA 303	3	Ciclo intermedio a largo de porte vegetativo semi-erecto. MR a roya de la hoja. MS a mancha amarilla y septoriosis. MR a Fusarium.

MR: moderadamente resistente; MS: moderadamente susceptible

3.2.2. Diseño del ensayo a campo

Se utilizó un diseño experimental en parcela principal dividida con tres repeticiones y testigos apareados. Las parcelas principales correspondieron a las inoculaciones con cada uno de los dos patógenos: 1- *Py. tritici-repentis* y 2- *P. triticina*. La sub-parcela fueron los tratamientos de fungicidas: 1- sin fungicida (SF); 2- con fungicida sistémico Opera® que es una mezcla doble de triazol (epoxiconazole, 50 g/ha) + estrobilurina (piraclostrobin, 133 g/ha) en una dosis total de 1 l/ha (TE); 3- con fungicida sistémico Orquesta® Ultra que es una mezcla triple de triazol (epoxiconazole, 60 g/ha) + estrobilurina (piraclostrobin, 97,2 g/ha) + carboxamida (fluxapyroxad 60 g/ha) en una dosis total de 1,2 l/ha (TEC). La sub-sub-parcela correspondió al tratamiento de fertilización nitrogenada en tres dosis: 0, 70 y 140 kg N/ha, aplicados bajo la formulación de urea granulada (46-0-0) en dos momentos: a la siembra y a fines de macollaje (EC24) (Zadoks *et al.* 1974). La fertilización fosforada se realizó a la siembra mediante fosfato tricálcico granulada (0-46-0) a razón de 50 kg/ha. En la sub-sub-parcela se

sembraron tres cultivares de trigo de ciclo intermedio a largo, de buen comportamiento en la zona y de diferente grupo de calidad panadera. Los cultivares seleccionados fueron: ACA 315, Nidera Baguette 11 y ACA 303 (Tabla 3.2).

3.2.3. Preparación del suelo, aplicación de fungicidas e inoculaciones

La preparación del suelo consistió en un esquema de labranza convencional similar al abordado en materiales y métodos del Capítulo 2 de la presente tesis. La siembra se realizó durante el mes de Junio (28 de julio en 2014 y 16 de junio en 2015) con una sembradora experimental a 20 cm entre líneas con una densidad de 250 pl/m². Las parcelas experimentales tuvieron un largo de 5,50 m y un ancho de 1,40 m, siendo la superficie de cada una 7,7 m². Entre las sub-parcelas de fungicidas se realizó la intersiembra de avena para disminuir el traspaso de inóculo entre parcelas y para evitar el “efecto bordura”. Las parcelas principales estuvieron distanciadas al menos 200 m para minimizar el riesgo de traspaso de inóculo.

Por otro lado, las parcelas sin fungicidas fueron inoculadas separadamente con una suspensión de esporas de *Py. tritici-repentis* (3×10^3 esporas/ml; Jordahl & Francl 1992; Ali & Francl 2003) y con esporas de *P. triticina* utilizando talco como vehículo sobre una bordura con una mezcla de cultivares susceptibles a la enfermedad (Nidera Baguette 21 y Nidera Baguette 30) a razón de 0,5 mg por planta (Shatya 2015). Las inoculaciones se realizaron a fines de macollaje (EC24) y en hoja bandera desplegada (EC39). La multiplicación de inóculo y metodología de inoculación fueron similares a las desarrolladas en la sección de materiales y métodos del Capítulo 2 de la presente tesis. Para *Py. tritici-repentis* se utilizó una mezcla de aislados obtenidos de diferentes regiones del país mientras que para *P. triticina* 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). Por otra parte, los fungicidas fueron aplicados en pleno macollaje (EC23) y en EC39, con una mochila de gas carbónico con pastillas de abanico plano.

3.2.4. Evaluaciones a campo

Las evaluaciones fueron similares a las desarrolladas en el Capítulo 2. Las mismas consistieron en la determinación de la severidad de cada enfermedad, mediante estimación visual, expresada como porcentaje de lesión cubierta por necrosis y clorosis de las enfermedades presentes en la hoja (predominando aquella cuyo agente causal fue inoculado). La severidad fue evaluada en siete a diez plantas tomadas al azar por cada parcela. Las evaluaciones se realizaron en los estadios EC 39 (95 días después de emergencia) y antesis (EC 60) (109 después de emergencia) con observaciones sobre todas las hojas con tejido verde. La tercera evaluación se realizó en grano pastoso (EC 82) (130 días después de emergencia) y fue realizada sobre la hoja bandera. Con las medias de severidad de las tres evaluaciones se calculó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) siguiendo la fórmula desarrollada por Shaner & Finney (1977) detallada en la sección de materiales y métodos del Capítulo 2.

Se calculó el índice de área foliar total (IAFT) expresado como m^2 de hoja por m^2 de suelo (de similar manera a la detallada en el Capítulo 2 de la presente tesis). Mediante las estimaciones de severidad se calculó el índice de área foliar verde (IAFV) y el índice de área foliar verde de la hoja bandera (IAFVHB) en las tres evaluaciones (EC39, EC60 y EC82). Con las medias IAFV y del IAFVHB de las tres evaluaciones se calculó el área bajo la curva del índice de área foliar verde [duración de área foliar verde (DAFV)] calculada de igual modo que el ABCPE, pero reemplazando los porcentajes de severidad por el IAFV para la DAFV y por el IAFVHB para la DAFVHB (Waggoner & Berger (1987)). La tasa de caída del IAFV y del IAFVHB durante el periodo EC39-EC82 se calculó como la pendiente de la regresión de los valores de IAFV o los valores de IAFVHB en cada estadio y los días desde emergencia de estas evaluaciones (IAFV/día e IAFVHB/día, respectivamente).

Se determinaron a cosecha los componentes de rendimiento: el número de espigas/ m^2 (NESP) mediante el conteo en tres fracciones de 1 m lineal en cada parcela y el NGE por trilla de 20 espigas de cada parcela que fueron utilizados para calcular el número de granos/ m^2 o número de granos totales (NGT). Por su parte, el peso de mil granos (PMG) se calculó mediante el conteo y peso de los granos obtenidos por la trilla de 20 espigas. Asimismo, se cosechó por parcela y repetición un surco de 5,5 m ($1,1 \text{ m}^2$) como estimador del rendimiento a cosecha. El contenido de N se cuantificó mediante el método del Microkjeldahl (AOAC 1970) a partir del cual se obtuvo el contenido de proteína del grano (CPG) multiplicando el valor de N por el factor 5,7 (IRAM 15852:2002).

3.2.5. Evaluaciones de calidad panadera de trigo pan

Las determinaciones de los parámetros de calidad panadera se realizaron sobre las muestras del ensayo llevado a cabo en 2014 donde se procedió de manera similar a lo indicado en la sección de materiales y métodos del Capítulo 2 de la presente tesis.

3.2.6. Análisis estadístico

El análisis de datos se realizó mediante un ANAVA para parcelas divididas mediante el programa GenStat 12th Edition (VSN, 2009). Las medias se compararon mediante el test LSD ($p=0,05$).

3.3. Resultados

3.3.1. Condiciones climáticas

Durante el año 2014 se registraron mayores precipitaciones totales durante el ciclo del cultivo (755 mm), por encima de la normal de la zona (519 mm, serie 1964-2009) y comparado con el año 2015 (543 mm) que estuvo más cercano con lo esperado (Tabla 3.3). Las precipitaciones en 2014 fueron un 56% superiores en el periodo de encañazón y antesis

(octubre) y un 89% superiores en periodo de llenado de granos (noviembre) comparados con lo normal registrado para dichos periodos y fueron mayores al año 2015. Para el año 2015, el mes más lluvioso fue agosto donde se registraron un 165% más de precipitaciones a lo esperado (59,2 mm) a diferencia del mismo periodo en 2014 donde las precipitaciones no presentaron variaciones en relación a la serie 1964-2009 (Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Temperatura media, máxima y mínima (°C); humedad relativa (%) y precipitaciones (mm) mensuales durante el periodo de cultivo en 2014 y 2015 en la localidad de Los Hornos, Buenos Aires, Argentina. Se incluyen valores climáticos de referencia (temperatura media y precipitaciones periodo 1964-2009)

	Temperatura (°C)							Humedad relativa media (%)		Precipitación (mm)			
	2014			2015			Serie 1964-2009	2014	2015	2014	2015	Serie 1964-2009	
	Media	Max	Min	Media	Max	Min							
<i>Jun</i>	10,2	15,8	5,90	11,3	16,9	5,6	10,6	82	69	59	41	54,3	
<i>Jul</i>	10,5	15,2	5,60	10,3	15,6	4,8	10,2	78	77	134	61	62,1	
<i>Ago</i>	12,7	18,4	7,30	13,0	17,6	8,3	11,5	68	81	62	157	59,2	
<i>Sep</i>	14,1	19,0	9,00	12,0	17,4	6,8	13,5	74	66	94	48	67,9	
<i>Oct</i>	18,1	23,3	12,7	13,7	18,7	8,8	16,5	71	72	162	68	96,1	
<i>Nov</i>	18,9	24,6	12,7	18,0	23,4	12,3	19,2	65	52	193	130	98,6	
<i>Dic</i>	21,5	27,3	15,3	22,1	28,0	15,8	22,3	64	69	41	39	80,6	
Media	15,1	18,2	9,8	14,3	19,6	8,9	14,8	71,7	69,4	<i>Total</i>	755	543	519

Con respecto a la temperatura, en 2014 y durante el periodo de encañazón y antesis (octubre), la media registrada fue superior a la normal y alrededor de 4°C superior respecto al mismo periodo de 2015, que se presentó más fresco a lo esperado con valores por debajo del promedio (serie 1964-2009, Tabla 3.3). Por otro lado, en los meses de septiembre (momento en que se iniciaron las inoculaciones) y noviembre de 2014 se presentaron valores comparativamente más elevados de humedad relativa en relación al mismo periodo de 2015, en tanto que para el mes de octubre y para ambos años considerados, prácticamente no existieron variaciones (Tabla 3.3).

3.3.2. Área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) y dinámica del índice de área foliar verde del cultivo (DAFV) y de la hoja bandera (DAFVHB)

El ABCPE estuvo afectado por la variación entre años, el tipo de patógeno, los tratamientos de fungicida, N y los cultivares (Tabla 3.4 y 3.5). Asimismo, existieron diferencias significativas para interacciones dobles y triples (Tabla 3.4). Considerando la interacción *Año* × *Patógeno* × *Fungicida* × *N*, los valores medios de ABCPE fueron un +40,2% superiores en 2014 (502) en relación a 2015 (358) y para el caso de mancha amarilla +11,3% superiores (453) con respecto a roya de la hoja (407) (Fig. 3.4a 3.4b). El ABCPE de mancha amarilla fue menor ante incrementos de la dosis de N comparados con roya de la hoja, donde se observó la tendencia inversa. Sin embargo, si bien la mancha amarilla disminuyó con la dosis de N independientemente del tratamiento de fungicidas, en el caso de la roya solo se incrementó con la fertilización nitrogenada cuando no se aplicaron fungicidas (Fig. 3.4). Además, los niveles de severidad de ambas enfermedades fueron menores en los tratamientos protegidos

y con una clara tendencia a disminuir ante incremento de la dosis de N, observándose con el tratamiento de TEC un -42,7% promedio de ABCPE y un -32,3% para TE en relación al testigo sin protección que presentó valores promedio de 573 (Fig. 3.5).

Tabla 3.4. Valor *p* (ANOVA) del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), la duración del área foliar verde (DAFV), la tasa de caída del índice del área foliar verde (IAFV) entre hoja bandera (EC39) y grano pastoso (EC82), la duración del área foliar verde de la hoja bandera (DAFVHB) y la tasa de caída del IAFV de la hoja bandera entre EC39 y EC82 en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* durante 2014 y 2015

Fuente de Variación	Gl	ABCPE	DAFV	Tasa de caída del IAFV	DAFVHB	Tasa de caída del IAFVHB
<i>Año (A)</i>	1	0,001	0,003	<,001	0,003	<,001
<i>Patógeno (Pa)</i>	1	0,005	0,061	0,260	<,001	0,029
<i>A × Pa</i>	1	0,043	0,948	0,818	0,900	0,287
<i>Fungicida (Fu)</i>	2	<,001	<,001	<,001	<,001	0,533
<i>A × Fu</i>	2	0,011	0,989	0,136	0,698	0,227
<i>Pa × Fu</i>	2	0,394	0,547	0,786	0,926	0,266
<i>A × Pa × Fu</i>	2	0,576	1,000	0,970	0,912	0,631
<i>Nitrógeno (N)</i>	2	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
<i>A × N</i>	2	0,019	0,555	<,001	0,883	0,007
<i>Pa × N</i>	2	<,001	<,001	0,181	<,001	0,010
<i>Fu × N</i>	4	0,002	<,001	0,015	<,001	0,010
<i>A × Pa × N</i>	2	0,932	0,875	0,739	0,407	0,008
<i>A × Fu × N</i>	4	0,074	0,986	0,937	0,228	0,564
<i>Pa × Fu × N</i>	4	<,001	0,003	0,330	<,001	<,001
<i>A × Pa × Fu × N</i>	4	0,022	0,986	0,989	0,316	0,385
<i>Cultivar (Cu)</i>	2	<,001	<,001	<,001	0,003	<,001
<i>A × Cu</i>	2	<,001	0,980	0,381	0,998	0,980
<i>Pa × Cu</i>	2	<,001	0,004	<,001	<,001	<,001
<i>Fu × Cu</i>	4	<,001	<,001	<,001	<,001	0,018
<i>N × Cu</i>	4	0,576	0,016	0,017	<,001	0,422
<i>A × Pa × Cu</i>	2	<,001	0,995	0,894	0,985	0,759
<i>A × Fu × Cu</i>	4	0,001	0,994	0,813	0,998	0,998
<i>Pa × Fu × Cu</i>	4	0,164	0,309	0,691	0,254	0,303
<i>A × N × Cu</i>	4	0,982	0,974	0,974	0,956	0,810
<i>Pa × N × Cu</i>	4	0,040	0,067	0,173	0,156	0,244
<i>Fu × N × Cu</i>	8	0,037	0,035	0,039	0,008	0,544
<i>A × Pa × Fu × Cu</i>	4	0,144	0,997	0,999	0,997	0,958
<i>A × Pa × N × Cu</i>	4	0,793	0,978	0,998	0,950	0,976
<i>A × Fu × N × Cu</i>	8	0,916	0,999	1,000	1,000	0,999
<i>Pa × Fu × N × Cu</i>	8	0,094	0,023	0,194	0,011	0,031
<i>A × Pa × Fu × N × Cu</i>	8	0,903	0,998	1,000	1,000	0,847
Total	359					

El ABCPE estuvo afectado por la interacción *Patógeno × N × Cultivar* (Tabla 3.4) donde se observó una tendencia decreciente del ABCPE de mancha amarilla en los tres cultivares con el incremento de la dosis de N, en cambio hubo una tendencia creciente para el ABCPE de roya de la hoja que solo fue significativa en el cultivar más susceptible (Baguette 11) (Fig. 3.6). Asimismo, esta interacción estuvo explicada por la respuesta de los cultivares ACA 315 y ACA 303, los cuales no mostraron diferencias significativas de ABCPE ante incrementos de las dosis de N en las parcelas enfermas con roya de la hoja (Fig. 3.6).

Tabla 3.5. Medias de factores principales del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), la duración del área foliar verde (DAFV), la tasa de caída del índice del área foliar verde (IAFV) entre hoja bandera (EC39) y grano pastoso (EC82), la duración del área foliar verde de la hoja bandera (DAFVHB) y la tasa de caída del IAFV de la hoja bandera entre EC39 y EC82 en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* durante 2014 y 2015

Fuente de Variación	ABCPE	DAFV (días)	Tasa de caída del IAFV (IAFV/día)	DAFVHB (días)	Tasa de caída del IAFVHB (IAFV/día)
Año					
2014	502	106	-0,214	31,8	-0,042
2015	358	102	-0,146	29,7	-0,027
Patógeno					
<i>Py. tritici-repentis</i>	453	107	-0,183	34,4	-0,038
<i>P. triticina</i>	407	101	-0,177	27,1	-0,031
Fungicida					
<i>Sin fungicida</i>	573	84,2	-0,155	25,7	-0,034
TE	389	110	-0,187	31,4	-0,035
TEC	329	118	-0,197	35,1	-0,035
Nitrógeno					
ON	444	78,5	-0,137	22,8	-0,027
70N	436	105	-0,181	31,4	-0,035
140N	411	129	-0,223	38,0	-0,042
Cultivar					
ACA 315 (GC1)	377	99,5	-0,164	30,2	-0,032
Baguette 11 (GC2)	544	103	-0,192	31,5	-0,039
ACA 303 (GC3)	370	109	-0,185	30,6	-0,032

TE: triazol + estrobilurina, TEC: triazol + estrobilurina + carboxamida, ON: 0 kgN/ha, 70N: 70 kgN/ha, 140N: 140 kgN/ha, GC: grupo de calidad

La DAFV estuvo influenciada por el año, los tratamientos de fungicidas, la dosis de N aplicada, el cultivar y por la interacción *Patógeno* × *Fungicida* × *N* × *Cultivar* (Tabla 3.4). Esta variable fue un +3,92% mayor en 2014 (106 días) comparado con el mismo periodo de 2015 (102 días) (Tabla 3.5). Por su parte, la interacción *Patógeno* × *Fungicida* × *N* × *Cultivar* (Tabla 3.4) estuvo explicada fundamentalmente por los menores incrementos de DAFV ante incrementos de la dosis de N en el tratamiento inoculado con *P. triticina* sin fungicida del cultivar Baguette 11 (Fig. 3.7). En este cultivar, si bien la DAFV se incrementó de manera significativa con la dosis de 140N (82,9 días) respecto a las parcelas con ON (65,8 días), no se observaron diferencias significativas entre la DAFV de los tratamientos no fertilizados y las dosis de 70N (64,7 días) (Fig. 3.7). La DAFV se incrementó en todos los tratamientos de fungicidas y para ambas enfermedades ante incrementos de la dosis de N; sin embargo, para el testigo sin proteger y enfermo con roya de la hoja, la magnitud del incremento de esta variable fue mucho menos marcada (Fig. 3.7). Por otro lado, los fungicidas incrementaron en promedio la DAFV en un 30,5% (TE) y un 40,0% (TEC), comparado al testigo sin fungicida que presentó valores medios de 84,2 días (Tabla 3.5; Fig. 3.8). Asimismo, la DAFV se incrementó de manera más acentuada con mancha amarilla ante incrementos de la dosis de N superando en promedio un +42,9% para la dosis media (70N) y en un +83,5% para la dosis más elevada (140N) respecto al testigo sin fertilizar (promedio 75,2 días) (Fig. 3.7). Por su parte, la magnitud del incremento de la DAFV con roya de la hoja fue menos acentuada involucrando valores promedio de +24,9% para la dosis media (70N) y un +46,8% para la dosis

más elevada (140N) respecto al testigo sin fertilizar que presentó valores promedio de 81,9 días (Fig. 3.7).

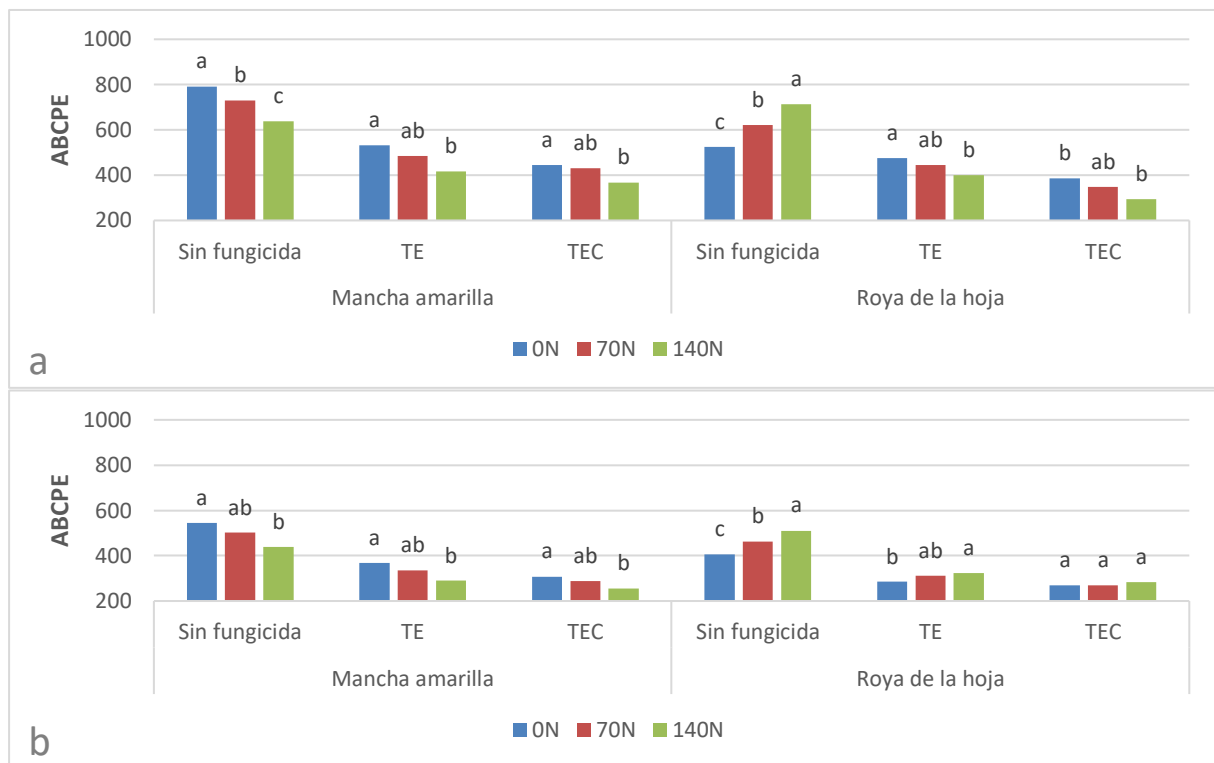


Figura 3.4. Medias del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) en la interacción Año × Patógeno × Fungicida × N en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* con tres tratamientos de fungicidas y tres dosis N en tres cultivares de trigo durante (a) 2014 y (b) 2015 (0N: 0 kgN/ha, 70N: 70 kgN/ha, 140N: 140 kgN/ha). Medias seguidas por la misma letra dentro de cada año, cada enfermedad y tratamiento de fungicida son significativamente iguales (LSD $p=0,05$)

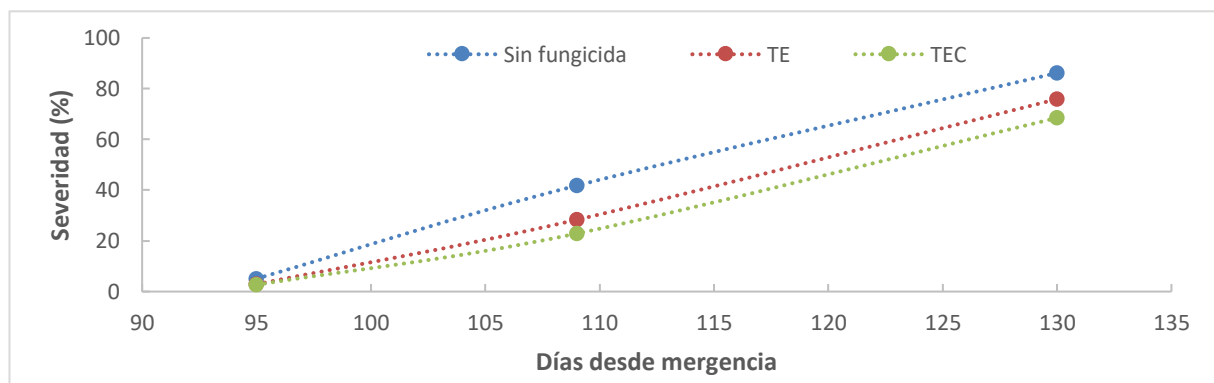


Figura 3.5. Medias de severidad en los estadios de hoja bandera (EC39), antesis (EC60) y grano pastoso (EC82) a los 95, 109 y 130 días desde emergencia (respectivamente) para los tres tratamientos de fungicidas (TE: triazol + estrobilurina, TEC: triazol + estrobilurina + carboxamida) donde se observa el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* con tres tratamientos de fungicidas y tres dosis de nitrógeno en tres cultivares de trigo durante 2014 y 2015

Con respecto a la tasa de caída del IAFV (IAFV/día), se detectaron diferencias significativas entre los años, tratamientos de fungicidas, dosis de N y cultivares, así como la interacción *Fungicida* × *N* × *Cultivar* (Tabla 3.4). En ese sentido, si bien las tasas de caída de IAFV presentaron mayores valores promedio en los tratamientos con fungicidas de TEC (-0,197 de

IAFV/día) y TE (-0,187 de IAFV/día) en relación al tratamiento sin fungicida (-0,115 de IAFV/día) (Tabla 3.5, Fig. 3.8), esto se debió a que los valores de IAFV en los tres estadios evaluados y para los tratamientos protegidos, fueron significativamente superiores al tratamiento sin proteger (Fig. 3.8). Asimismo, los tratamientos fertilizados de 70N y 140N presentaron los mayores niveles promedio de IAFV en los estadios evaluados (Fig. 3.9a), lo que implicó tasas de caídas superiores (-0,181 IAFV/día y -0,223 IAFV/día, respectivamente) en relación a dosis mínima de 0N (-0,137 IAFV/día). Las tasas de caída del IAFV también presentaron diferencias entre los cultivares siendo mayor en el cultivar Baguette 11 (promedio -0,192 IAFV/día), seguido por ACA 303 (promedio -0,185 IAFV/día) y finalmente ACA 315 (promedio -0,164 IAFV/día) (Fig.3.9b).

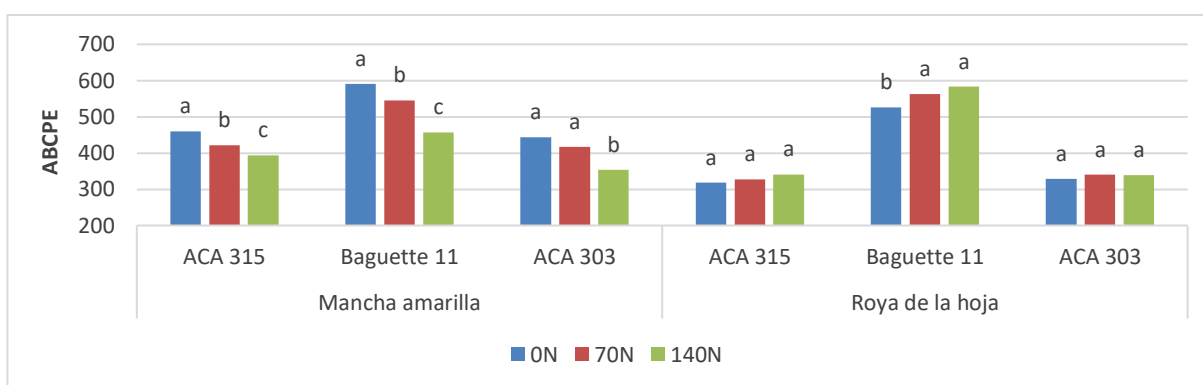


Figura 3.6. Medias del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) en la interacción *Patógeno* × *N* × *Cultivar* en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* con tres tratamientos de fungicidas y tres dosis N en tres cultivares de trigo durante 2014 y 2015 (0N: 0 kgN/ha, 70N: 70 kgN/ha, 140N: 140 kgN/ha). Medias seguidas por la misma letra dentro de cada enfermedad y dentro de cada cultivar son significativamente iguales (LSD $p=0,05$)

La interacción *Fungicida* × *N* × *Cultivar* estuvo explicada por las mayores tasas de caída de IAFV/día en los tratamientos con fungicida en relación a los sin fungicida (debido al mayor IAFV inicial en dichos tratamientos) (Fig. 3.10). Asimismo, dosis crecientes de N incrementaron la tasa de caída por la misma razón, variando sus valores según el cultivar y tratamiento de fungicida (Fig. 3.10).

El año influyó significativamente los valores de IAFVHB (Tabla 3.4) donde, si bien no se observaron grandes variaciones, los niveles fueron superiores en 2014 (promedio 31,8 días) respecto a 2015 (29,7 días), lo que implicó una disminución del -6,60% en el año con menos precipitaciones (Tabla 3.5). Por su parte, se observaron diferencias significativas de DAFVHB en la interacción *Patógeno* × *Fungicida* × *N* × *Cultivar* (Tabla 3.4). Esta variable se incrementó en forma significativa en los tres cultivares, ante dosis crecientes de N, en todos los tratamientos de fungicidas e inoculados con *Py. tritici-repentis* (Fig. 3.13a), pero sólo en los tratamientos protegidos con TE y TEC e inoculados con *P. triticina* (Fig. 3.13b). En este sentido, tanto Baguette 11 como ACA 303 no evidenciaron diferencias significativas en la DAFVHB entre 70N y 140N en relación al testigo sin fertilizar (0N). Los tratamientos de fungicidas incrementaron la DAFVHB en un +22,2% promedio con el tratamiento de TE y en un +36,6% para el tratamiento de TEC respecto al testigo sin fungicida (Tabla 3.5). En la Figura 3.11a se observa la dinámica del IAFVHB a partir de la emergencia de la misma (con el correspondiente

ajuste para cada tratamiento de fungicida) de donde se deduce que la aplicación de fungicidas TE y TEC prolongaron la DAFVHB en 1,10 días promedio y 3,2 días promedio respecto al testigo sin fungicida donde la hoja bandera duró 40,5 días verde.

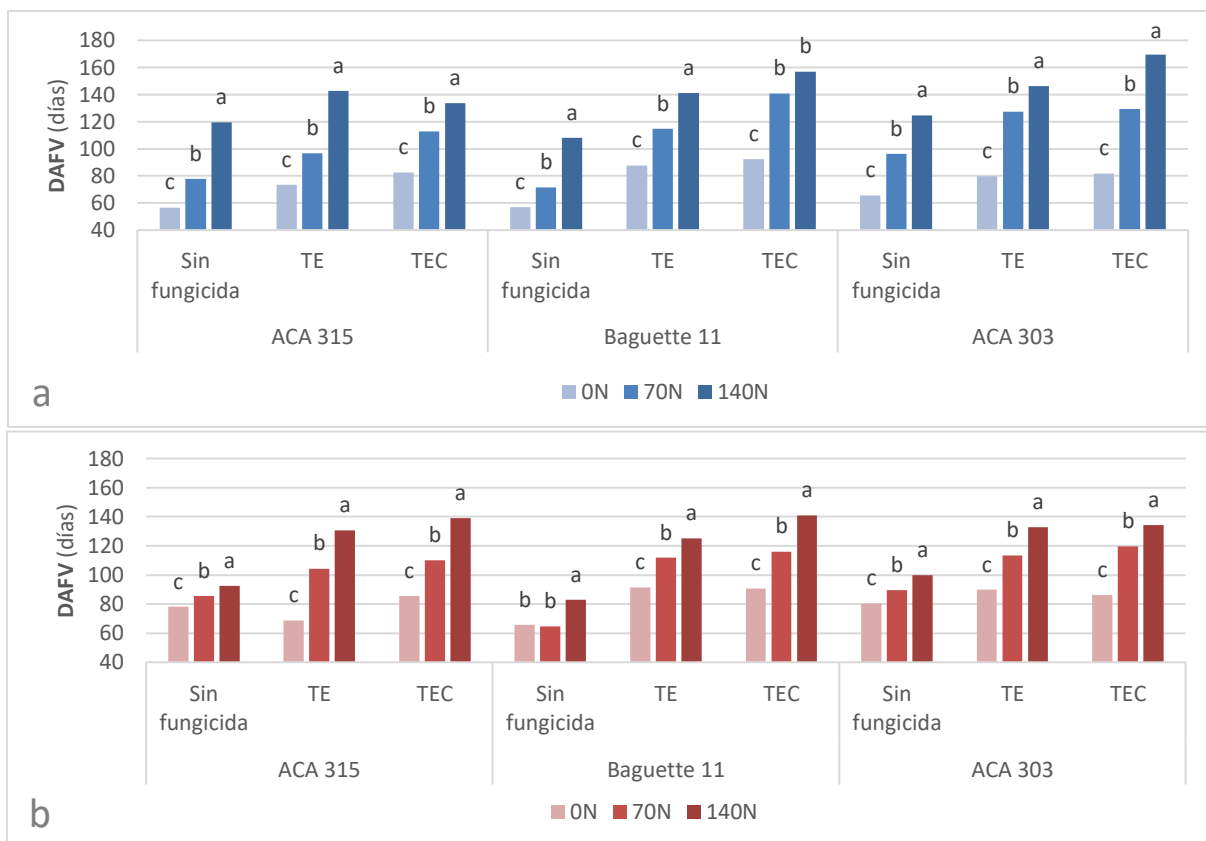


Figura 3.7. Medias de la duración del índice de área foliar del cultivo (DAFV) de la interacción *Patógeno* × *Fungicida* × *N* × *Cultivar* en un ensayo inoculado con (a) *Py. tritici-repentis* y (b) *P. triticina* con tres tratamientos de fungicidas y tres dosis de nitrógeno en tres cultivares de trigo durante 2014 y 2015 (TE: triazol + estrobilurina, TEC: triazol + estrobilurina + carboxamida, ON: 0 kgN/ha, 70N: 70 kgN/ha, 140N: 140 kgN/ha). Medias seguidas por la misma letra dentro de cada patógeno, dentro de cada cultivar y tratamiento de fungicida son significativamente iguales (LSD $p=0,05$)

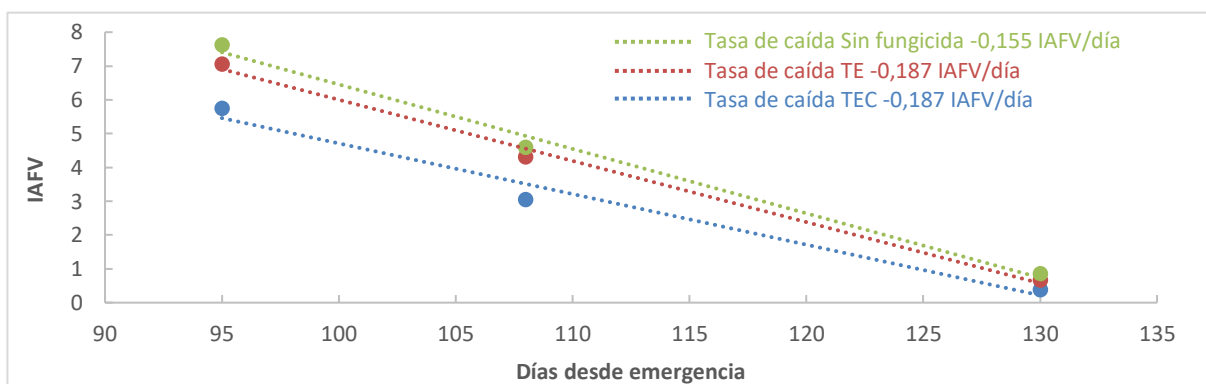


Figura 3.8. Medias del índice del área foliar verde en los estadios de hoja bandera (EC39), antesis (EC60) y grano pastoso (EC82) a los 95, 109 y 130 días desde emergencia (respectivamente) con tres tratamientos de fungicidas donde se observa la tasa de caída del IAFV/día de cada tratamiento en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* durante 2014 y 2015 (TE: triazol + estrobilurina, TEC: triazol + estrobilurina + carboxamida)

Fertilización y fungidas

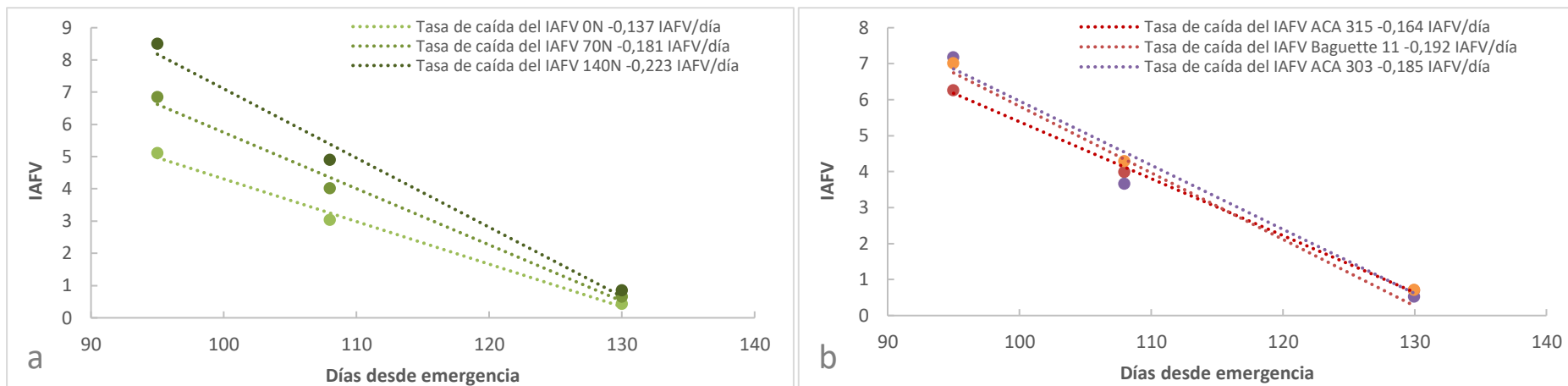


Figura 3.9. Medias del índice del área foliar verde en los estadios de hoja bandera (EC39), antesis (EC60) y grano pastoso (EC82) a los 95, 109 y 130 días desde emergencia (respectivamente) con (a) las tres dosis de N y (b) en los tres cultivares donde se observa la tasa de caída del IAFV/día de cada tratamiento en un ensayo de trigo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* durante 2014 y 2015 (0N: 0 kgN/ha, 70N: 70 kgN/ha, 140N: 140 kgN/ha)

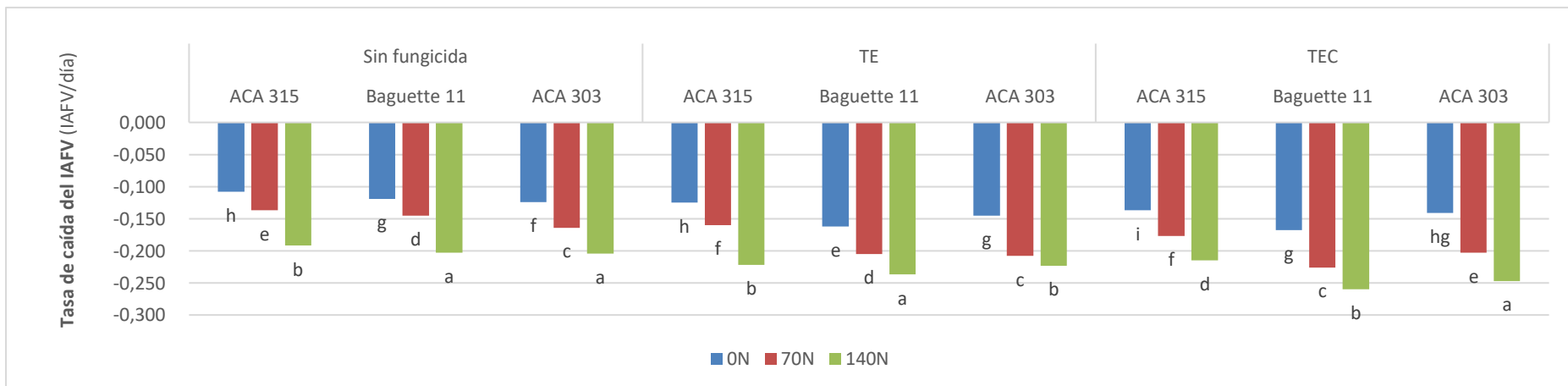


Figura 3.10. Medias de la tasa de caída del índice de área foliar (IAFV) entre hoja bandera (EC39) y grano pastoso (EC82) de la interacción *Fungicida* × *N* × *Cultivar* en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* con tres tratamientos de fungicidas y tres dosis de nitrógeno en tres cultivares de trigo durante 2014 y 2015 (TE: triazol + estrobilurina, TEC: triazol + estrobilurina + carboxamida, 0N: 0 kgN/ha, 70N: 70 kgN/ha, 140N: 140 kgN/ha). Medias seguidas por la misma letra dentro de cada tratamiento de fungicida son significativamente iguales (LSD $p=0,05$)

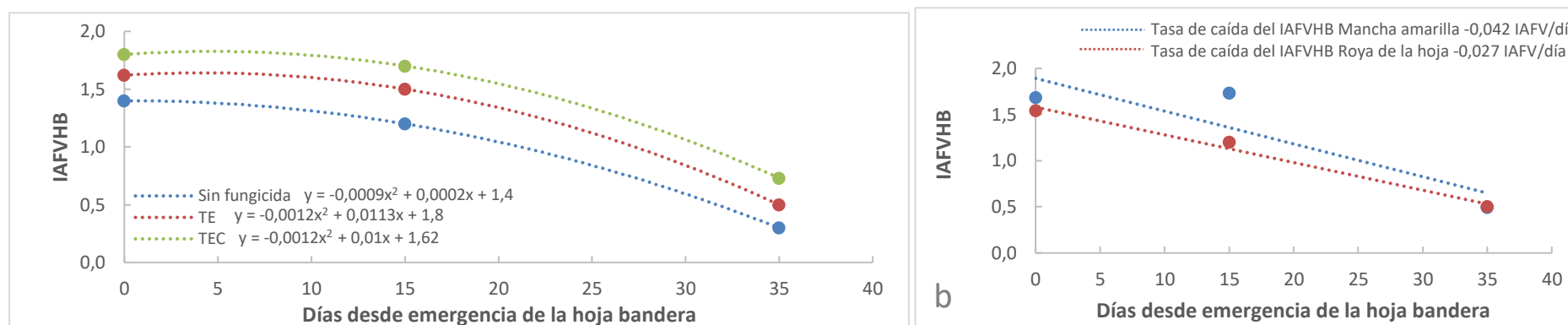


Figura 3.11. (a) Medias del índice de área foliar verde de la hoja bandera (IAFVHB) en los estadios de hoja bandera (EC39), antesis (EC60) y grano pastoso (EC82) a los 0, 15 y 35 días desde emergencia de la misma (respectivamente) con tres tratamientos de fungicidas. (b) Medias del IAFVHB a los 0, 15 y 35 días donde se observa la tasa de caída del IAFV/día para las dos enfermedades en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* con tres tratamientos de fungicidas y tres dosis de nitrógeno en tres cultivares de trigo durante 2014 y 2015 (TE: triazol + estrobilurina, TEC: triazol + estrobilurina + carboxamida)

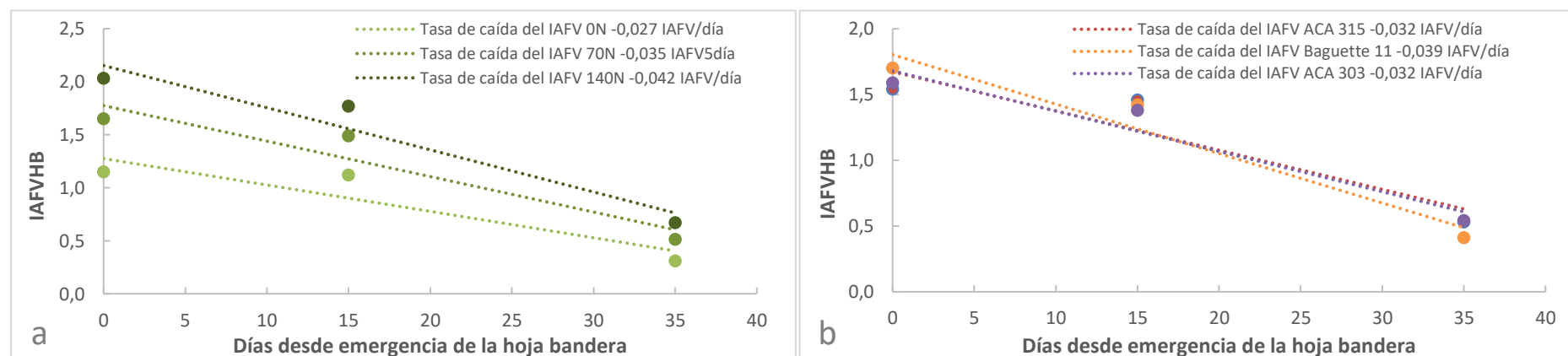


Figura 3.12. Medias del índice de área foliar verde de la hoja bandera (IAFVHB) en los estadios de hoja bandera (EC39), antesis (EC60) y grano pastoso (EC82) a los 0, 15 y 35 días desde emergencia de la misma (respectivamente) con (a) las tres dosis de N y (b) en los tres cultivares donde se observa la tasa de caída del IAFVHB/día de cada tratamiento en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* con tres tratamientos de fungicidas y tres dosis de nitrógeno en tres cultivares de trigo durante 2014 y 2015 (0N: 0 kgN/ha, 70N: 70 kgN/ha, 140N: 140 kgN/ha)

Fertilización y fungicidas

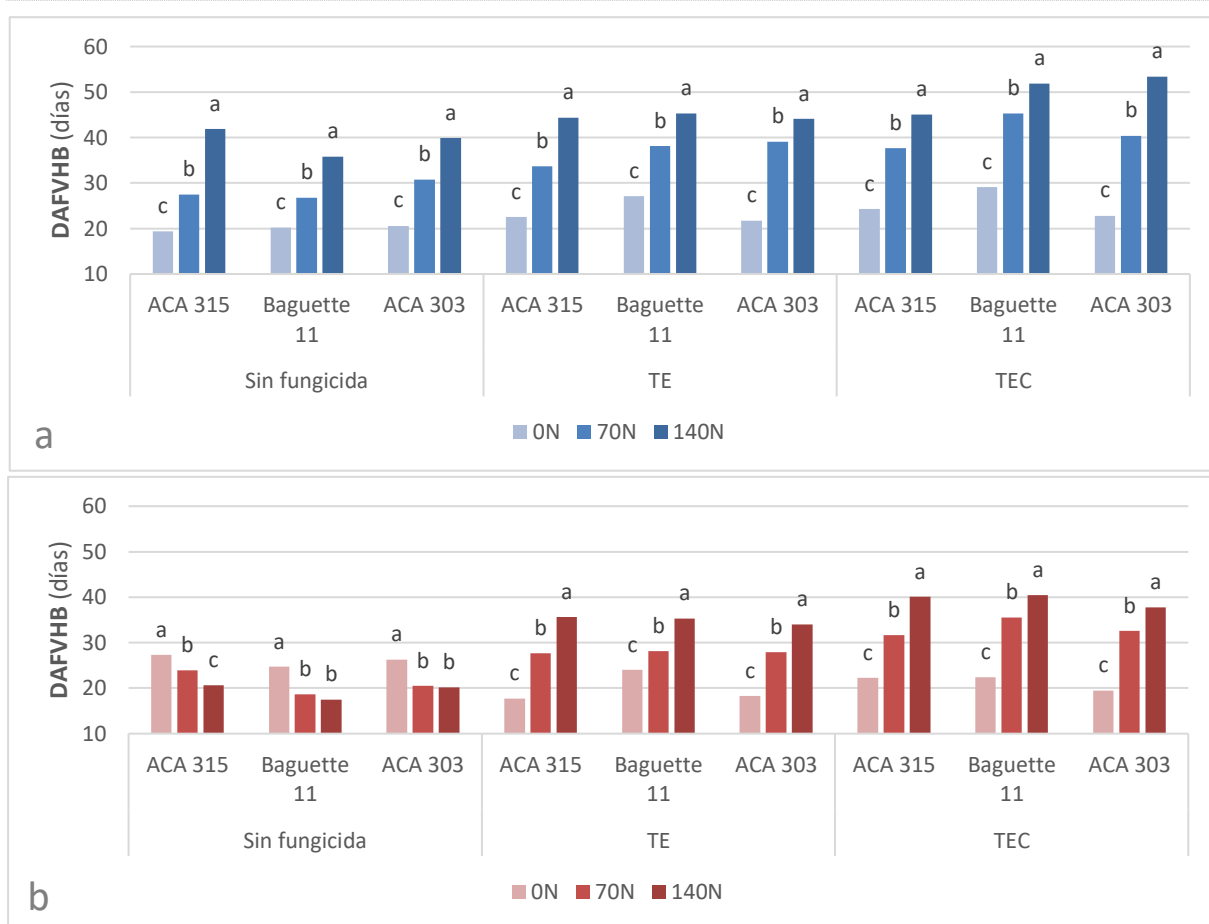


Figura 3.13. Medias de la duración del área foliar verde de la hoja bandera (DAFVHB) en la interacción *Patógeno* × *Fungicida* × *N* × *Cultivar* en un ensayo inoculado con (a) *Py. tritici-repentis* y (b) *P. tritricina* con tres tratamientos de fungicidas y tres dosis de nitrógeno en tres cultivares de trigo durante 2014 y 2015 (TE: triazol + estrobilurina, TEC: triazol + estrobilurina + carboxamida, 0N: 0 kgN/ha, 70N: 70 kgN/ha, 140N: 140 kgN/ha). Medias seguidas por la misma letra dentro de cada patógeno, dentro de cada tratamiento de fungicida y dentro de cada cultivar son significativamente iguales (LSD $p=0,05$)

Por otro lado, se evidenciaron diferencias significativas de la tasa de caída del IAFVHB en la interacción *Patógeno* × *Fungicida* × *N* × *Cultivar* (Tabla 3.4) que estuvo fundamentalmente explicada por las mayores tasas de caída en los tratamientos inoculados con *Py. tritici-repentis* (Fig. 3.14a) respecto a *P. tritricina* (Fig. 3.14b). Además, existieron mayores tasas de caída en los tratamientos fertilizados y estas diferencias fueron mayores en los inoculados con *Py. tritici-repentis* con distinta magnitud entre cultivares (Fig. 3.14a). Las tasas de caída del IAFVHB, fueron en promedio superiores en los tratamientos inoculados con *Py. tritici-repentis* (-0,042 IAFV/día) en relación a *P. tritricina* (-0,027 IAFV/día) (Tabla 3.5, Fig. 3.11b). Asimismo, los tratamientos fertilizados de 70N y 140N presentaron los mayores niveles promedio de IAFVHB en los estadios evaluados (Fig. 3.12a), lo que implicó tasas de caídas superiores (-0,035 IAFV/día y -0,042 IAFV/día, respectivamente) en relación a dosis mínima de 0N (-0,027 IAFV/día). Por su parte, las tasas de caída del IAFVHB fueron en promedio mayores en el cultivar Baguette 11 (-0,039 IAFV/día), seguido por los cultivares ACA 303 (-0,032 IAFV/día) y ACA 315 (-0,032 IAFV/día) (Fig.3.12b).

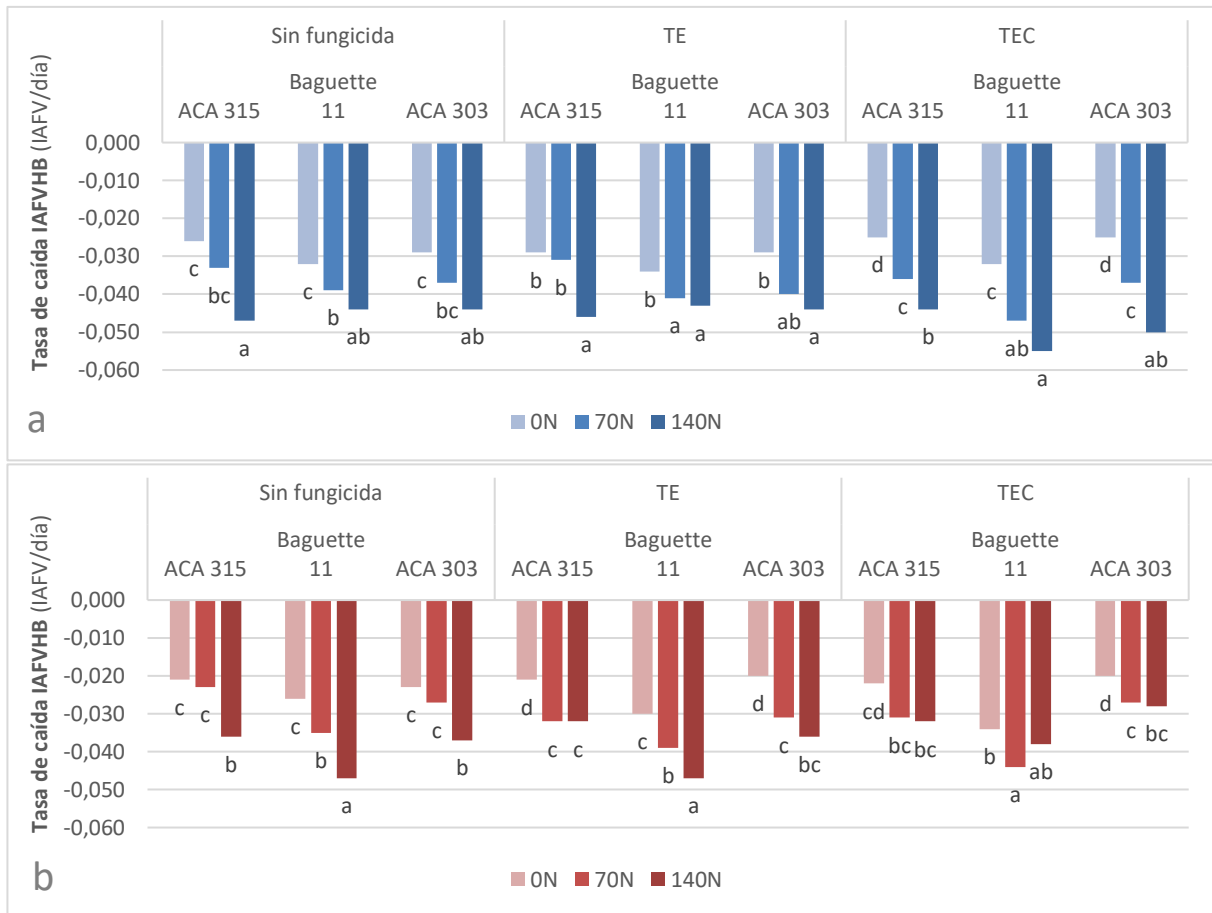


Figura 3.14. Medias de la tasa de caída del índice del área foliar de la hoja bandera (IAFVHB) entre hoja bandera (EC39) y grano pastoso (EC82) de la interacción *Patógeno* × *Fungicida* × *N* × *Cultivar* en un ensayo inoculado con (a) *Py. tritici-repentis* y (b) *P. triticina* con tres tratamientos de fungicidas y tres dosis de nitrógeno en tres cultivares de trigo durante 2014 y 2015 (TE: triazol + estrobilurina, TEC: triazol + estrobilurina + carboxamida, ON: 0 kgN/ha, 70N: 70 kgN/ha, 140N: 140 kgN/ha). Medias seguidas por la misma letra dentro de cada patógeno y dentro de cada tratamiento de fungicida son significativamente iguales (LSD $p=0,05$)

3.3.3. Componentes de rendimiento y rendimiento en grano

Los tratamientos de fungicidas, las dosis de N y el cultivar influenciaron en forma significativa el rendimiento y sus componentes (Tabla 3.6). El NGT presentó variaciones entre años los cuales fueron significativamente inferiores en 2015 (-12,1%) comparado a 2014 (19623 granos/m²) (Tabla 3.7). Cuando se comparó el tratamiento sin fertilizar (15652 granos/m²) con la dosis de 70N, el NGT se incrementó en un +17,1%, en tanto que la aplicación de 140N implicó un aumento del +36,2% (Tabla 3.7). Por su parte, la interacción *Patógeno* × *Fungicida* estuvo explicada dado que no se observaron diferencias significativas en el NGT entre los tratamientos de TE y TEC en las parcelas inoculadas con *Py. tritici-repentis* (Fig. 3.15a). Sin embargo, el tratamiento de TEC presentó en promedio los mayores valores de NGT (+25,5%), seguido por TE (+16,7%) en relación al testigo sin fungicida que presentó valores promedio de 16173 granos/m² (Tabla 3.7). Los incrementos del NGT con la aplicación de fungicidas estuvo explicado fundamentalmente por incrementos en el NGE ($r=0,679$; $p<0,001$).

La interacción *Fungicida* × *Cultivar* estuvo fundamentalmente explicada por las menores diferencias en el NGT en el cultivar Baguette 11 frente a los tratamientos de fungicidas de TE y TEC (Fig. 3.15b). Asimismo, el cultivar Baguette 11 presentó en promedio los NGT más elevados (20439 granos/m²) seguido por ACA 303 (18271 granos/m²) y luego ACA 315 (16594 granos/m²) (Tabla 3.7).

Tabla 3.6. Valor *p* (ANAVA) del número de espigas/m² (NESP), el número de granos/espiga (NGE), el número de granos totales (NGT), el peso de mil granos (PMG) y el rendimiento en grano (RG) en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* durante 2014 y 2015

Fuente de Variación	Gl	NESP	NGT	NGE	PMG	RG
Año (A)	1	0,005	<,001	0,302	0,838	0,934
Patógeno (Pa)	1	0,357	0,216	0,883	0,953	0,080
<i>A × Pa</i>	1	0,561	0,465	0,785	0,912	0,857
Fungicida (Fu)	2	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
<i>A × Fu</i>	2	0,344	0,496	0,463	0,003	0,254
<i>Pa × Fu</i>	2	0,567	0,035	0,166	0,115	0,769
<i>A × Pa × Fu</i>	2	0,919	0,553	0,401	0,067	0,247
Nitrógeno (N)	2	<,001	<,001	<,001	0,020	<,001
<i>A × N</i>	2	<,001	0,527	<,001	<,001	<,001
<i>Pa × N</i>	2	0,611	0,473	0,386	0,966	0,218
<i>Fu × N</i>	4	0,005	0,322	0,175	<,001	<,001
<i>A × Pa × N</i>	2	0,032	0,145	0,386	0,966	0,877
<i>A × Fu × N</i>	4	0,040	0,182	0,175	<,001	0,182
<i>Pa × Fu × N</i>	4	0,086	0,890	0,723	0,018	<,001
<i>A × Pa × Fu × N</i>	4	0,566	0,848	0,723	0,018	0,565
Cultivar (Cu)	2	0,104	<,001	<,001	0,864	<,001
<i>A × Cu</i>	2	0,425	<,001	0,002	0,598	0,870
<i>Pa × Cu</i>	2	0,756	0,064	<,001	0,558	0,941
<i>Fu × Cu</i>	4	0,006	0,005	0,002	<,001	<,001
<i>N × Cu</i>	4	0,687	0,769	0,282	0,853	0,595
<i>A × Pa × Cu</i>	2	0,219	0,297	0,503	0,953	0,984
<i>A × Fu × Cu</i>	4	0,719	0,981	0,834	0,037	0,590
<i>Pa × Fu × Cu</i>	4	0,232	0,152	0,147	0,651	0,129
<i>A × N × Cu</i>	4	0,966	0,123	0,282	0,853	0,993
<i>Pa × N × Cu</i>	4	0,696	0,383	0,238	0,982	0,980
<i>Fu × N × Cu</i>	8	0,241	0,991	0,996	0,684	0,022
<i>A × Pa × Fu × Cu</i>	4	0,210	0,348	0,679	0,989	0,906
<i>A × Pa × N × Cu</i>	4	0,357	0,578	0,238	0,982	1,000
<i>A × Fu × N × Cu</i>	8	0,171	0,998	0,996	0,684	0,991
<i>Pa × Fu × N × Cu</i>	8	0,286	0,977	0,976	0,987	0,314
<i>A × Pa × Fu × N × Cu</i>	8	0,677	0,841	0,976	0,987	0,999
Total	359					

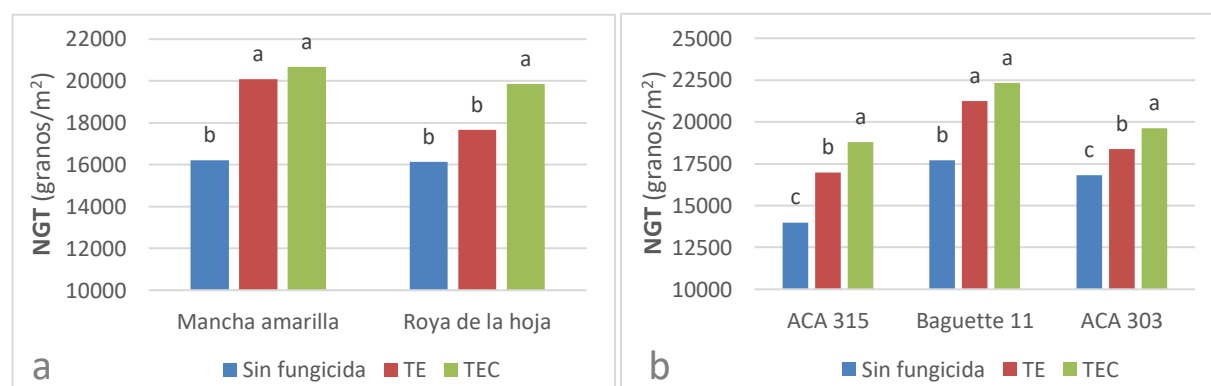
El NGE se estuvo afectado por la interacción *Patógeno* × *Cultivar* (Tabla 3.6) fundamentalmente explicada por no observarse diferencias significativas de NGE en el cultivar ACA 315 según el patógeno inoculado (datos no mostrados). Contrariamente, los cultivares Baguette 11 y ACA 303 presentaron menor NGE cuanto fueron afectados por roya de la hoja comparados con mancha amarilla (datos no mostrados). Al igual que el NGT, los valores de NGE fueron más elevados en el cultivar Baguette 11 (promedio 37,0 granos/espigas) seguido por ACA 303 (promedio 33,9 granos/espigas) y luego ACA 315 (promedio 31,3 granos/espigas) (Tabla 3.7). Por su parte, la interacción *Fungicida* × *Cultivar* se debió a la magnitud del

incremento del NGE con el tratamiento de TEC en relación al testigo sin fungicida que fue mayor en ACA 315 (+21,5%), seguido por Baguette 11 (16,0%) y finalmente ACA 303 (9,34%). El incremento promedio del tratamiento de TE fue de un +8,84% cuando se comparó el tratamiento sin fungicida (31,5 granos/espigas), en tanto que el tratamiento de TEC implicó un aumento del +15,35% (Tabla 3.7). Asimismo, cuando se comparó el tratamiento sin fertilizar (32,1 granos/espigas) con la dosis de 70N, el NGT se incrementó en un +5,34% promedio, en tanto que la aplicación de 140N generó un aumento del +11,2%.

Tabla 3.7. Medias del número de espigas/m² (NESP), el número de granos/espiga (NGE), el número de granos totales (NGT), el peso de mil granos (PMG) y el rendimiento en grano (RG) en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* durante 2014 y 2015

Fuente de Variación	NESP	NGE	NGT (granos/m ²)	PMG (g)	RG (kg/ha)
Año					
2014	544	34,4	19623	38,2	6343
2015	611	33,7	17247	38,1	6332
Patógeno					
<i>Py. tritici-repentis</i>	582	40,0	18985	38,1	6628
<i>P. triticina</i>	573	34,1	17885	38,1	6047
Fungicida					
Sin fungicida	543	31,5	16173	35,8	5160
TE	588	34,3	18873	38,6	6711
TEC	602	36,4	20258	39,9	7142
Nitrógeno					
0N	520	32,1	15652	38,2	5506
70N	584	33,9	18332	38,3	6352
140N	629	36,2	21320	37,7	7155
Cultivar					
ACA 315 (GC1)	576	31,3	16594	38,2	5949
Baguette 11 (GC2)	574	37,0	20439	38,1	6613
ACA 303 (GC3)	582	34,0	18271	38,0	6450

TE: triazol + estrobilurina, TEC: triazol + estrobilurina + carboxamida, 0N: 0 kgN/ha, 70N: 70 kgN/ha, 140N: 140 kgN/ha, GC: grupo de calidad



Fertilización y fungicidas

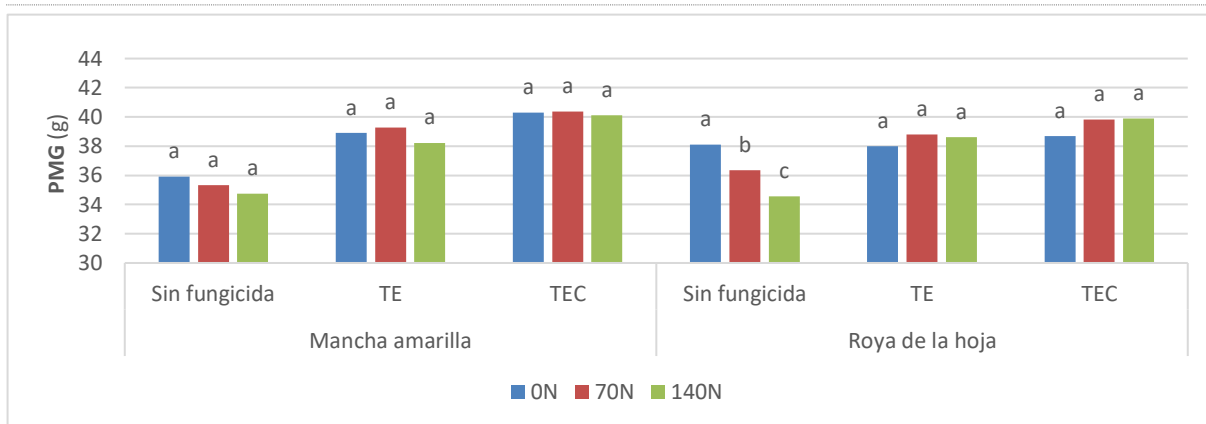


Figura 3.16. Medias del peso de mil granos (PMG) en la interacción *Patógeno* × *Fungicida* × *N* en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* con tres tratamientos de fungicidas y tres dosis de nitrógeno en tres cultivares de trigo durante 2014 y 2015 (TE: triazol + estrobilurina, TEC: triazol + estrobilurina + carboxamida, ON: 0 kgN/ha, 70N: 70 kgN/ha, 140N: 140 kgN/ha). Medias seguidas por la misma letra dentro de cada enfermedad y dentro de cada tratamiento de fungicida son significativamente iguales (LSD $p=0,05$)

Por su parte, el PMG estuvo afectado por la interacción *Patógeno* × *Fungicida* × *N* (Tabla 3.6) que estuvo explicada fundamentalmente por los menores valores de PMG ante incrementos de la dosis de N en el tratamiento sin fungicida frente a roya de la hoja (Fig. 3.16). Cuando se comparó el tratamiento sin fungicida (35,8 g) con el de TE, el PMG se incrementó en promedio un +7,78% en tanto que el tratamiento de TEC implicó un aumento del +11,3%. Además, dosis crecientes de N incrementaron presentaron en promedio PMG superiores en relación al tratamiento sin fertilizar (ON) (Tabla 3.7).

El rendimiento estuvo afectado por la interacción *Patógeno* × *Fungicida* × *N* (Tabla 3.6) dado que el mismo se incrementó con dosis crecientes de N con ambos patógenos excepto en el tratamiento sin fungicida de roya de la hoja (Fig. 3.17).

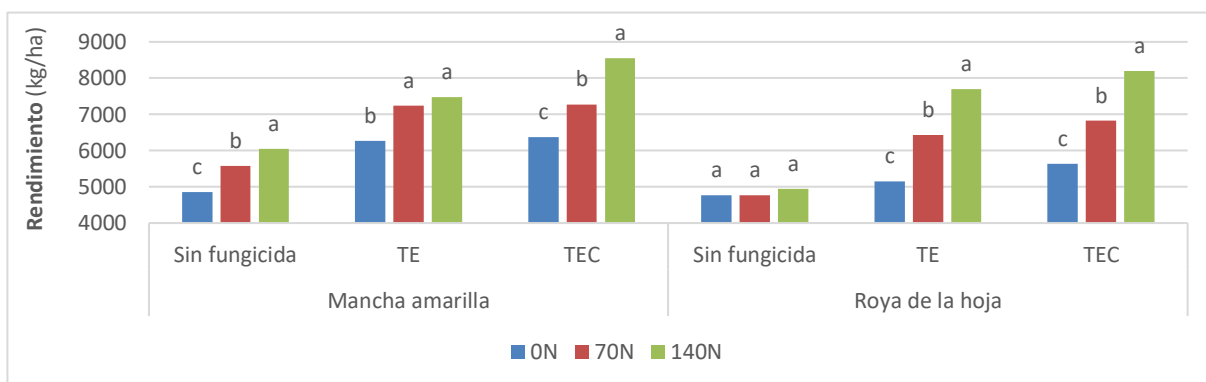


Figura 3.17. Medias del rendimiento en grano de la interacción *Patógeno* × *Fungicida* × *N* en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* con tres tratamientos de fungicidas y tres dosis de nitrógeno en tres cultivares de trigo durante 2014 y 2015 (TE: triazol + estrobilurina, TEC: triazol + estrobilurina + carboxamida, ON: 0 kgN/ha, 70N: 70 kgN/ha, 140N: 140 kgN/ha). Medias seguidas por la misma letra dentro de cada enfermedad y dentro de cada tratamiento de fungicida son significativamente iguales (LSD $p=0,05$)

Asimismo, el rendimiento estuvo afecto por la interacción *Fungicida* × *N* × *Cultivar* (Tabla 3.6) dado que el mismo se incrementó con el aumento de la dosis de N en los tratamientos

con y sin fungicida, excepto para el cultivar Baguette 11 sin fungicida (Fig. 3.18). El rendimiento en grano presentó importantes incrementos con la aplicación de fungicidas (Tabla 3.7), explicado principalmente por incrementos en el NGT ($R^2=0,581$; $p<0,001$) comparados al PMG ($R^2=0,344$; $p<0,001$). Cuando se comparó el tratamiento sin fungicida (5159 kg/ha) con el de TE, el rendimiento se incrementó en promedio un +19,7% (6711 kg/ha) en tanto que el tratamiento de TEC implicó un aumento del +38,4% (7142 kg/ha) (Tabla 3.7). Si bien el cultivar Baguette 11 presentó los mayores niveles de rendimiento (6613 kg/ha) no presentó diferencias significativas con respecto al cultivar ACA 303 (6450 kg/ha), aunque ambos presentaron valores promedio superiores a los observados en ACA 315 (5949 kg/ha) (Tabla 3.7).

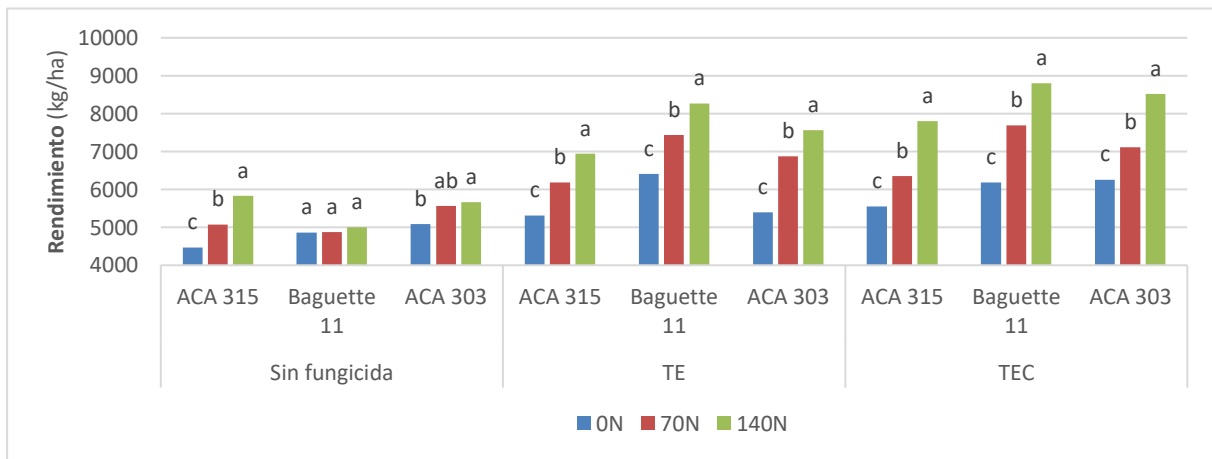


Figura 3.18. Medias del rendimiento en grano de la interacción *Patógeno* × *Fungicida* × *Cultivar* en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* con tres tratamientos de fungicidas y tres dosis de nitrógeno en tres cultivares de trigo durante 2014 y 2015 (TE: triazol + estrobilurina, TEC: triazol + estrobilurina + carboxamida, ON: 0 kgN/ha, 70N: 70 kgN/ha, 140N: 140 kgN/ha). Medias seguidas por la misma letra dentro de cada tratamiento de fungicida y cultivar son significativamente iguales (LSD $p=0,05$)

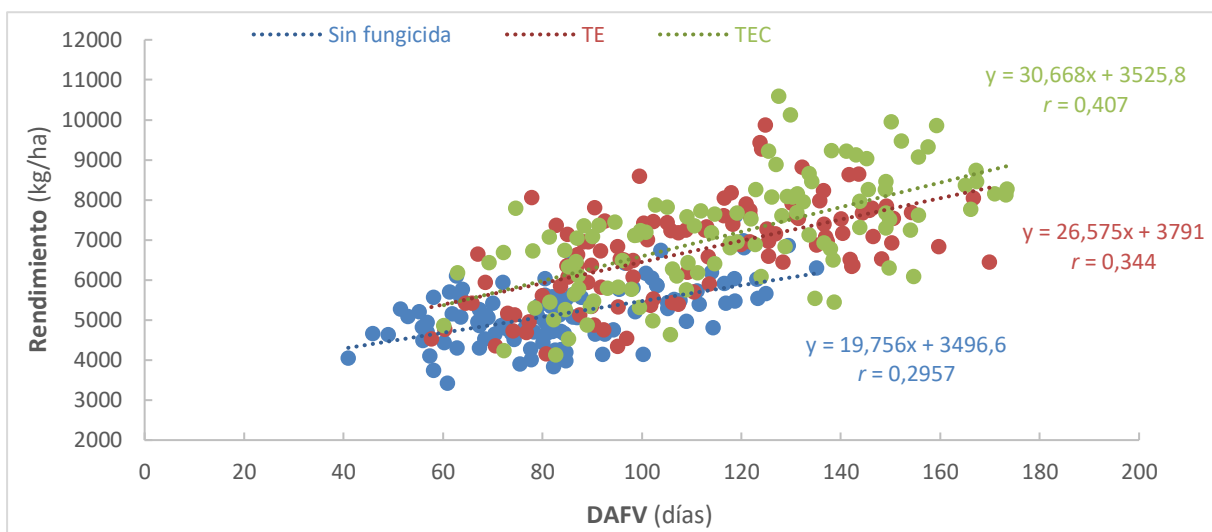


Figura 3.19. Correlación de la duración del área foliar verde del cultivo (DAFV) con el rendimiento en grano de los tres tratamientos de fungicidas en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* con tres tratamientos de fungicidas y tres dosis de nitrógeno en tres cultivares de trigo durante 2014 y 2015 (TE: triazol + estrobilurina, TEC: triazol + estrobilurina + carboxamida)

Por otro lado, existieron asociaciones positivas y significativas entre la DAFV y el rendimiento para los tres tratamientos de fungicidas a través de ambos patógenos. Las mayores tasas de incrementos de rendimiento se lograron con la aplicación de la triple mezcla TEC ($p < 0,05$) con 30,7 kg/ha/día de DAFV del cultivo, seguido por el tratamiento de TE ($p < 0,05$) con 26,6 kg/ha/día de DAFV y luego el testigo sin fungicidas con 19,7 kg/ha/día de DAFV (Fig. 3.19).

3.3.4. Parámetros de calidad panadera

El CPG estuvo afectado por el tipo de patógeno, los tratamientos de fungicida, las dosis de N y los cultivares (Tabla 3.8 y 3.9). Asimismo, existieron diferencias significativas para interacciones dobles y la cuádruple *Patógeno* \times *Fungicida* \times *N* \times *Cultivar* ($p < 0,10$). En este sentido, la aplicación de fungicidas (TE y TEC) en los cultivares de trigo de inferior calidad como Baguette 11 y ACA 303 e inoculados con *Py. tritici-repentis*, tendió a disminuir los valores de proteína ya que la enfermedad los aumentó. Sin embargo, esto se revirtió con la mayor dosis de fertilizante nitrogenado (Fig. 3.20a). Asimismo, se evidenció una tendencia al incremento del CPG con el aumento en la dosis de N, especialmente cuando se aplicaron fungicidas. Para el caso de inoculaciones con *P. triticina* (Fig. 3.20b), se evidenció un incremento de los valores de este parámetro con la fertilización N, y si bien la aplicación de fungicidas no causó diferencias significativas, se evidenció una tendencia al incremento en los cultivares de inferior calidad (Baguette 11 y ACA 303) cuando se aplicó fertilización nitrogenada. En el cultivar ACA 315, de mejor aptitud panadera, hubo una tendencia a la disminución sin fertilización nitrogenada o con la dosis media (70N) probablemente debido a que el cultivar enfermo tendió a mantener sus niveles de proteína en valores altos (Fig. 3.20b).

Tabla 3.8. Valor p (ANOVA) del contenido de proteína en grano (CPG), el gluten húmedo (GH), la tenacidad de la masa (P), la extensibilidad de la masa (L), la relación tenacidad/extensibilidad (P/L) y la fuerza del gluten (W) en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* en 2014

Fuente de Variación	Gl	CPG	GH	P	L	P/L	W
<i>Patógeno (Pa)</i>	1	0,022	0,084	0,167	0,293	0,16	0,143
<i>Fungicida (Fu)</i>	2	0,050	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
<i>Pa</i> \times <i>Fu</i>	2	0,013	0,360	0,563	0,444	0,65	0,267
<i>Nitrógeno (N)</i>	2	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
<i>Pa</i> \times <i>N</i>	2	0,375	0,062	0,225	0,472	0,245	0,079
<i>Fu</i> \times <i>N</i>	4	0,013	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
<i>Pa</i> \times <i>Fu</i> \times <i>N</i>	4	0,622	0,839	0,796	0,107	0,889	0,887
<i>Cultivar (Cu)</i>	2	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
<i>Pa</i> \times <i>Cu</i>	2	0,022	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
<i>Fu</i> \times <i>Cu</i>	4	0,885	0,004	0,309	0,232	0,125	0,313
<i>N</i> \times <i>Cu</i>	4	0,643	0,010	<,001	<,001	0,27	<,001
<i>Pa</i> \times <i>Fu</i> \times <i>Cu</i>	4	0,002	0,445	0,210	0,037	0,199	0,335
<i>Pa</i> \times <i>N</i> \times <i>Cu</i>	4	0,368	0,963	0,997	0,940	0,986	0,994
<i>Fu</i> \times <i>N</i> \times <i>Cu</i>	8	0,863	0,448	0,598	0,404	0,695	0,532
<i>Pa</i> \times <i>Fu</i> \times <i>N</i> \times <i>Cu</i>	8	0,087	0,449	0,963	0,994	0,964	0,846
Total	161						

Tabla 3.9. Medias del contenido de proteínas en grano (CPG), el gluten húmedo (GH), la tenacidad de la masa (P), la extensibilidad de la masa (L), la relación P/L y la fuerza del gluten (W) en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* en 2014

Fuente de Variación	CPG (%)	GH (%)	P (mm)	L (mm)	P/L	W (J×10 ⁻⁴)
Patógeno						
<i>Py. tritici-repentis</i>	11,2	27,5 a	121 a	98,1 a	1,65 a	347 a
<i>P. triticina</i>	10,9	26,9 a	118 a	96,8 a	1,63 a	339 a
Fungicida						
Sin fungicida	11,3	24,9 c	111 c	89,0 c	1,56 b	309 c
TE	10,9	27,7 b	122 b	100 b	1,66 a	352 b
TEC	11,0	28,9 a	125 a	103 a	1,69 a	368 a
Nitrógeno						
0N	10,3	24,4 c	95,1 c	74,4 c	1,46 c	301 c
70N	10,9	26,9 b	119 b	97,9 b	1,56 b	338 b
140N	11,9	30,2 a	144 a	102 a	1,89 a	389 a
Cultivar						
ACA 315 (GC1)	12,2	29,1 a	131 a	107 a	1,67 a	381 a
Baguette 11 (GC2)	10,6	26,4 b	123 b	102 b	1,60 b	325 b
ACA 303 (GC3)	10,4 b	26,0 c	104 a	83,5 c	1,65 a	322 b

TE: triazol + estrobilurina, TEC: triazol + estrobilurina + carboxamida, 0N: 0 kgN/ha, 70N: 70 kgN/ha, 140N: 140 kgN/ha, GC: grupo de calidad

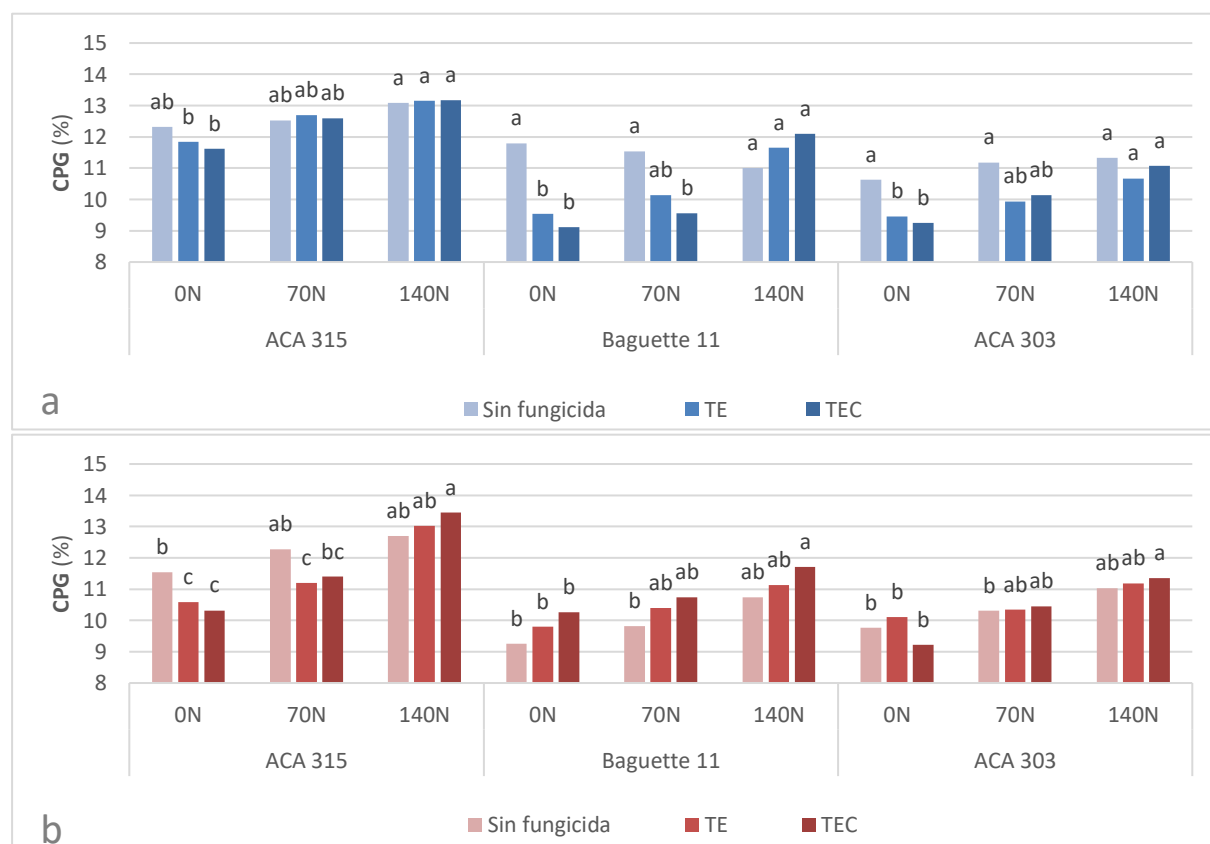
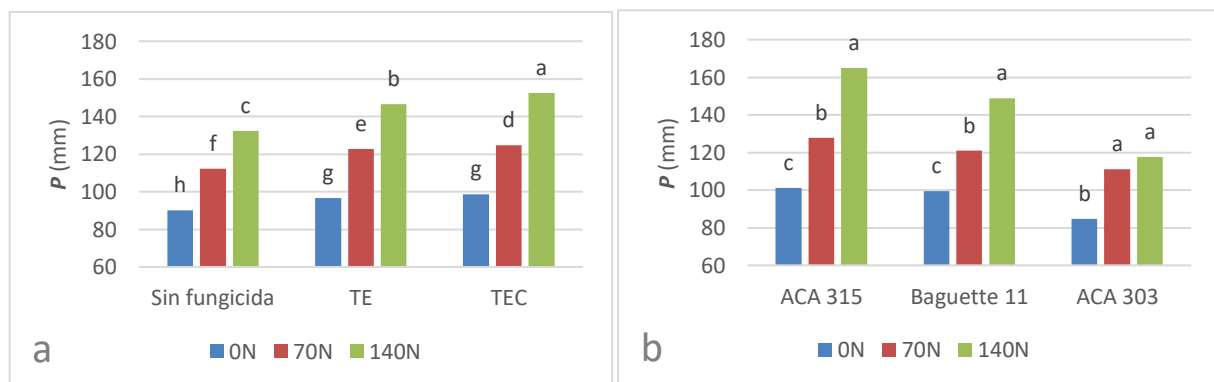
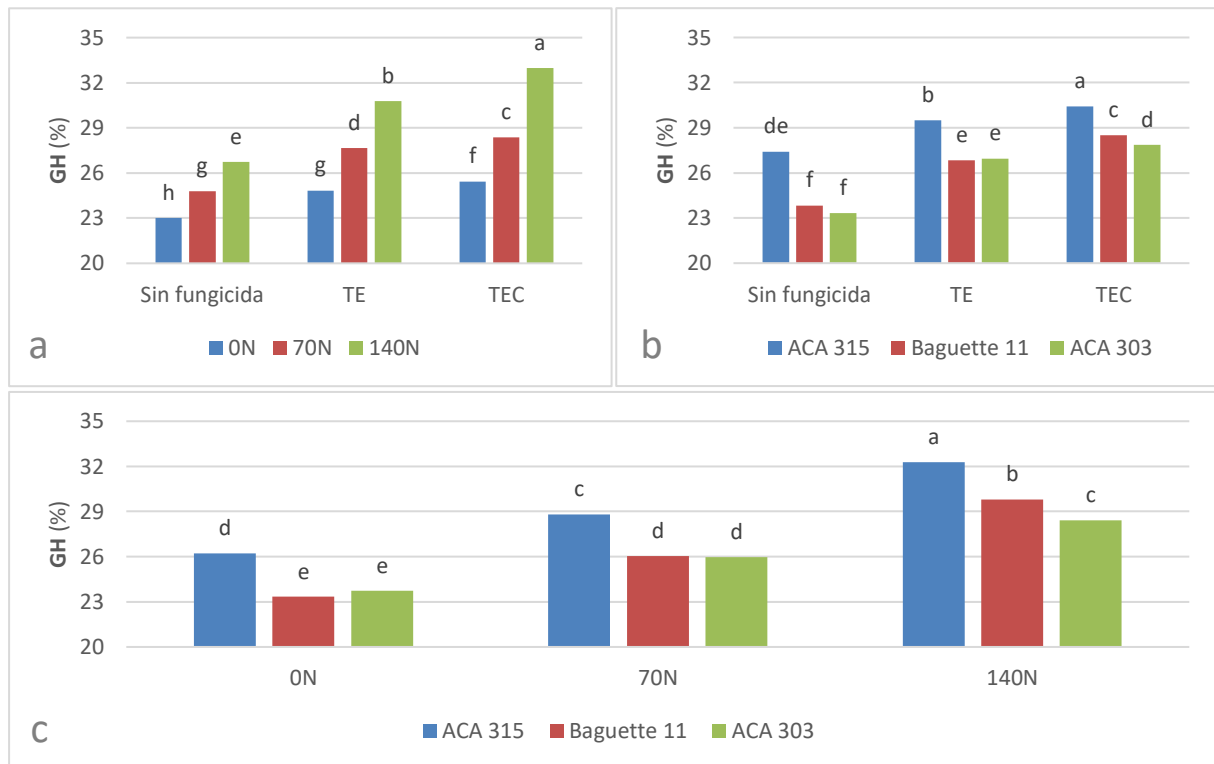


Figura 3.20. Medias del contenido de proteínas en grano (CPG) en la interacción *Patógeno* × *Fungicida* × *N* × *Cultivar* en un ensayo inoculado con (a) *Py. tritici-repentis* y (b) *P. triticina* con tres tratamientos de fungicidas y tres dosis de nitrógeno en tres cultivares de trigo durante 2014 (TE: triazol + estrobilurina, TEC: triazol + estrobilurina + carboxamida, 0N: 0 kgN/ha, 70N: 70 kgN/ha, 140N: 140 kgN/ha). Medias seguidas por la misma letra dentro de cada patógeno y dentro de cada cultivar son significativamente iguales (LSD $p=0,05$)

Por otro lado, el gluten húmedo estuvo afectado por la interacción *Fungicida* × *N* (Tabla 3.8), donde si bien las dosis crecientes de *N* incrementaron los niveles de gluten húmedo en todos los tratamientos de fungicidas, estos incrementos fueron mucho más marcados en las parcelas protegidas con TE (+23,9%) y TEC (29,6%) respecto a los tratamientos sin proteger (16,1%) (Fig. 3.21a). El gluten húmedo presentó mayores valores promedio en el cultivar de mejor aptitud panadera ACA 315 (29,1%), respecto a los de grupo 2 (Baguette 11) y grupo 3 (ACA 303) (26,3% y 26,0%, respectivamente) (Tabla 3.9). Por su parte, la interacción *Patógeno* × *Cultivar* también fue significativa (Tabla 3.8) debido a los menores valores de gluten húmedo en el cultivar Baguette 11 inoculado con *P. triticina* (25,5%) en relación a cuando fue inoculado con *Py. tritici-repentis* (27,2%). Contrariamente, los cultivares ACA 315 y ACA 303 no presentaron diferencias significativas de gluten húmedo según el patógeno inoculado. La interacción *Fungicida* × *Cultivar* también fue significativa (Tabla 3.8) y estuvo explicada por las diferencias significativas de gluten húmedo entre los tres cultivares cuando se aplicó la triple mezcla de fungicidas (TEC) (Fig. 3.21b). Sin embargo, en los tratamientos sin fungicidas o con doble mezcla (TE) no evidenciaron diferencias significativas en los cultivares Baguette 11 y ACA 303 (Fig. 3.21b). Por su parte, los niveles de gluten húmedo estuvieron afectados por la interacción *N* × *Cultivar* (Tabla 3.8) fundamentalmente explicada debido a que las dosis de 0N y 70N no presentaron diferencias significativas entre los cultivares Baguette 11 y ACA 303 (Fig. 3.21c). Sin embargo, ambos cultivares presentaron valores significativamente inferiores a los observados en ACA 315, cultivar de mejor aptitud panadera. Únicamente con la dosis de 140N se observaron diferencias significativas entre los tres cultivares con valores de gluten acordes a su aptitud panadera, es decir, el cultivar ACA 315 seguido por Baguette 11 y finalmente ACA 303 (Fig. 3.21c). Tanto ACA 315 como Baguette 11, presentaron los mayores incrementos de gluten húmedo (+23,1% y + 27,6% respectivamente) comparando la dosis máxima de *N* (140N) respecto al tratamiento sin fertilizar (0N).

Por su parte, el parámetro alveográfico de *P* estuvo significativamente afectado por los tratamientos de fungicidas, las dosis de *N* y los cultivares, así como por las interacciones *Fungicida* × *N*, *Patógeno* × *Cultivar* y *N* × *Cultivar* (Tabla 3.8). La interacción *Patógeno* × *Cultivar* fue significativa (Tabla 3.8) dado que no se observaron variaciones en los valores de *P* en el cultivar ACA 303 en función del patógeno inoculado, que presentó valores promedio de 104 mm (datos no mostrados). Contrariamente el cultivar Baguette 11 presentó menores valores de este parámetro cuando se inoculó con *P. triticina* (119 mm) y ACA 315 evidenció menores niveles con inoculaciones de *Py. tritici-repentis* (129 mm). El parámetro *P* también estuvo afectado por la interacción *Fungicida* × *N* (Tabla 3.8) dado que no se evidenciaron diferencias de *P* con la dosis de 0N cuando se aplicó TE y TEC (Fig. 2.22a). No obstante, este parámetro se incrementó en promedio con la aplicación TE (+9,27%) y TEC (+12,4%), y con 70N (+26%) y 140N (51,2%) (Tabla 3.23). Por su parte, los valores de *P* se incrementaron con la fertilización *N* en los tres cultivares, pero dichos incrementos fueron mayores en los cultivares de mejor aptitud panadera ACA 315 y Baguette 11 (Fig. 3.22b). Contrariamente, en el cultivar de menor aptitud panadera como ACA 303 (grupo de calidad 3) no se verificaron diferencias significativas en los valores de *P* con 70N y 140N, aunque ambos fueron superiores al testigo sin fertilizar (Fig. 3.22b). Los cultivares presentaron variaciones significativas de *P* acordes a su

aptitud panadera siendo superior en el cultivar ACA 315 (promedio 131 mm), seguido por Baguette 11 (promedio 123 mm) y finalmente ACA 303 (promedio 104 mm) (Tabla 3.9).



Los valores de *L* estuvieron significativamente afectados por los tratamientos de fungicidas las dosis de N y los cultivares, así como por las interacciones dobles *Fungicida* × *N*,

Patógeno × *Cultivar*, *N* × *Cultivar* y la triple *Patógeno* × *Fungicida* × *Cultivar* (Tabla 3.8). La interacción *Fungicida* × *N* de debió fundamentalmente a que no se evidenciaron diferencias significativas de *L* entre los tratamientos de TE y TEC con las dosis de 0N y 70N, aunque ambos fueron significativamente más elevados comparado al tratamiento sin fungicida (Fig. 3.23a). Solo se manifestaron valores crecientes y significativos de *L* entre los tratamientos de TE y TEC cuando la dosis de *N* aplicada fue la máxima (140N) que fue la que causó una mayor discriminación entre los tratamientos de fungicidas (Fig.3.23a). Por su parte, en la interacción *N* × *Cultivar*, los valores de *L* no mostraron diferencias significativas en el cultivar ACA 303 entre las dosis de 70N y 140N (Fig. 3.23b). Contrariamente, y al igual que el parámetro *P*, en los cultivares ACA 315 y Baguette 11 (de mejor aptitud panadera), los valores de *L* se incrementaron en forma significativa ante dosis crecientes de *N*, comparado al testigo sin fertilizar (Fig. 3.23b). Por otro lado, la triple interacción *Patógeno* × *Fungicida* × *Cultivar* (Tabla 3.8) estuvo fundamentalmente explicada por no observarse diferencias significativas de *L* en el cultivar ACA 303 entre las parcelas protegidas con TE y TEC e inoculadas con *Py. tritici-repentis* y por diferencias de magnitud en el efecto de los fungicidas en los diferentes cultivares y patógenos (Fig. 3.23c).

Los tratamientos de fungicidas incrementaron los valores de *L* en un +12,3% y un +15,7% para los tratamientos de TE y TEC (respectivamente) en relación al testigo sin fungicida (89,0 mm) (Tabla 3.9). Asimismo, las dosis crecientes de *N* incrementaron significativamente los niveles de este parámetro en un +31,7% (70N) y un +61,3% (140N) respecto al testigo sin fertilizar (74,4 mm) (Tabla 3.9). Por su parte, los cultivares presentaron variaciones significativas de *L* acordes a su aptitud panadera siendo superior en el cultivar ACA 315 (107 mm) seguido por Baguette 11 (102 mm) y finalmente ACA 303 (83 mm) (Tabla 3.9).

Por su parte, los valores de *P/L* estuvieron significativamente afectados por los tratamientos de fungicidas, las dosis de *N* y los cultivares, así como por las interacciones dobles *Fungicida* × *N* y *Patógeno* × *Cultivar* (Tabla 3.8). La interacción *Patógeno* × *Cultivar* estuvo explicada por no observarse diferencias significativas entre los tres cultivares en los valores de *P/L* (promedio 1,64) ante inoculaciones con *Py. tritici-repentis*. Contrariamente, se observaron diferencias significativas cuando fueron inoculados con *P. triticina* con valores de 1,69 (ACA 315), 1,55 (Baguette 11) y 1,64 (ACA 303). Los cultivares presentaron valores promedio de *P/L* de 1,67 (ACA 315), 1,60 (Baguette 11) y 1,65 (ACA 303) (Tabla 3.9). La interacción *Fungicida* × *N* estuvo explicada por no observarse diferencias significativas entre los tratamientos de fungicidas TE y TEC en los valores de *P/L* en relación al testigo sin fungicida con la dosis de 0N y 70N, contrariamente, sí se observaron con 140 N que fue la dosis que causó una mayor discriminación (Fig. 3.24). Los tratamientos de fungicidas TE y TEC incrementaron los valores de *P/L* de manera significativa (promedio 1,66 y 1,69 respectivamente) en relación al testigo sin proteger (1,56) (Tabla 3.9). Similares respuestas fueron observadas ante dosis crecientes de fertilización nitrogenada, donde se evidenciaron incrementos de *P/L* con las dosis de 0N (promedio 1,46), 70N (promedio 1,56) y 140N (promedio 1,89) (Tabla 3.9).

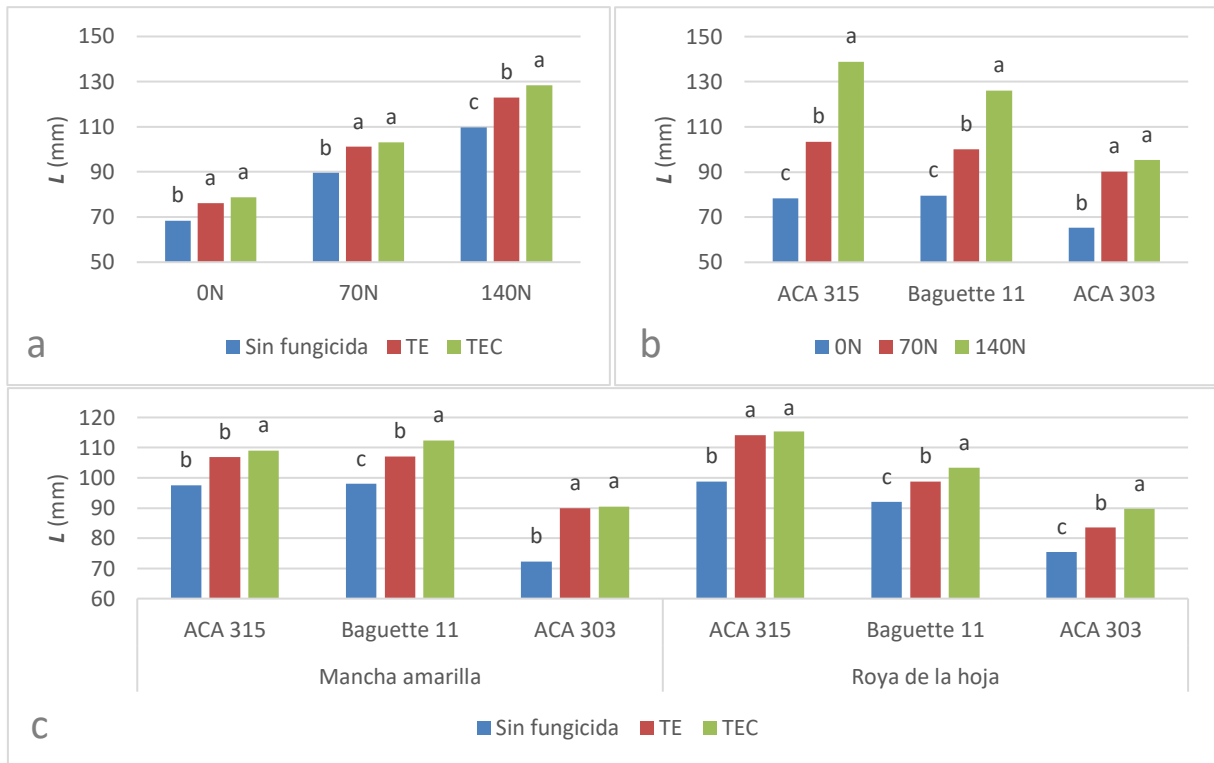


Figura 3.23. Medias de la extensibilidad de la masa (L) en (a) la interacción $Fungicida \times N^1$, (b) $N \times Cultivar^2$ y (c) $Patógeno \times Fungicida \times Cultivar^3$, en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* con tres tratamientos de fungicidas y tres dosis de nitrógeno en tres cultivares de trigo durante 2014 (TE: triazol + estrobilurina, TEC: triazol + estrobilurina + carboxamida, ON: 0 kgN/ha, 70N: 70 kgN/ha, 140N: 140 kgN/ha). Medias seguidas por la misma letra dentro de cada ¹tratamiento de fungicida, ²cultivar o ³enfermedad y cultivar son significativamente iguales (LSD $p=0,05$)

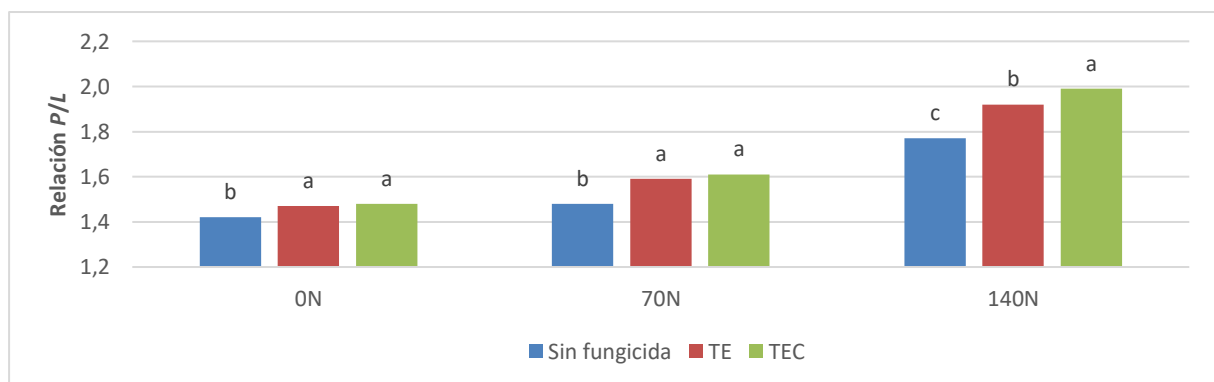


Figura 3.24. Medias de la relación tenacidad/extensibilidad de la masa (P/L) en la interacción $Fungicida \times N$ en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* con tres tratamientos de fungicidas y tres dosis de nitrógeno en tres cultivares de trigo durante 2014 (TE: triazol + estrobilurina, TEC: triazol + estrobilurina + carboxamida, ON: 0 kgN/ha, 70N: 70 kgN/ha, 140N: 140 kgN/ha). Medias seguidas por la misma letra dentro de cada dosis de N son significativamente iguales (LSD $p=0,05$)

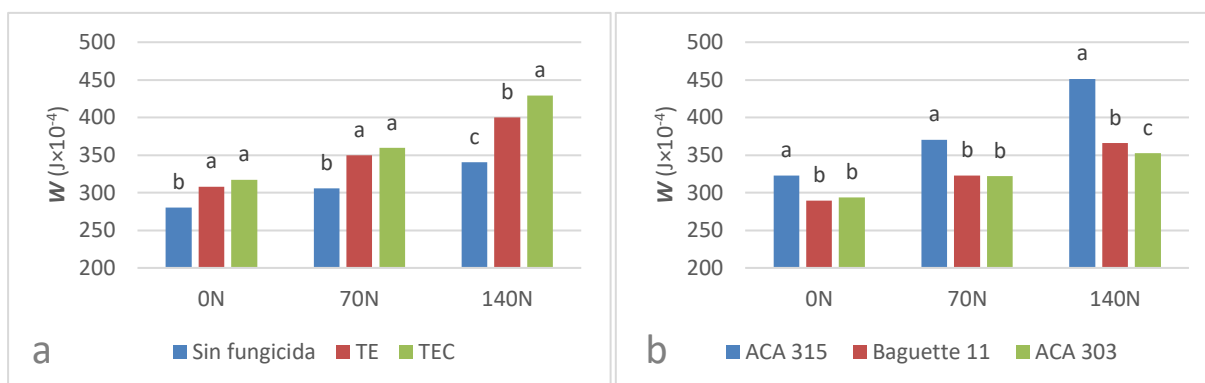


Figura 3.25. Medias de la fuerza del gluten (W) en (a) la interacción *Fungicida* \times *N* y (b) *N* \times *Cultivar* en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* con tres tratamientos de fungicidas y tres dosis de nitrógeno en tres cultivares de trigo durante 2014 (TE: triazol + estrobilurina, TEC: triazol + estrobilurina + carboxamida, 0N: 0 kgN/ha, 70N: 70 kgN/ha, 140N: 140 kgN/ha). Medias seguidas por la misma letra dentro de cada dosis de N son significativamente iguales (LSD $p=0,05$)

El W fue significativamente afectado por los tratamientos de fungicidas, las dosis de N y los cultivares, así como por las interacciones dobles *Fungicida* \times *N*, *Patógeno* \times *Cultivar* y *N* \times *Cultivar* (Tabla 3.8). La interacción *Patógeno* \times *Cultivar* estuvo explicada por no observarse diferencias significativas de W en función del patógeno inoculado en los cultivares ACA 315 (promedio $384 \text{ J} \times 10^{-4}$) y ACA 303 (promedio $322 \text{ J} \times 10^{-4}$). Contrariamente, en el cultivar Baguette 11, se observaron incrementos significativos de W cuando fue inoculado con *Py. tritici-repentis* (promedio $340 \text{ J} \times 10^{-4}$) en relación a *P. triticina* (promedio $311 \text{ J} \times 10^{-4}$). Por su parte, la interacción *Fungicida* \times *N* se debió a que no se observaron diferencias significativas de W entre los tratamientos de TE y TEC entre las dosis de 0N y 70N, aunque ambos fueron significativamente más elevados comparado al tratamiento sin fungicida (Fig. 3.25a). Solo se manifestaron valores crecientes y significativos de W entre los tratamientos de TE y TEC con la dosis de máxima de fertilización (140N) que una vez más, fue la que causó una mayor discriminación (Fig.3.25a). Los tratamientos de fungicidas incrementaron los valores de W en un +14,3% promedio y un +19,5% promedio para los tratamientos de TE y TEC (respectivamente) en relación al testigo sin fungicida (promedio $309 \text{ J} \times 10^{-4}$) (Tabla 3.9). Asimismo, dosis crecientes de N tendieron a incrementar los niveles de este parámetro en un +12,3% (70N) y un +29,2% (140N) respecto al testigo sin fertilizar ($302 \text{ J} \times 10^{-4}$) (Tabla 3.9). Por su parte, los valores de W no evidenciaron diferencias significativas entre los cultivares Baguette 11 y ACA 303 ante las dosis de 0N y 70N (Fig. 3.25b). Únicamente con la dosis máxima de fertilización (140N), se observaron diferencias significativas de W entre los tres cultivares; siendo más elevados en ACA 315, seguido por Baguette 11 y finalmente ACA 303 (Fig. 3.25b). Los valores de W fueron en promedio superiores en el cultivar ACA 315 ($381 \text{ J} \times 10^{-4}$), seguido por Baguette 11 ($326 \text{ J} \times 10^{-4}$) y ACA 303 ($323 \text{ J} \times 10^{-4}$) (Tabla 3.9).

Por otro lado, el parámetro farinográfico de A estuvo significativamente afectado por los tratamientos de fungicidas, las dosis de N y los cultivares (Tabla 3.10). En este sentido, la aplicación de fungicidas tendió a incrementar los niveles de A respecto al tratamiento sin proteger (57,1 ml) aunque solo el tratamiento de TEC (59,0 ml) lo hizo en forma significativa

(Tabla 3.11). Asimismo, la fertilización nitrogenada incrementó de manera significativa los valores de *A* en un +12,7% (70N) y +16,5% (140N) respecto al testigo sin fertilizar (52,9 ml) (Tabla 3.11). Los cultivares presentaron variaciones significativas de este parámetro que fueron acordes a su aptitud panadera siendo superior en el cultivar ACA 315 (62,1 ml) seguido por Baguette 11 (57,8 ml) y finalmente ACA 303 (54,3 ml) (Tabla 3.11).

Tabla 3.10. Valor *p* (ANOVA) de la absorción de agua de la harina (*A*), el tiempo de desarrollo de la masa (*B*), la estabilidad de la masa (*D*), el grado de ablandamiento de la masa (*E*) y el volumen de pan (*VP*) en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* en 2014

Fuente de Variación	Gl	A	B	D	E	VP
Patógeno (Pa)	1	0,472	0,345	0,417	0,680	0,082
<i>Fu (Fu)</i>	2	0,030	0,026	0,005	0,135	<,001
<i>Pa × Fu</i>	2	0,296	0,340	0,410	0,116	0,110
Nitrógeno (N)	2	<,001	<,001	<,001	0,004	<,001
<i>Pa × N</i>	2	0,154	0,470	0,094	0,242	0,252
<i>Fu × N</i>	4	0,090	0,370	0,326	0,290	0,061
<i>Pa × Fu × N</i>	4	0,401	0,183	0,548	0,330	0,112
Cultivar (Cu)	2	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
<i>Pa × Cu</i>	2	0,582	0,140	0,116	0,199	0,431
<i>Fu × Cu</i>	4	0,354	0,185	0,471	0,506	0,152
<i>N × Cu</i>	4	0,972	0,351	0,387	0,708	0,401
<i>Pa × Fu × Cu</i>	4	0,386	0,144	0,438	0,436	0,175
<i>Pa × N × Cu</i>	4	0,971	0,233	0,525	0,215	0,427
<i>Fu × N × Cu</i>	8	0,574	0,500	0,204	0,158	0,919
<i>Pa × Fu × N × Cu</i>	8	0,821	0,171	0,403	0,550	0,202
Total	161					

Tabla 3.11. Medias de la absorción de agua (*A*), el tiempo de desarrollo de la masa (*B*), la estabilidad de la masa (*D*), el grado de ablandamiento de la masa (*E*) y el volumen de pan (*VP*) de los factores principales en un ensayo inoculado con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina* en 2014

Fuente de Variación	A (ml)	B (min)	D (min)	E (UF)	VP (cm ³)
Patógeno					
<i>Py. tritici-repentis</i>	57,7	4,54	7,59	52,7	491
<i>P. triticina</i>	58,3	4,66	7,81	65,7	482
Fungicida					
<i>Sin fungicida</i>	57,1	4,53	7,20	61,7	463
TE	58,0	4,59	7,79	55,5	491
TEC	59,1	4,68	8,10	60,5	505
Nitrógeno					
ON	52,9	3,78	5,57	60,0	388
70N	59,6	4,57	7,20	63,6	494
140N	61,6	5,44	10,3	54,2	577
Cultivar					
ACA 315 (GC1)	62,1	7,09	12,0	27,2	520
Baguette 11 (GC2)	57,8	3,38	5,46	63,0	474
ACA 303 (GC3)	54,3	3,36	5,60	87,6	464

TE: triazol + estrobilurina, TEC: triazol + estrobilurina + carboxamida, ON: 0 kgN/ha, 70N: 70 kgN/ha, 140N: 140 kgN/ha, GC: grupo de calidad

Por su parte, el parámetro *B* estuvo significativamente afectado por los tratamientos de fungicidas, las dosis de N y los cultivares (Tabla 3.10). En este sentido, únicamente el fungicida

TEC incrementó de manera significativa (+3,31%) este parámetro en relación al tratamiento sin proteger (4,53 min) (Tabla 3.11). La fertilización nitrogenada generó incrementos significativos de *B* respecto a la dosis de 0N (3,78 min) en un +20,1% (70N) y en un +43,91% (140N) (Tabla 3.11). Por su parte, no se observaron diferencias significativas de este parámetro entre los cultivares Baguette 11 (3,39 min) y ACA 303 (3,36 min) aunque ambos fueron significativamente inferiores a los observados para ACA 315 (7,09 min) (Tabla 3.11).

El parámetro *D* también estuvo afectado por los tratamientos de fungicidas, las dosis de N y los cultivares en forma significativa (Tabla 3.10). Únicamente el fungicida TEC incrementó de manera significativa el parámetro *D* (+12,5%) en relación al tratamiento sin proteger (7,20 min) (Tabla 3.11). La fertilización nitrogenada incrementó significativamente este parámetro respecto al testigo sin fertilizar (5,57 min) en un +29,3% (70N) y +85,4% (140N) (Tabla 3.11). Por su parte, no se observaron diferencias significativas de este parámetro entre los cultivares Baguette 11 (5,56 min) y ACA 303 (5,60 min) aunque ambos fueron significativamente inferiores a los observados para ACA 315 (12,0 min) (Tabla 3.11).

Por su parte, el parámetro *E* evidenció diferencias significativas entre las dosis de N (Tabla 3.10), las cuales tendieron a disminuir los valores de este parámetro ante dosis crecientes del nutriente (Tabla 3.11). Los cultivares presentaron variaciones significativas de este parámetro que fueron acordes a su aptitud panadera siendo inferior en el cultivar de mejor aptitud panadera ACA 315 (27,2 UF) seguido por Baguette 11 (63,0 UF) y finalmente ACA 303 (87,6 UF) (Tabla 3.11).

Finalmente, el volumen de pan estuvo significativamente afectado por los tratamientos de fungicidas, las dosis de N y los cultivares (Tabla 3.10). En este sentido, la aplicación de fungicidas tendió a incrementar de manera significativa el volumen de pan respecto al testigo sin fungicida (464 cm³) en +6,04% para el tratamiento de TE y +9,07% para el de TEC (Tabla 3.11). Asimismo, la fertilización nitrogenada incrementó de manera significativa el volumen de pan en un +27,3% (70N) y +48,7% (140N) respecto al testigo sin fertilizar (388 cm³) (Tabla 3.11). Por su parte, el cultivar ACA 315 de grupos de calidad 1, presentó los mayores valores de volumen de pan (521 cm³) diferenciándose significativamente de Baguette 11 (475 cm³) y de ACA 303 (465 cm³) (Tabla 3.11).

Tabla 3.12. Coeficientes de correlación (*r*), pendiente y probabilidad (*p*) entre el contenido de proteínas en grano (CPG) y los parámetros de calidad panadera analizados

Parámetro de calidad	<i>r</i>	Pendiente
Gluten húmedo	0,397***	1,70
Tenacidad (<i>P</i>)	0,382***	11,9
Extensibilidad (<i>L</i>)	0,300***	9,96
Fuerza del gluten (<i>W</i>)	0,398***	27,7
Absorción de agua (<i>A</i>)	0,414***	2,86
Tiempo de desarrollo (<i>B</i>)	0,367***	1,24
Estabilidad (<i>D</i>)	0,649***	2,47
Grado de ablandamiento (<i>E</i>)	0,149**	-10,6
Volumen de pan (<i>VP</i>)	0,422***	43,7

(** valores de $p < 0,01$; ***valores de $p < 0,001$)

Finalmente, si bien se observaron efectos de los patógenos sobre el CPG, no se halló la misma tendencia sobre algunos parámetros de calidad panadera. En la Tabla 3.12 se observa la asociación del CPG con los parámetros de calidad panadera analizados. Estas asociaciones son importantes para considerar en la discusión de los resultados obtenidos.

3.3. Discusión

Al igual que lo observado en los resultados del Capítulo 2 de la presente tesis, y coincidiendo con Campbell & Madden (1990), Wegulo *et al.* (2012), Fleitas (2011), Schierenbeck (2015) y Castro (2016), las variaciones climáticas entre años influenciaron fuertemente el desarrollo epidemiológico de las enfermedades evaluadas, al jugar la temperatura media, humedad relativa ambiente y precipitaciones un rol preponderante en la reproducción y sobrevivencia de *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*. En este sentido, el año 2014 presentó condiciones más favorables para el desarrollo de enfermedades en post-antesis debido a la mayor acumulación de precipitaciones, humedad relativa y temperaturas medias más elevadas que en 2015, que provocaron mayores niveles de ABCPE y mayores tasas de caída del IAFV del cultivo y de la hoja bandera.

La fertilización nitrogenada es una práctica de manejo habitual para asegurar adecuados niveles de proteína con elevados rendimientos (Abate 2016), sin embargo, puede actuar afectando la expresión de enfermedades. La bibliografía disponible presenta resultados contrastantes, por ejemplo, Wu & Von Tiedemann (1996) y Leitch & Jenkins (1995) observaron que una alta concentración de N foliar aumentó la severidad tanto de hongos biotróficos como necrotróficos. En contraste, otros autores (Talbot *et al.* 1999; Snoeijers *et al.* 2000; Annone 2002) mencionan que la susceptibilidad a hongos necrotróficos a veces aumenta en el caso de baja disponibilidad de N, ya que esto genera plantas más débiles con una menor capacidad de defensa. Para el caso de un patógeno hemibiotrófico como *M. graminicola*, la bibliografía disponible sugiere que existiría un umbral de N óptimo para el desarrollo de la mancha de hoja por encima del cual, la enfermedad decrece, dado que el vigor de la planta prevalece sobre el desarrollo de la misma (Ishikawa *et al.* 2012). Eso fue documentado recientemente en Argentina por Gerard *et al.* (2015) y Castro (2016) quienes observaron que la severidad de mancha de la hoja se incrementó hasta las dosis intermedias de N ensayadas, por encima de la cual, la severidad disminuyó.

Por otro lado, cuando se trata de patógenos biotróficos, la fertilización nitrogenada generalmente incrementa la severidad (Daniel & Parlevliet 1995; Mascagni *et al.* 1997; Gerard *et al.* 2015; Germán *et al.* 2016) dado que el nutriente incrementa la biomasa del cultivo generando canopeos densos (pero con tejidos foliares más blandos) y con mayor humedad relativa. Sin embargo, algunos autores sugieren que el efecto del N sobre la severidad de enfermedades ocasionadas por patógenos biotróficos depende del momento de aplicación del fertilizante (Walters & Bingham 2007). En este sentido, aplicaciones tempranas de N, modifican tanto la concentración del N foliar como la estructura del cultivo (a través

macollaje), mientras que una tardía generalmente aumentan la concentración de N en hojas (Bancal 2008). Autores como Neumann *et al.* (2004) verificaron que aplicaciones tardías de N no incrementan la biomasa (tamaño del canopeo) pero sí aumentaron la severidad de *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. Se ha sugerido que para el patosistema roya de la hoja-trigo, existiría un umbral óptimo de concentración N en hoja para la producción de esporas por encima del cual, hay poco efecto, pero por debajo del cual, la producción de esporas y tamaño de lesión disminuye (Robert *et al.* 2004). Asimismo, se ha documentado que, a bajas disponibilidades de N en el suelo, la producción de esporas de *P. triticina* se reduce, aunque el contenido de N dentro de la espora permanece estable (Robert *et al.* 2002, 2005). Sin embargo, para la mayoría de las interacciones planta-patógeno, se sabe muy poco sobre el contenido y la composición de N durante la infección y posterior colonización por lo que es un área que requiere mayor investigación.

En el presente trabajo, donde se realizaron inoculaciones separadas con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, incrementos de la dosis de N disminuyeron en forma significativa el ABCPE de mancha amarilla en los tratamientos sin protección. Esto coincide con lo verificado por Krupinsky *et al.* (2007), Carignano *et al.* (2008) y Simón *et al.* (2011), quienes encontraron que el incremento de N retrasó el desarrollo de mancha amarilla. Adicionalmente, Carretero *et al.* (2009) observó que en los ensayos con infecciones naturales donde predominaron patógenos necrotróficos, la severidad fue mayor en los tratamientos no fertilizados. Contrariamente, en las parcelas inoculadas con *P. triticina* y sin protección, donde predominó la roya de la hoja, dosis crecientes de N ocasionaron incrementos del ABCPE. Esto concuerda con lo observado por Carretero *et al.* (2009) en aquellos ambientes donde se realizaron inoculaciones artificiales con el patógeno. Asimismo, Daniel & Parlevliet (1995), Mascagni *et al.* (1997) y Germán *et al.* (2016) mencionan que la fertilización nitrogenada generalmente incrementa la severidad de la roya de la hoja.

Independientemente del tipo de enfermedad, la triple mezcla TEC presentó los menores niveles de ABCPE lo que ocasionó los mayores incrementos de DAFV y DAFVHB respecto a la doble mezcla de TE. Recientemente en Argentina, Maddaloni (2016) también verificó una menor severidad de mancha amarilla y roya de la hoja con la triple mezcla de TEC (0,3%) respecto la mezcla doble de TE (7,7%) y en relación al testigo sin protección (24%) a 36 días de la aplicación (en EC41, inicio de vaina engrosada) sobre la hoja bandera del cultivar Nidera Baguette 601. Asimismo, ensayos de residualidad de fungicidas realizados por Fleitas *et al.* (2015) documentaron que la triple mezcla de TEC proporcionó un mejor control de roya de la hoja diferenciándose de manera significativa de varias mezclas dobles de TE (en diferentes proporciones) y observaron que dicha triple mezcla mantuvo un porcentaje de control cercano al 60% aún a los 41 días posteriores a la aplicación en un cultivar altamente susceptible a la enfermedad como Nidera Baguette 13. Probablemente esto se deba no sólo a un control más eficiente de la triple mezcla sino también más prolongado en el tiempo asociado a una menor posibilidad de reinfección a lo largo del ciclo.

Por otro lado, los cultivares respondieron de manera diferencial según el patógeno inoculado y la dosis de N. En este sentido, el cultivar Baguette 11 presentó elevados niveles de ABCPE de mancha amarilla y roya probablemente por su elevada susceptibilidad a las

enfermedades según lo informado por el criadero en relación a su comportamiento sanitario (Tabla 3.1). Precisamente con este cultivar altamente susceptible, se pudo observar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el desarrollo de ambas enfermedades en que dosis crecientes de N disminuyeron la severidad de mancha amarilla, pero incrementaron la de roya de la hoja. Por su parte, los cultivares ACA 315 y ACA 303 presentaron mayores niveles de mancha amarilla que de roya de la hoja, acorde a lo informado por el criadero (Tabla 3.1). Si bien en ambos cultivares, la mancha amarilla siguió la misma tendencia que con Baguette 11, no se observaron incrementos de la severidad de roya de la hoja ante dosis crecientes de N, probablemente debido a un mejor comportamiento sanitario frente a la enfermedad. De manera que, cuando la enfermedad no es severa debido a un buen comportamiento sanitario de un determinado cultivar, no es posible observar el efecto del N sobre el patógeno, fundamentalmente porque la enfermedad no progresa.

En este trabajo, donde se realizaron inoculaciones artificiales y en forma separada de *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, la aplicación de fungicidas provocó incrementos en la DAFV y DAFVHB coincidiendo con lo reportado por Dimmock & Gooding (2002a) y Parker *et al.* (2004), probablemente por la disminución de síntomas y posibilidad de reinfección. En este sentido, Schierenbeck *et al.* (2016) documentaron incrementos en la DAFV del cultivo y de la hoja bandera cuando se aplicaron fungicidas conteniendo la triple mezcla TEC ante infecciones artificiales de *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*. En un mismo sentido Peltonen & Karjalainen (1992), concluyeron que el control de *M. graminicola* y *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici* extendió la duración del periodo verde del cultivo durante el periodo de llenado lo que resultó en mayores rendimientos y CPG. Por su parte, Castro (2016) verificó que la aplicación de fungicidas en un cultivo afectado por macha de la hoja, incrementó la DAFV y DAFVHB comparados al testigo sin fungicida asociado al retraso en la senescencia foliar. Los incrementos de DAFV y DAFVHB con fungicidas implicaron aumentos en los componentes del rendimiento que se tradujeron en mayores rendimientos verificando lo documentado por Reynolds *et al.* (2000) y Richards (2000). Los efectos benéficos de la aplicación de fungicidas se asocian a que reducen en forma significativa el avance de la enfermedad, la que ocasiona aumentos en la clorosis, senescencia anticipada de las hojas (Bancal *et al.* 2007). En este sentido, la reducción en la severidad de patógenos foliares debido a la aplicación de fungicidas han sido asociado con aumentos del IAFV, en la DAFV y disminuciones en la severidad y ABCPE por otros autores (Schierenbeck 2015; Schierenbeck *et al.* 2016).

Dentro de los fungicidas evaluados, la aplicación de triple mezcla TEC generó los mayores incrementos de DAFV en relación al tratamiento de TE explicados por los menores niveles de severidad observados. Por otro lado, la DAFV tendió a incrementarse ante dosis decrecientes de N independientemente del tipo de patógeno inoculado. Sin embargo, la magnitud del incremento fue mucho más pronunciada en aquellas parcelas donde predominó la mancha amarilla, respuesta que podría estar explicada porque en las parcelas inoculadas con *Py. tritici-repentis*, la DAFV no sólo se incrementó con dosis crecientes de N sino también porque presentó una menor severidad de mancha amarilla. Contrariamente, la DAFV no se incrementó tan marcadamente ante dosis crecientes de N porque esto generó una mayor severidad de roya de la hoja que la disminuyó. Por lo tanto, se podría inferir que el efecto del

N es más preponderante sobre la generación de biomasa aérea e IAFV que sobre los aumentos en la severidad causada por roya de la hoja. Diversos autores han documentado el efecto positivo del N sobre el IAFV, explicado por su efecto sobre el macollaje y la expansión foliar que juntos determinan el tamaño del canopeo (Hansen & Schjoerring 2003; De Giorgio & Fornaro 2012; Hawkesford 2014). Contrariamente, otros autores han documentado asociaciones positivas entre la severidad de roya de la hoja y la biomasa del cultivo sugiriendo que la concentración de N en hoja fue más importante para el desarrollo de la enfermedad que para el tamaño del canopeo (Olesen *et al.* 2003). Estos autores observaron que aplicaciones tempranas de N incrementaron el NESP e IAFT pero que la severidad de la enfermedad también fue más elevada, por lo que el IAFV fue mayor en los tratamientos sin fertilizar.

Con respecto a la tasa de caída de IAFV para el periodo EC39-EC82, los tratamientos de fungicidas TE y TEC y la dosis media (70N) y máxima de N (140N) mostraron tasas de caída superiores en relación al testigo sin proteger o sin fertilizar (0N), comportamiento que podría ser explicado por los valores superiores en IAFV de los estratos en EC39 en los tratamientos protegidos con fungicida o fertilizados. El mismo comportamiento pudo ser observado en el cultivar Baguette 11, respecto a ACA 315 y ACA 303 cuya mayor tasa de caída del IAFV se debería a los mayores niveles de IAFV principalmente en EC39. Por su parte, se detectaron diferencias según el patógeno inoculado en la tasa de caída del IAFVHB para el periodo EC39-EC82. En este sentido, cuando se inoculó con *Py. tritici-repentis* se observaron tasas de caída superiores en relación a *P. triticina*, comportamiento que se debería a los valores superiores de IAFVHB en EC39 y EC60 dado que la mancha amarilla es una enfermedad que progresa desde estratos inferiores hacia los superiores (Moreno 2014) y en ese momento la severidad en hoja bandera no es tan significativa.

La DAFVHB es particularmente importante para la generación de rendimiento en trigo, debido a que es la última hoja en senescer, intercepta más luz que las hojas de estratos inferiores y es la más próxima a los destinos (granos dentro de las espigas). La fotosíntesis producida por la hoja bandera en trigo contribuye con un 30-50% de los fotoasimilados para el llenado de grano, es por ello que, la longevidad de ésta se correlaciona estrechamente con la acumulación de materia seca en el grano. Por lo tanto, cualquier estrategia para proteger la senescencia de la misma es fundamental para asegurar altos rendimientos y calidad (Blandino & Reyneri 2009). En este sentido, se ha demostrado que los fungicidas foliares son capaces de prevenir las pérdidas de rendimiento en presencia de enfermedades mediante el mantenimiento verde de la hoja bandera en post-antesis, lo que le permite al cultivo absorber más radiación incidente (Bryson *et al.* 1997). Dimmock & Gooding (2002a) hallaron que la inclusión de estrobilurinas en los fungicidas para el control de enfermedades foliares en trigo se asoció con aumentos en el rendimiento en grano dado por un mayor PMG relacionados a una prolongación del periodo verde de la hoja bandera. Sin embargo, no se dispone de información del efecto de las carboxamidas en el rendimiento vinculados a la duración del periodo verde del cultivo. La prolongación del periodo verde de la hoja bandera por medio de fungicidas podría colaborar en la estabilidad del rendimiento particularmente en los cultivares

actuales cuyo mayor potencial de rinde se basa en un mayor NGE, y donde la cantidad de fuente fotosintética se encuentra más ajustada en relación a la cantidad de destinos.

Uno de los objetivos de este trabajo fue investigar si una mezcla triple de TEC contribuye a las ganancias de rendimiento por una prolongación del periodo verde de la hoja bandera por encima de una mezcla doble de TE. Los resultados demostraron que los mayores incrementos de rendimiento debidos a la aplicación de fungicidas TEC pueden ser en parte explicados por un mejor control de la enfermedad, así como también por un incremento en la DAFVHB por encima de mezclas dobles de TE. En este sentido, la triple mezcla TEC no solo redujo los niveles de enfermedad, sino que además incrementó la DAFVHB en un +11,8% en relación al tratamiento de TE, implicando un mayor NGT y PMG que se tradujeron en mayores rendimientos. Estudios previos realizados en macetas por Fleitas *et al.* (2015) con roya de la hoja y diferentes mezclas de fungicidas, observaron que la triple mezcla conteniendo una carboxamida incrementó de manera significativa el NGE y el PMG por sobre mezclas dobles sin el principio activo. En este sentido, estudios recientes (Smith *et al.* 2013) han demostrado que el aumento del rendimiento en un cultivo tratado con carboxamidas supera al que puede explicarse simplemente a través de un buen control de la enfermedad. La evidencia obtenida recientemente por Smith *et al.* (2013), sugiere que además de controlar los síntomas visibles de la enfermedad, la carboxamida Fluxapyroxad es capaz de ejercer efectos positivos sobre la fisiología de la planta que involucran un aumento de la duración del tejido verde, un retraso en la senescencia y un incremento en la tasa de fotosíntesis. Asimismo, Berdugo *et al.* (2012) verificaron que otro inhibidor de la SDH (Bixafem) demoró la senescencia de espigas y hojas durante el llenado de grano, lo que resultó en mayores rendimientos. Sin embargo, esta evidencia fue obtenida en condiciones controladas que distan mucho de las condiciones reales a campo donde las plantas crecen en comunidad bajo el efecto de estreses bióticos y abióticos que pueden ser muy fluctuantes.

Por otro lado, la información sobre el efecto de enfermedades foliares y fungicidas en el porcentaje de proteínas en los granos presenta resultados contrastantes (Rees *et al.* 1982; Ash & Brown 1990; Clark 1993; Kelley 1993; Herrman *et al.* 1996; Puppala *et al.* 1998; Arabi *et al.* 2007; Blandino & Reyneri 2009; Liaudat 2011; Simón *et al.* 2012; Fleitas *et al.* 2015; Castro 2016). Trabajos realizados por Dimmock & Gooding (2002b) y Gooding (2006) indican que cuando los patógenos controlados con fungicida son necrotróficos, la concentración de proteínas disminuye dado que el patógeno provoca mayor daño sobre la acumulación y partición de almidón en el grano que el que provoca sobre la acumulación y partición del N. Contrariamente, cuando predominan patógenos biotróficos, la infección puede ser más limitante para la acumulación de N en el grano que para la acumulación de carbohidratos lo que ocasiona que frecuentemente la concentración de proteína aumente al controlar las royas con fungicidas. Esto fue verificado recientemente por Schierenbeck *et al.* (2014b) quienes documentaron que si bien el patógeno biotrófico *P. tritici* causó similares disminuciones en el rendimiento, afectó más la removilización, absorción post-antesis y acumulación de N en granos que el necrotrófico *Py. tritici-repentis*. Sin embargo, existen instancias donde ha ocurrido lo inverso, es decir, la aplicación de fungicidas para el control de royas ocasionó disminuciones del CPG dependiendo del cultivar, tipo de fungicida y año de estudio (Broadfoot

1931; Rees & Symme 1981; Myram & Kelly 1981). Existirían entonces, situaciones donde el control de royas puede reducir el CPG, pero los ejemplos son más leves y menos consistentes que cuando ocurre lo contrario.

En el presente trabajo, donde se realizaron inoculaciones artificiales y en forma separada con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*, la aplicación de fungicidas provocó incrementos en el CPG cuando predominó la roya de la hoja y disminuciones cuando predominó la mancha amarilla en relación a los tratamientos sin protección. Esto coincide con lo observado por Gooding *et al.* (1994), Fleitas (2011) y Castro (2016) quienes verificaron que cuando se controló el patógeno hemibiotrófico *M. graminicola*, el CPG disminuyó, de donde se puede inferir bajo las condiciones ensayadas, es la fase necrotrófica la que predominó. Por su parte, el incremento de CPG al controlar la roya de la hoja por medio de fungicidas observada en el presente estudio coincide con lo reportado previamente por Herrman *et al.* (1996) y más recientemente por Fleitas *et al.* (2015) en nuestro país. Sin embargo, en el presente estudio, la interacción *Patógeno* × *Fungicida* × *N* × *Cultivar* fue significativa, evidenciando una respuesta diferencial según el patógeno inoculado, el tratamiento de fungicida, la dosis de N aplicada y el cultivar. Esto se debió a que en un cultivar susceptible a ambas enfermedades como Baguette 11, en los tratamientos enfermos con mancha amarilla, la aplicación de fungicidas diluyó el CPG ya que la enfermedad generó un efecto de concentración. Dichas disminuciones pudieron ser compensadas con la máxima dosis de 140 N donde se podrían compatibilizar altos rendimientos con adecuados niveles de proteína (zona 3, Fig. 3.1). Contrariamente, cuando el mismo cultivar se enfermó con roya de la hoja, los incrementos en la dosis de N no necesariamente disminuyeron el CPG por incrementos en la severidad, por el contrario, la fertilización nitrogenada tendió a incrementarla en los tratamientos sin fungicidas. Esto se debería a que, bajo las condiciones de este estudio, el efecto del N fue más determinante sobre el CPG que sobre la severidad de la enfermedad.

Por su parte, en el cultivar ACA 303 de menor aptitud panadera (pero con mejor comportamiento sanitario que Baguette 11), se verificó que la fertilización nitrogenada y los fungicidas tendieron a incrementar el CPG independientemente del tipo de enfermedad; aunque mucho menos que el cultivar ACA 315 de similar comportamiento sanitario, pero de mejor aptitud panadera. La eficiencia de absorción, acumulación y removilización de N en cultivares de mejor aptitud panadera ha sido documentado por varios autores (Dimmock & Gooding 2002b; Castro 2016). Asimismo, Clark (1993) encontró que el CPG con el uso de fungicidas se vio mucho menos afectado en aquellos cultivares de buena aptitud panadera. Más aún, Puppala *et al.* (1998) verificaron un aumento en la concentración de proteínas con el control de la enfermedad en un cultivar con alto contenido de proteínas.

Por otra parte, la interacción entre el N y las enfermedades foliares sobre la calidad de trigo es compleja y ha sido poco investigada. En este sentido, Dimmock & Gooding (2002b) han señalado que las disminuciones del CPG debidos al control de enfermedades pueden ser atenuadas a través de la fertilización nitrogenada, ya que elevados niveles de N o aplicaciones tardías del nutriente incrementan la acumulación de proteínas en grano (Ayoub *et al.* 1995; Chidichimo *et al.* 1998; García *et al.* 1998; Godfrey *et al.* 2010). Coincidiendo con los resultados de este trabajo, recientemente Castro (2016) documentó en Argentina que las reducciones

del CPG debidas al incremento de la DAFV del cultivo por aplicaciones de fungicidas para el control de mancha de la hoja, tendieron a ser menores en los tratamientos fertilizados.

Las propiedades reológicas de las masas han recibido mucha atención durante los últimos años y son consideradas de gran importancia en la determinación de la calidad panadera de las harinas de trigo (Ktenioudaki *et al.* 2010). Es posible que variaciones en el contenido de proteínas en grano debido al uso de fungicidas para el control de patógenos biotróficos y necrotróficos conlleven a variaciones en las propiedades reológicas de la masa. Sin embargo, Kelley (1993) no observó efectos significativos del fungicida sobre el CPG. Bajo las condiciones del presente estudio, y en concordancia con Peltonen & Karjalainen (1992), la aplicación de fungicidas para el control de enfermedades foliares prolongó la DAFV y la DAFVHB lo que implicó incrementos en el rendimiento y del CPG. Esto se explicaría porque la longevidad de la hoja bandera también está asociada a la acumulación de N (y por ende de proteínas) en el grano (Pepler *et al.* 2005a, b). Por lo antes mencionado, es probable que los incrementos en la DAFV y DAFVHB en el tratamiento de TEC, que a su vez se tradujeron en mayores rendimientos y CPG, hayan implicado mejoras superiores respecto de TE sobre los parámetros de calidad panadera.

En el presente trabajo, si bien el CPG fue significativamente inferior en las parcelas inoculadas con *P. triticina*, no se observaron diferencias significativas en el gluten húmedo y parámetros de calidad alveográfica y farinográfica entre patógenos, si bien la tendencia fue que presentaron menores valores cuando predominó la roya de la hoja (Tabla 3.9 y 3.11). Por otro lado, el efecto de triazoles y su combinación con estrobilurinas sobre el CPG y parámetros de calidad panadera han sido ampliamente estudiados en Argentina (Fleitas 2011; Castro 2016) y otras partes del mundo (Ruske *et al.* 2003; Wang *et al.* 2004; Cátedra Cerón & Solís Martel 2003; Blandino *et al.* 2009). Sin embargo, el efecto de una mezcla triple conteniendo carboxamidas es inexistente probablemente debido a que se ha incorporado su uso hace relativamente poco tiempo.

Bajo las condiciones de este estudio, la aplicación de fungicidas incrementó el CPG, los niveles de gluten húmedo, los parámetros alveográficos de *P*, *L* y *W* y los farinográficos de *A* y *D*, así como también el volumen de pan. La relación *P/L* se mantuvo estable dado que tanto el *P* como el *L* aumentaron prácticamente en igual proporción bajo los tratamientos de fungicidas, lo que indica que es posible obtener masas equilibradas con aplicación de fungicidas. Por su parte, los incrementos de los parámetros alveográficos y farinográficos previamente indicados, fueron consistentemente mayores con el tratamiento de TEC en relación al tratamiento de TE. Además, el incremento de los mismos con la aplicación de fungicidas fue independiente del tipo de patógeno inoculado, a pesar de la interacción significativa *Patógeno* × *Fungicida* para el CPG previamente mencionada. Esta variación, respecto a lo que sucede con la proteína y el gluten, permiten inferir que algunos parámetros reflejan un comportamiento fenotípico menos modificable por factores de manejo que el contenido de gluten y proteína. Esto se debería a que, si bien estos parámetros están estrechamente asociados al CPG, existe un cierto porcentaje que no se encuentra explicado por esta variable (como se pudo observar en la Tabla 3.12 del presente capítulo). Asimismo, García *et al.* (2001) encontraron que, si bien los porcentajes de proteínas y gluten pueden

estimarse recíprocamente, ninguno de ellos mostró una asociación significativa con *W*. En el mismo sentido, Castro (2016) observó que, aunque el CPG se incrementó significativamente con la mancha de la hoja, los parámetros del alveograma y farinograma medidos en las muestras de harina no mostraron resultados consistentes. Por otro lado, y para la misma enfermedad, Gooding *et al.* (1994) hallaron que, a pesar de las reducciones del CPG debidas al control de la enfermedad, la calidad general del pan mejoró con la aplicación de fungicidas.

Tal como se ha señalado anteriormente, la magnitud del efecto del genotipo y del ambiente difiere entre la mayoría de los parámetros de calidad y a pesar de los numerosos estudios no existe un consenso general sobre cuál de los dos es más influyente (Vázquez *et al.* 2012). Algunos estudios concluyen que el factor genético es el más importante (Souza 2004; Dencic *et al.* 2010) en tanto que otros indican que el ambiente es el que prevalece (Finlay *et al.* 2007; Johansson *et al.* 2003). Esto depende del tipo de parámetro de calidad considerado, ya que algunos son más estables en tanto que otros son más variables. Por ejemplo, se ha sugerido que existe una fuerte influencia ambiental, mucho más importante que la genética, sobre la relación *P/L* (Cuniberti 1998), la proteína y el gluten (Chidichimo *et al.* 1998). En cambio, para el caso específico del *W*, el comportamiento genotípico es más decisivo (Chidichimo *et al.* 1998).

Estudios realizados por Castellarín *et al.* (2004), han verificado aumentos significativos de rendimiento y calidad de trigo con aplicación de fungicidas según tipo de molécula fúngica, cultivar y momento de aplicación respecto a testigos enfermos. En un mismo sentido, estudios realizados por González Montaner & Di Nápoli (2005) señalan que cuando se emplean fungicidas en torno a espigazón para el control de la mancha de la hoja, aparecen efectos negativos sobre las variables de calidad, particularmente sobre el *W* y el *D*. Esto podría deberse a que, ante una mejora del área foliar por la aplicación de fungicidas, el CPG podría reducirse por un efecto de dilución, con una consecuente caída en los parámetros reológicos de calidad panadera. Por su parte, Fleitas (2011) halló que, en un cultivo enfermo con mancha de la hoja, el fungicida disminuyó significativamente el *P* y el *W* mostró una tendencia a incrementarse. Asimismo, Cuniberti *et al.* (2004) verificaron disminuciones en el *W* y el volumen de pan cuando se aplicaron fungicidas, aunque con una respuesta positiva en el rendimiento, CPG y gluten en la mayoría de los cultivares evidenciando que no necesariamente un aumento en el CPG y gluten se traducen en incrementos de *W* y volumen de pan. Por otro lado, y coincidiendo con los resultados de este estudio, Blandino & Reyneri (2009) hallaron beneficios consistentes en el *W* con el uso de fungicidas conteniendo triazoles + estrobilurinas, aunque no encontraron diferencias significativas en la variable *P/L*. Podría especularse que, en ese caso, aumentó la acumulación tanto de gluteninas como de gliadinas por la prolongación del periodo de llenado lo que mantuvo el balance del *P* y el *L*. En contraposición, Cátedra Cerón & Solís Martel (2003) no encontraron diferencias significativas de *W* y *P/L* con o sin fungicidas. Más aún, Castro (2016) analizando en efecto de fungicidas conteniendo triazoles y triazoles + estrobilurinas para el control de mancha de la hoja en cultivares de diferente grupo de calidad, verificó que los principios activos no tuvieron un impacto diferencial sobre las variables alveográficas y farinográficas a pesar de que sí verificó efectos sobre el CPG. Por su parte, Wang *et al.* (2004) no hallaron diferencias significativas en

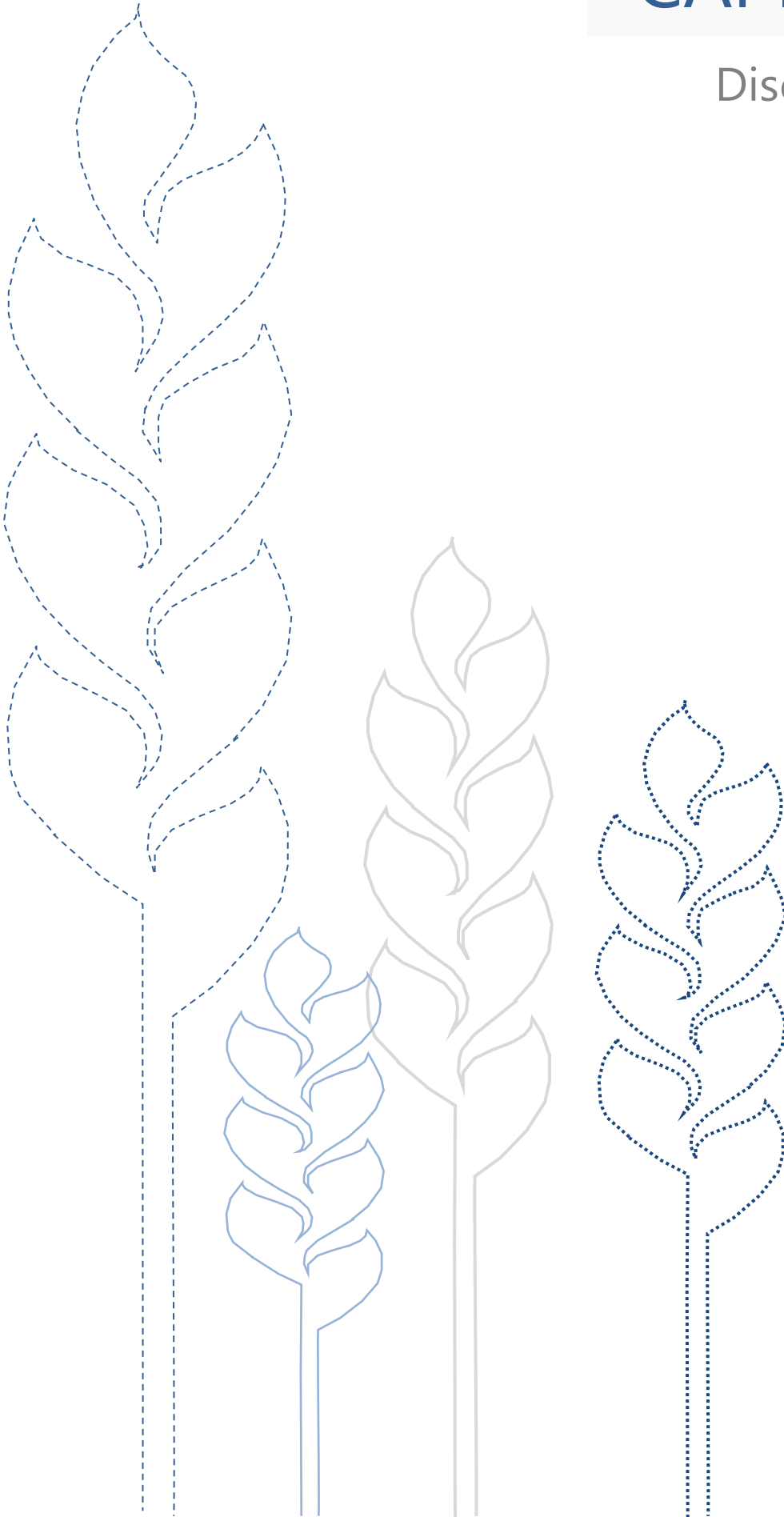
las propiedades reológicas de la masa entre los tratamientos con y sin fungicidas del grupo de los triazoles y de las estrobilurinas.

El efecto combinado de fungicidas y N generó efectos mayores sobre los parámetros de gluten húmedo y reológicos de calidad panadera. Es posible que la combinación de esas prácticas de manejo pueda provocar mayores niveles de CPG que las ocasionadas de manera individual. El efecto de la fertilización nitrogenada sobre el CPG y parámetros de calidad panadera ha sido ampliamente documentada (Ayoub *et al.* 1994; Chidichimo *et al.* 1998; López Bellido *et al.* 1998; Ruske *et al.* 2003; Garrido Lestache 2004, 2005; Fuertes-Mendizábal *et al.* 2010; Fleitas 2011; Castro 2016). Bajo las condiciones de este estudio, las dosis crecientes de fertilización nitrogenada impactaron de manera positiva y contundente sobre los parámetros reológicos analizados y volumen de pan, explicados en cierta manera por el incremento del CPG con estos tratamientos (Tabla 3.12). Contrariamente, Fleitas (2011) y Castro (2016) no observaron mejoras significativas en las variables farinográficas ante dosis crecientes de N, aunque sí verificaron efectos positivos sobre el *P* y el *W* los que tendieron a incrementarse.

Por otro lado, y coincidiendo con observado por Robert & Denis (1996), Chidichimo *et al.* (1998), Fleitas (2011) y Castro (2016), los cultivares ensayados presentaron parámetros de calidad alveográficos y farinográficos acordes a lo esperado según su aptitud panadera (grupo de calidad al que pertenecen). Contrariamente, Peña *et al.* (2007) encontraron diferencias en las variables alveográficas de *W* y *P/L* para un mismo cultivar en las distintas localidades donde se llevaron a cabo los ensayos. En el presente estudio, el cultivar de mejor aptitud panadera ACA 315, fue el que registró los mayores incrementos de *W* con la fertilización nitrogenada, explicado por los mayores niveles de CPG observados. Esto coincide con lo señalado por Renzi *et al.* (2007) quienes verificaron que cuando aumenta el porcentaje de proteínas en cultivares del grupo de calidad 1, el *W* se incrementa, mientras que en los cultivares del grupo 3 el *W* aumenta de una manera menos acentuada. A través del manejo se puede aumentar el porcentaje de proteínas tanto en cultivares del grupo 1 como en los de grupo 3, pero al fertilizar cultivares del grupo 1, si esa fertilización genera aumentos en el porcentaje de proteínas en general aumenta el *W*, mientras que en cultivares del grupo 3, un porcentaje de proteínas alto no necesariamente implica un aumento en *W* (Fleitas 2011). En este sentido, García *et al.* (2001) observaron una relación positiva entre el agregado de N y el *W* para el cultivar Buck Guapo (grupo de calidad 1) sin embargo sucedió lo opuesto con el cultivar Klein Escorpión de menor aptitud panadera (grupo de calidad 2). Asimismo, Chidichimo *et al.* (1998) no encontraron diferencias en los valores de *W* en un cultivar de calidad panadera deficitaria ante incrementos de la dosis de N aplicada contrariamente a otros cultivares ensayados de mejor aptitud panadera. Finalmente, cabe destacar el buen comportamiento del cultivar ACA 303 en lo referido a aptitud panadera, ya que dicho cultivar presentó muy pocas diferencias en rendimiento y en varios de los parámetros de calidad aquí evaluados con respecto a Baguette 11 (cultivar de grupo de calidad 2).

CAPÍTULO 4

Discusión general



A. Discusión general

Tal como fue descripto en los capítulos anteriores de esta tesis, las enfermedades foliares provocan importantes mermas en el rendimiento y calidad del cultivo de trigo pan tanto a nivel país como a nivel mundial. En este sentido, las plantas emplean una variedad de mecanismos heredados genéticamente para proteger sus tejidos y productos reproductivos del ataque de patógenos (Zuckerman *et al.* 1997). La tolerancia a enfermedades es un carácter particularmente deseable cuando las medidas preventivas de manejo de enfermedades son inaccesibles o ineficientes (Ney *et al.* 2013). Para un rango limitado de variedades se han encontrado diferencias en tolerancia a *M. graminicola* (Ziv & Eyal 1978; Zuckerman *et al.* 1997; Foulkes *et al.* 2006; Bancal *et al.* 2015; Castro 2016; Castro & Simón 2016). Sin embargo, no se dispone de información con respecto a la tolerancia de cultivares de trigo frente a mancha amarilla y existen pocos estudios sobre la tolerancia a roya de la hoja (Caldwell *et al.* 1958; Roberts *et al.* 1984). Además, la mayoría de los estudios han cuantificado la tolerancia a través de evaluaciones de severidad para lo cual se asume que (i) el área verde no varía entre genotipos, ambientes, dentro de la planta o a través del tiempo y (ii) que la expansión foliar no es afectada por la enfermedad. Por lo tanto, la predictibilidad del nivel de enfermedad es muy variable y es difícil extrapolarlas a otras condiciones, restringiendo su uso universal. Por otro lado, se ha sugerido que la tolerancia a enfermedades de trigo debería ser cuantificada no solo en función de la pérdida de rendimiento, sino también teniendo en cuenta la calidad del cultivo (Gaunt 1981). La mayoría de la evidencia en la literatura cuantifica la tolerancia en relación a la pérdida de rendimiento sin tener en cuenta el CPG y parámetros de calidad panadera (Roberts *et al.* 1984; Zuckerman *et al.* 1997; Parker *et al.* 2004; Foulkes *et al.* 2006; Bancal *et al.* 2015). Por otro lado, la bibliografía disponible sobre el efecto de las mezclas de fungicidas conteniendo carboxamidas sobre el rendimiento son escasos y no existen estudios del impacto de este principio activo en el control de mancha amarilla y roya de la hoja y sus interactuando con la fertilización nitrogenada y sus implicancias en la calidad panadera de trigo pan, aspecto muy importante, teniendo en cuenta que el fin último del cultivo es la elaboración de pan. Por lo tanto, el principal objetivo de la presente tesis fue *“Detectar tolerancia a mancha amarilla y roya de la hoja en cultivares comerciales de trigo de diferente grupo de calidad, y luego evaluar su comportamiento bajo fertilización nitrogenada y aplicación de diferentes principios activos de fungicidas, con su consecuente impacto sobre el rendimiento y la calidad panadera”*.

A.1. Detección de tolerancia y su efecto sobre el rendimiento y calidad panadera en cultivares de trigo de diferente grupo de calidad afectados por mancha amarilla y roya de la hoja

Los resultados descriptos en el Capítulo 2 demostraron que existen cultivares argentinos con tolerancia a mancha amarilla y a roya de la hoja por separado, aunque algunos, evidenciaron tolerancia a ambas enfermedades. Dicha tolerancia no tuvo un efecto claro sobre los parámetros de calidad panadera ensayados en este estudio, en línea con lo observado por trabajos previos realizados recientemente en Argentina para mancha de la hoja

en el cultivo de trigo (Castro 2016). En este sentido, si bien las enfermedades redujeron el IAFV, algunos cultivares presentaron menores reducciones de rendimiento por cada unidad en días del IAFV disminuido. Por lo tanto, estos resultados permiten aceptar la primera y la segunda hipótesis planteadas en esta tesis: “*Existen diferencias de tolerancia a la mancha amarilla ocasionada por patógeno necrotrófico Py. tritici-repentis en genotipos de trigo*” y “*Existen diferencias de tolerancia a la roya de la hoja ocasionada por patógeno biotrófico P. triticina en genotipos de trigo*”. Asimismo, estos resultados también permitieron aceptar parcialmente la tercer hipótesis “*La tolerancia de los cultivares de trigo difiere según el hábito nutricional (necrótrofo / biótrofo) del hongo patógeno con el que interactúa*” ya que, si bien algunos cultivares tolerantes a la mancha amarilla no lo fueron a la roya de hoja, existieron dos cultivares que evidenciaron tolerancia a ambas enfermedades demostrando que particularmente en estos genotipos (BioINTA 3004 y Klein Guerrero), la tolerancia fue independiente del hábito nutricional del patógeno considerado. Autores como Paveley *et al.* (2005) mencionan que algunos atributos de tolerancia podrían resultar efectivos frente a un amplio rango de patógenos. Contrariamente, Foulkes *et al.* (2006) documentaron mayor tolerancia a *P. striiformis* (biotrófico) que a *M. graminicola* (hemibiotrófico). Sin embargo, el principal inconveniente con este estudio, es que se ensayaron diferentes genotipos en diferentes ambientes, lo que en parte pudo haber explicado las diferencias de tolerancia a dichos patógenos. En el presente estudio, las diferencias de tolerancia entre patógenos de diferente hábito nutricional, pudieron ser apropiadamente analizadas ya que se compararon ambas enfermedades directamente sobre genotipos comunes bajo el mismo ambiente.

Por otro lado, los resultados del Capítulo 2 permitieron corroborar la frecuente asociación negativa entre la tolerancia y el potencial de rendimiento de los cultivares coincidiendo con lo documentado a nivel mundial tanto para trigo (Foulkes *et al.* 1998; Newton *et al.* 1998; Parker *et al.* 2004) como en cebada (Kramer *et al.* 1980; Parker *et al.* 2004; Bingham & Topp 2009). Por ejemplo, estudios realizados por Foulkes *et al.* (1998), observaron que los cultivares que evidenciaron tolerancia demostraron tener una baja EUR. Es probable que esta asociación se deba a que aquellos genotipos de elevado potencial de rendimiento que operan cercanos a la máxima EUR, sean menos capaces de compensar las pérdidas de tejido verde sano incrementando la EUR en el tejido verde remante. De manera que los cultivares de menor potencial de rendimiento, cada unidad de IAFV remanente podría llegar a ser más productiva. Sin embargo, esta conclusión no es tan lineal ya que podrían existir cultivares tolerantes con elevada EUR donde existan otros mecanismos de compensación que estén mediando para limitar la pérdida de rendimiento. Probablemente este sea el motivo por el cual algunos autores como Castro (2016), Tvaruzek & Klem (1994) y Bancal *et al.* (2015) no observaron una asociación negativa entre el potencial de rendimiento del cultivar ensayado y la presencia de tolerancia, indicando que es posible obtener cultivares de elevado potencial de rendimiento con adecuados niveles de tolerancia. Si bien la mayoría de los estudios sobre tolerancia a enfermedades hallan lo contrario, ésta es una hipótesis que debería ser probada de manera más rigurosa probablemente utilizando cultivares donde todos los genotipos posean potenciales de rendimiento similares.

En general se asume que los cultivares de mayor potencial de rendimiento poseen una calidad deficiente. Sin embargo, los resultados del Capítulo 2 demostraron que no necesariamente los cultivares de grupo de calidad 1 (de mejor aptitud panadera) fueron los de menor potencial de rendimiento indicando que es posible obtener variedades de elevado potencial de rinde con un adecuado comportamiento de calidad panadera. En este sentido, estudios realizados por Castro (2016), quien documentó la existencia de tolerancia a la mancha de la hoja en cultivares de trigo argentinos de diferente grupo de calidad, no detalla si el potencial de rendimiento estuvo asociado o no a cultivares de menor aptitud panadera. Por otro lado, el presente estudio demostró también que los cultivares tolerantes, frente al desarrollo de las enfermedades aquí ensayadas, no necesariamente tendieron a reducir el CPG, GH, VP y parámetros alveográficos y farinográficos de calidad panadera dado por una dilución del CPG derivados de una menor pérdida de rendimiento en comparación a cultivares sensibles (no tolerantes) lo que conduce a rechazar la hipótesis “*Un cultivar tolerante a la enfermedad (i.e. mantiene o reduce en menor proporción el rendimiento ante la expresión de síntomas causadas por el ataque de un patógeno) podría reducir su contenido de proteína en grano y desmejorar la calidad respecto de un cultivar sensible (i.e. no tolerante)*”. Esto podría explicarse porque el CPG no sólo es el resultado de la severidad de una enfermedad y tipo de patógeno, sino la consecuencia de complejas interacciones que tienen lugar entre el ambiente, el momento de infección y aparición de síntomas, el manejo cultural (como la fertilización, tipo de fungicidas y sistema de labranza) y el cultivar elegido, que determina el nivel de resistencia al patógeno y tolerancia a la enfermedad y que además difiere en la capacidad de absorción y asimilación de N.

Otro aspecto importante a considerar es el efecto de las enfermedades foliares sobre el CPG y parámetros de calidad panadera, vinculado al hábito nutricional del patógeno considerado. En el presente estudio, existieron diferencias en dirección y magnitud del efecto de las enfermedades ensayadas sobre el CPG y algunos parámetros de calidad panadera (Fig. 4.1). Así, la mancha amarilla generó incrementos en el CPG en tanto que, con roya de la hoja, ocurrió lo contrario. Dichos efectos fueron mucho más contundentes con mancha amarilla que con roya de la hoja explicados por el impacto diferencial sobre los atributos ecofisiológicos que determinan el rendimiento (Fig. 4.1). Estudios realizados por Schierenbeck *et al.* (2014b) para este mismo ensayo verificaron que, si bien *P. triticina* causó similares disminuciones en el rendimiento que *Py. tritici-repentis*, el primero afectó más la removilización de N que el segundo. Dado que para el patosistema *P. triticina*-trigo de este estudio se confirmó que EUR es lo que más se afecta (Schierenbeck 2015; Schierenbeck *et al.* 2016) (Fig. 4.1), es de esperar que la removilización y acumulación de N sea la más afectada y por lo tanto el CPG se diluya. Sin embargo, existen instancias donde ha ocurrido lo inverso, es decir, la enfermedad generó incrementos o no tuvo efectos sobre el CPG dependiendo del cultivar, tipo de fungicida utilizado y el año de estudio (Broadfoot 1931; Rees & Symme 1981; Myram & Kelly 1981; Ash & Brown 1990). Esto podría explicarse porque ante ataques muy severos de roya de la hoja, el área verde disminuye marcadamente, lo que reduce la producción de carbohidratos y hace que además exista una menor cantidad de nitrógeno vinculada con una menor área verde. Existirían entonces, situaciones donde el control de royas puede no tener efectos o reducir el

CPG, pero los ejemplos son más leves y menos consistentes que cuando ocurre lo contrario. Asimismo, esto podría estar explicado por el momento de infección del patógeno y expresión de los síntomas de la enfermedad, que genera desbalances en la relación fuente de N/destinos. En este sentido, infecciones tardías, donde el número de granos a ser llenados se encuentra determinado, el área verde pero principalmente la removilización de N se ve afectada y por lo tanto el CPG se reduce. Contrariamente, con infecciones severas previas a anthesis, si se reduce el número potencial de destinos y si el N disponible no es limitante, podría ser suficiente para mantener o incrementar el CPG. Es probable que el último aspecto sea lo menos frecuente, dado que las condiciones climáticas (fundamentalmente de temperatura) para el progreso de la roya de la hoja se presentan en los últimos estadios en nuestras latitudes para la mayoría de los casos. Sin embargo, a pesar de que la mancha amarilla tendió a incrementar el CPG y la roya de la hoja a disminuirla, no todos los parámetros de calidad siguieron la misma tendencia, por lo que estos resultados permiten aceptar parcialmente la segunda hipótesis planteada: *“En un mismo ambiente la roya de la hoja tiende a disminuir el contenido de proteína en grano y consecuentemente desmejora las variables de calidad en tanto que la mancha amarilla tiende a aumentarlo”*, ya que algunos parámetros como la relación P/L, el B y el E no fueron afectados. Esto se explicaría porque si bien los parámetros de calidad panadera están relacionados con el CPG, existe una parte considerable de estos parámetros que no está explicado por el CPG. Inclusive, la misma relación gluten/proteína que posee una estrecha asociación, se modifica según el año considerado. Por ejemplo, en la última campaña triguera (2016/17), que también se caracterizó por rendimientos elevados con baja proteína promedio (9,8%), resultó ser de buena calidad ya que produce glútenes altos para esos niveles bajos de proteínas, con un promedio de 23,3% superiores en 2-3% a la cosecha pasada, aumentando la relación gluten/proteína (Cuniberti *et al.* 2016).

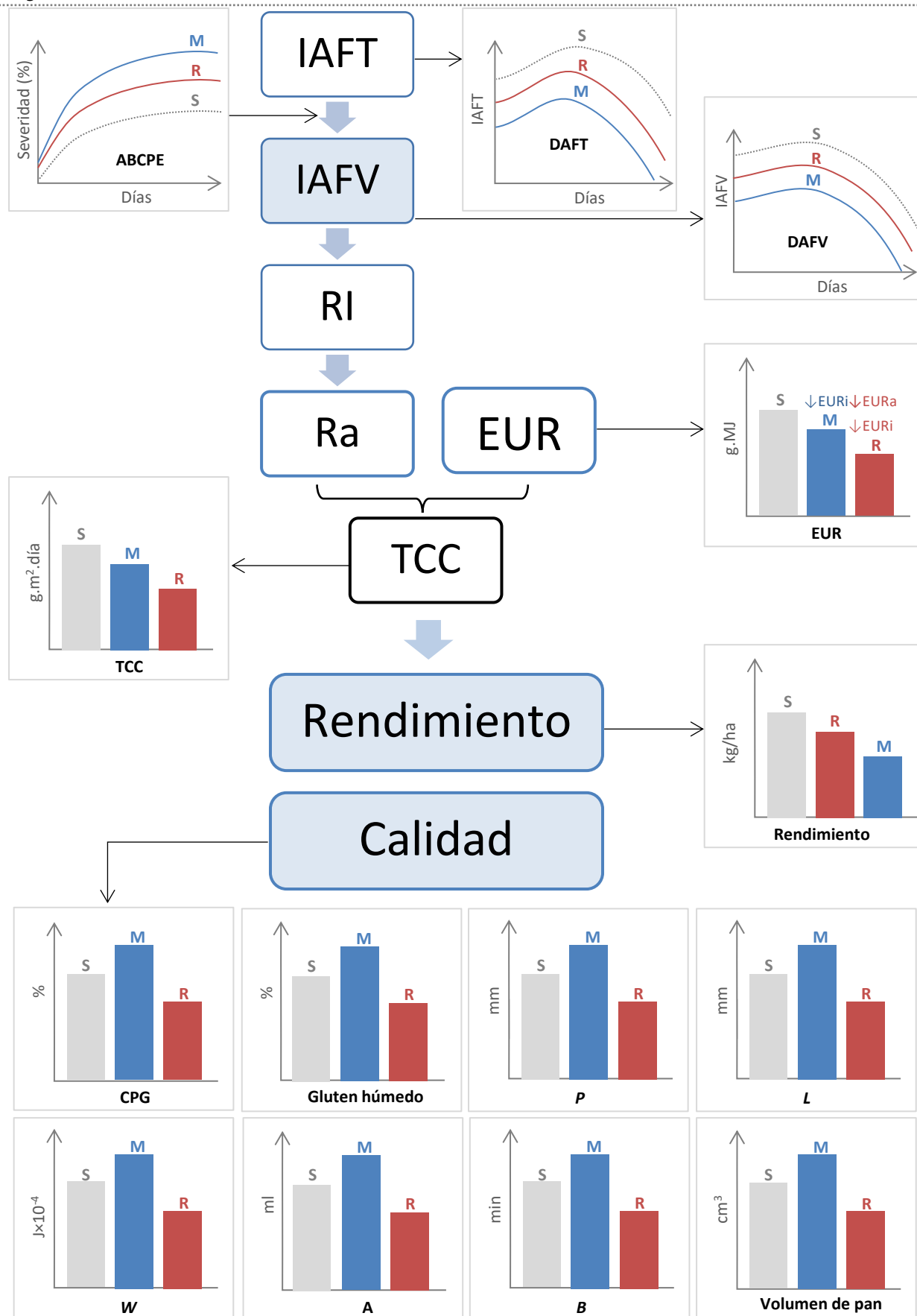


Figura 4.1. Esquema general del efecto de las enfermedades en el ensayo de tolerancia (Capítulo 2) sobre los parámetros/atributos que definen el rendimiento y la calidad estudiadas en esta tesis (cuadros celestes llenos) y aquellos estudiados por Schierenbeck (2015) a partir de éste mismo ensayo (cuadros vacíos). (Ra: radiación absorbida, TCC: tasa de crecimiento del cultivo, EURi: eficiencia de uso de la radiación interceptada, EURa: eficiencia de uso de la radiación absorbida (solo se definen las siglas que no están en las abreviaturas).

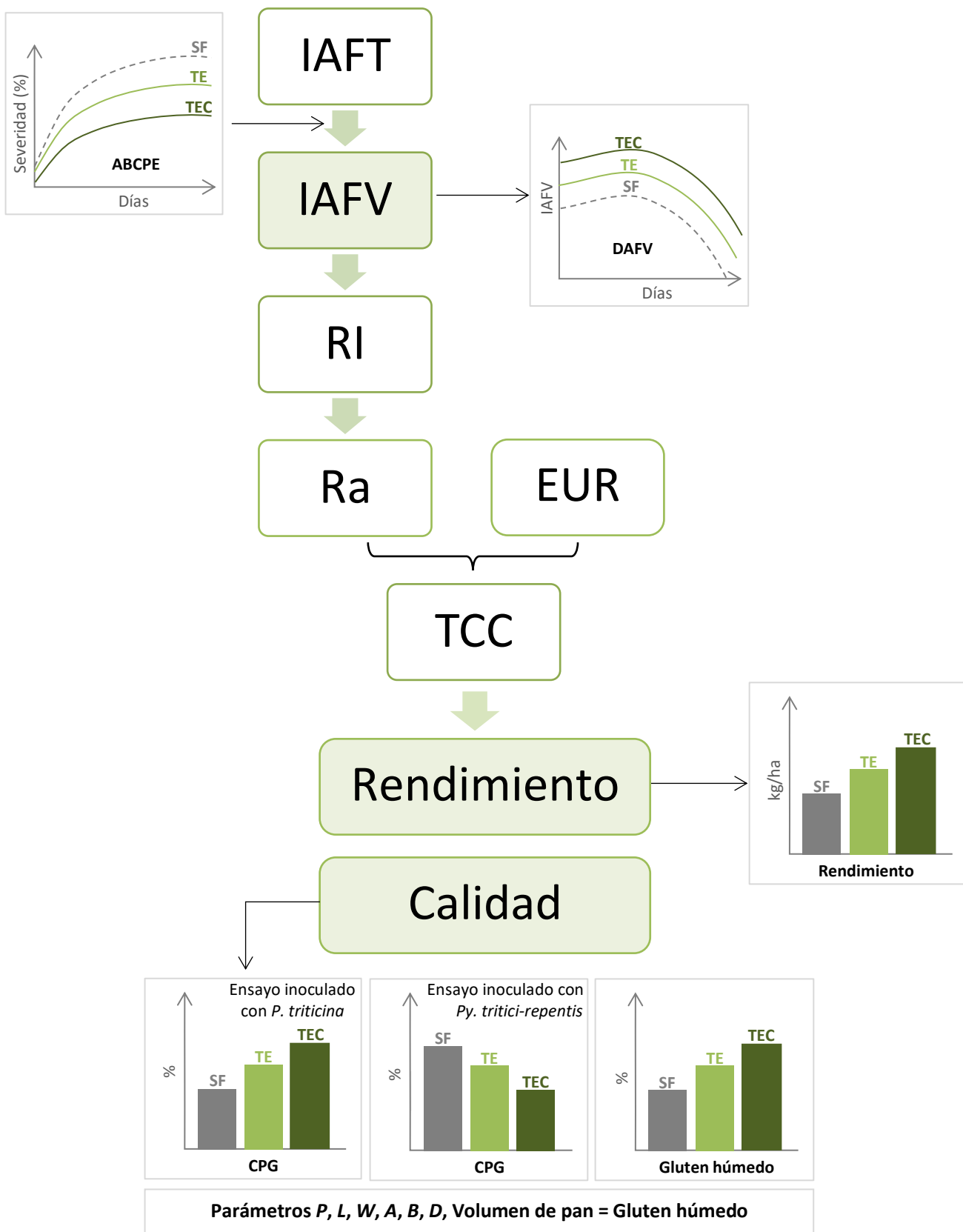


Figura 4.2. Esquema general del efecto de los fungicidas sobre las enfermedades en el ensayo de fungicidas y fertilización nitrogenada (Capítulo 3) sobre los parámetros/atributos que definen el rendimiento y la calidad estudiadas en esta tesis (cuadros celestes llenos) (Ra: radiación absorbida, TCC: tasa de crecimiento del cultivo (solo se definen las siglas que no están en las abreviaturas)).

Respecto al efecto del grupo de calidad sobre la estabilidad de la calidad panadera ante la presencia de enfermedades foliares, los resultados encontrados en el Capítulo 2 demostraron que existió un efecto significativo del componente genético del grupo de calidad en relación a la determinación de la calidad panadera lo cual permite aceptar la hipótesis planteada en esta tesis: *“Los cultivares pertenecientes al grupo de calidad 1, tienden a mantener una mejor calidad industrial en relación a los de inferior calidad, al ser afectados por patógenos”*. Esto es algo esperable ya que muchos de los cultivares de grupo de calidad 1, genéticamente tienen una tendencia a asimilar mejor el nitrógeno del suelo y dar en consecuencia un mayor CPG y mejores parámetros reológicos. Estos cultivares como genéticamente son de mejor calidad panadera, es lógico que se logre una mejor expresión de la misma en comparación a cultivares de menor grupo de calidad. Sin embargo, la relación P/L que es un importante indicador de aptitud panadera, poseen un fuerte componente ambiental. Esto se relaciona con el hecho de que las proteínas que determinan el P (gluteninas) y el L (gliadinas) se acumulan de manera independiente durante el llenado del grano, por lo que ante algún estrés la acumulación de las mismas puede verse afectada de manera desigual. Por ejemplo, en años en que se alarga el período de llenado de grano se observa un mayor P derivado de una mayor acumulación de gluteninas (Cuniberti 1998). Contrariamente, en años de estrés calórico, se obtienen masas de mayor L porque se acorta el período de llenado, no completándose la síntesis de gluteninas. Como ya fue mencionado anteriormente, tanto el W (con un componente genético importante) como la relación P/L (con un fuerte componente ambiental) son muy importantes en la definición del volumen de pan con una miga homogénea. Por ejemplo, suele ocurrir que W bajos con una baja relación P/L (mayor proporción de gliadinas), den altos volúmenes de pan, aunque el aspecto interior es deficiente ya que la miga es muy abierta. Por otro lado, una relación P/L elevada (por un mayor contenido de gluteninas) es una masa muy tenaz de la cual se obtendrá un pan de bajo volumen por más alto que sea el W de la masa. Teniendo esto en cuenta y realizando una analogía entre el estrés abiótico generado por calor con un estrés biótico generado por alguna enfermedad, podría esperarse que los tratamientos enfermos evidenciaran una menor acumulación de gluteninas disminuyendo la relación P/L . Sin embargo, esto no se observó para un cultivo protegido y sin síntomas de mancha amarilla a pesar de que las dos enfermedades provocaron reducciones de la DAFV del cultivo por lo que se podría decir que la acumulación de gliadinas y gluteninas ante un estrés biótico como alguna enfermedad es más compleja que el causado por un estrés abiótico ya que la planta está interactuando con un organismo vivo (patógeno) y podría llegar a depender del hábito nutricional del mismo como de otros factores.

A.2. Efecto de la fertilización nitrogenada y fungicidas sobre el área foliar verde, el rendimiento y la calidad panadera de cultivares de trigo de diferente grupo de calidad afectados por mancha amarilla y roya de la hoja

La evidencia en la literatura sobre el efecto del N en el progreso de las enfermedades muestra resultados contradictorios y las verdaderas causas son en general entendidas de

manera limitada. Estas inconsistencias quizás se deban a que los mecanismos involucrados son complejos y multivariados, los cuales incluyen un efecto directo del nutriente sobre el patógeno, sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo y sobre los mecanismos de resistencia de la planta (Walters & Bingham 2007). A su vez, tanto la forma de N aplicada, como el hábito nutricional del patógeno y el momento de aplicación, pueden influir en los resultados. En el Capítulo 3 se observó que la fertilización nitrogenada incrementó la severidad de la de roya en línea con lo documentado por otros autores (Daniel & Parlevliet 1995; Mascagni *et al.* 1997; Brinkman *et al.* 2014; Germán *et al.* 2016). Dicho incremento, generó disminuciones del CPG y gluten húmedo, aunque esto no necesariamente se tradujo en una disminución de parámetros reológicos de calidad panadera permitiendo aceptar parcialmente la hipótesis: *“La fertilización nitrogenada causa incrementos en la severidad de la roya de la hoja ocasionando disminuciones más importantes en el porcentaje de proteína y en las variables de calidad, que los tratamientos no fertilizados”*. Ante elevadas disponibilidades de N en el suelo, y por ende en la planta, la proporción de tejidos jóvenes se incrementa, los cuales son más susceptibles que tejidos más maduros. Asimismo, hay una elevada concentración de aminoácidos en el apoplasto y en la superficie foliar lo que podría promover la germinación de esporas de *P. triticina*. Además, se ha documentado que, ante elevadas disponibilidades del nutriente, el metabolismo de algunas enzimas claves en la síntesis de compuestos fenólicos disminuye, por lo que la cantidad de lignina en la hoja disminuye (Dordas 2008). De manera que los principales motivos por los cuales se incrementa la susceptibilidad a patógenos biotróficos son los cambios anatómicos, bioquímicos y morfológicos de la planta junto con incremento de compuestos orgánicos nitrogenados de bajo peso molecular utilizados como sustrato por el patógeno. Una mayor susceptibilidad a patógenos biotróficos puede ser también atribuida a la mayor humedad relativa dentro del cultivo generada por canopeos más densos bajo fertilización nitrogenada. Esto podría favorecer la germinación de las esporas de *P. triticina* teniendo en cuenta los requerimientos de humedad menos exigentes en cuanto a cantidad y duración en relación a patógenos necrotróficos (Moschini 2016). Por otro lado, en general se observa que el control de la roya de la hoja genera incrementos del CPG (Simón *et al.* 2012; Fleitas *et al.* 2015). En estas situaciones, podría especularse entonces que el efecto del fungicida, tanto sobre la mejora del área verde del cultivo (que implica que haya una mejor absorción y removilización de N hacia los granos durante el llenado), como sobre el patógeno (eliminación de las pústulas que actúan como destinos), es más importante que la reducción de área foliar verde que ocasiona el efecto inverso.

Respecto al efecto de la fertilización nitrogenada sobre la mancha amarilla, es este estudio se observó que incrementos en la dosis de N ocasionaron disminuciones en la severidad de la enfermedad, coincidiendo con Krupinski & Tanaka (2001), Krupinsky *et al.* (2007), Carignano *et al.* (2008), Simón *et al.* (2011) y Gerard *et al.* (2015). Dichas disminuciones de severidad ocasionaron menores pérdidas de rendimiento con una tendencia a menores aumentos del CPG, sin embargo, esto no necesariamente se tradujo en una desmejora de parámetros reológicos de calidad. En éste sentido, cuando se aplicaron fungicidas hubo una menor disminución del CPG en los tratamientos fertilizados. Por lo tanto, los resultados del Capítulo

3 permiten aceptar parcialmente la hipótesis: “La fertilización nitrogenada causa disminuciones en la severidad de la mancha amarilla ocasionando menores pérdidas de rendimiento con una tendencia a menores aumentos del porcentaje de proteína y en los parámetros de calidad panadera. Cuando se aplican fungicidas hay una menor disminución de las proteínas en los tratamientos fertilizados”. Podría especularse que un canopeo más denso dado por mayores IAF (derivados de la aplicación de N) limite el movimiento de esporas como ha sido sugerido por Lovell *et al.* (1997) y Lovell *et al.* (2004) para el patosistema *M. graminicola*-trigo. Sin embargo, se también se ha documentado lo contrario para *Fusarium graminearum* (teleomorfo *Giberella zaeae*), es decir, canopeos más densos facilitaron la transferencia de inóculo e infección del patógeno probablemente a través de un incremento de la producción de esporas derivadas de condiciones más conducentes para la infección de espigas. También se ha sugerido (Talbot *et al.* 1999; Snoeijers *et al.* 2000; Annone 2002) que la susceptibilidad a hongos necrotróficos aumenta ante bajas disponibilidades de N debido a que deficiencias sustanciales de N generan plantas más débiles con una menor capacidad de defensa. Por ejemplo, se ha verificado que la limitación de N compromete la expresión de la resistencia en plantas de *Arabidopsis thaliana* (Dietrich *et al.* 2004, 2005) sugiriendo que, ante una limitación del nutriente, la planta no invierte en metabolitos de defensa que contengan el mismo, de manera que estas plantas resultan ser más susceptibles. Sin embargo, es difícil realizar generalizaciones ya que esto depende claramente de la interacción patógeno-hospedante en particular.

Por otro lado, la DAFV tendió a incrementarse ante dosis decrecientes de N independientemente del tipo de patógeno inoculado. Sin embargo, la magnitud del incremento fue mucho más pronunciada en aquellas parcelas donde predominó la mancha amarilla, respuesta que podría estar explicada porque en las parcelas inoculadas con *Py. tritici-repentis* la DAFV no sólo se incrementó con dosis crecientes de N sino también porque presentó una menor severidad de mancha amarilla. Contrariamente, la DAFV no se incrementó tan marcadamente ante dosis crecientes de N porque esto generó una mayor severidad de roya de la hoja que la disminuyó. Por lo tanto, de los resultados obtenidos en este estudio se infiere que, bajo las condiciones exploradas en este trabajo, el efecto del N fue más importante sobre la generación de biomasa e IAFT que sobre los aumentos en la severidad causada por roya de la hoja. Diversos autores han documentado el efecto positivo del N sobre el IAFT, explicado por su efecto sobre el macollaje y la expansión foliar que juntos determinan el tamaño del canopeo (Hansen & Schjoerring 2003; De Giorgio & Fornaro 2012; Hawkesford 2014). Contrariamente, algunos autores han documentado asociaciones positivas entre la severidad de roya de la hoja y la biomasa del cultivo sugiriendo que la concentración de N en hoja fue más importante para el desarrollo de la enfermedad que para el tamaño del canopeo (Olesen *et al.* 2003). Estos autores observaron que aplicaciones tempranas de N incrementaron el NESP e IAFT pero que la severidad de la enfermedad también fue más elevada, por lo que el IAFV fue mayor en los tratamientos sin fertilizar. En este sentido, el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la biomasa del cultivo también podría condicionar la efectividad de fungicidas, dado que la misma genera canopeos densos (por mayores índices de área foliar) diluyendo la cantidad de fungicida aplicado por m² de hoja (Balardin *et al.* 2010).

En este sentido, recientemente Jensen & Jørgensen (2016) mencionan que sería beneficioso ajustar la dosis de fungicida en función de la densidad/biomasa del cultivo con el fin de aplicar una dosis constante por IAF, algo similar a lo que se ha venido desarrollando para el control de malezas por ambientes.

Los resultados del Capítulo 3 también demostraron que la triple mezcla TEC generó las mayores reducciones del ABCPE, y produjo los mayores incrementos en la DAFV y DAFVHB lo que se tradujo en los mayores incrementos de rendimiento por encima de la doble mezcla TE (Fig. 4.2). Esto coincide con lo documentado recientemente en Argentina por Maddaloni (2016), quien verificó un mejor control de mancha amarilla y roya de la hoja con el tratamiento de TEC respecto a TE, aún luego de 36 días posteriores a la aplicación. En un mismo sentido, Fleitas *et al.* (2015), quienes realizaron ensayos de eficacia residual de fungicidas foliares, observaron que la triple mezcla de TEC proporcionó un mejor control de roya de la hoja diferenciándose de manera significativa de varias mezclas dobles de TE y observaron que dicha triple mezcla mantuvo un porcentaje de control cercano al 60% aún a los 41 días posteriores a la aplicación en un cultivar altamente susceptible (Nidera Baguette 13) a roya de la hoja. Probablemente esto se deba no sólo a un control más eficiente de la triple mezcla sino también más prolongado en el tiempo, asociado a una menor posibilidad de reinfección a lo largo del ciclo. Estos resultados permiten aceptar la hipótesis: *“El principio activo del fungicida ejerce un control diferencial de las enfermedades, que conduce a un efecto diferencial sobre el rendimiento y la calidad panadera”*. Sin embargo, si bien el CPG disminuyó con el control de mancha amarilla y se incrementó con el de roya de la hoja, no se observaron diferencias significativas de gluten húmedo y parámetros de calidad alveográfica y farinográfica entre los patógenos inoculados (Fig. 4.2). En promedio, durante el 2014 la aplicación de fungicidas generó incrementos de gluten húmedo, los parámetros alveográficos de *P*, *L* y *W* y los farinográficos de *A* y *D*, así como también el volumen de pan (Fig. 4.2). La relación *P/L* prácticamente se mantuvo invariable dado que tanto el *P* como el *L* aumentaron prácticamente en igual proporción bajo los tratamientos de fungicidas, lo que indica que es posible obtener masas equilibradas con aplicación de fungicidas bajo ciertas condiciones. Por su parte, los incrementos de los parámetros alveográficos y farinográficos previamente indicados, fueron consistentemente mayores con el tratamiento de TEC en relación al tratamiento de TE. Esto podría deberse a que, bajo las condiciones de 2014, el fungicida podría haber favorecido la acumulación tanto de gliadinas y gluteninas, probablemente no sólo por un control más eficiente de la enfermedad sino también por un efecto directo sobre la planta. Se ha sugerido que la aplicación de estrobilurinas y carboxamidas, generan efectos positivos sobre la fisiología vegetal que luego se traduce en mayores rendimientos y que no están asociados a un control de enfermedad. Es probable que el fungicida también tenga un impacto sobre otros mecanismos fisiológicos que determinan la calidad del cultivo. Sin embargo, esta es una hipótesis que requiere ser probada con mayor rigurosidad. En general, el efecto de los fungicidas sobre parámetros reológicos de calidad panadera han sido escasamente estudiados. Posiblemente esto se atribuya a que la relación entre la calidad de las proteínas de trigo es extremadamente compleja por lo que no se utilizan parámetros puramente químicos para determinar la calidad del cultivo y en su lugar, se realizan análisis reológicos

que estudian el comportamiento de un cuerpo cuando es sometido a una deformación. Más aún, estos efectos se encontrarán condicionados por varios factores como el ambiente, el genotipo y prácticas culturales, fundamentalmente la fertilización nitrogenada, como los más relevantes.

B. Conclusiones

- ✦ Existen cultivares de trigo tolerantes a la mancha amarilla.
- ✦ Existen cultivares de trigo tolerantes a la roya de la hoja.
- ✦ Algunos cultivares presentan tolerancia a ambas enfermedades, en tanto que otros, presentan tolerancia a una sola enfermedad.
- ✦ En un mismo ambiente, la roya de la hoja disminuye el contenido de proteínas en grano y tiende a desmejorar algunas variables de calidad en tanto que, en un cultivo afectado por mancha amarilla, ocurre lo contrario.
- ✦ Un cultivar tolerante a la enfermedad, no reduce su contenido de proteína en grano ni desmejora la calidad panadera en relación a uno sensible (no tolerante).
- ✦ Cultivares del grupo de calidad 1 mantienen una mejor calidad panadera en relación a los de grupo de calidad 3 al ser afectados por patógenos.
- ✦ La fertilización nitrogenada incrementa la severidad de la roya de la hoja, pero esto no se traduce en disminuciones del contenido de proteínas en grano, ni en una desmejora de los parámetros de calidad panadera.
- ✦ La fertilización nitrogenada disminuye la severidad de la mancha amarilla, lo que ocasiona menores pérdidas de rendimiento y dilución de proteína (disminuye el contenido de proteínas en grano) que pueden ser prevenidas con fertilización nitrogenada.
- ✦ El fungicida que contiene la triple mezcla de triazol + estrobilurina + carboxamida ejerce un control diferencial sobre las enfermedades, lo que se traduce en diferencias de rendimiento y parámetros de calidad panadera en relación a la mezcla doble de triazol + estrobilurina.

C. Aportes de esta tesis y consideraciones finales

La presente tesis tomó en cuenta que hasta el momento no existen antecedentes a nivel mundial que hayan cuantificado diferencias de tolerancia a la mancha amarilla y a la roya de la hoja en genotipos comunes e iguales ambientes realizando inoculaciones artificiales y en forma separada con *Py. tritici-repentis* y *P. triticina*. Además, se tuvo en cuenta que la mayoría

de la bibliografía disponible, cuantifica la tolerancia sin considerar el impacto sobre la calidad panadera de trigo pan. En los últimos años, se han llevado a cabo progresos significativos en establecer diferencias de tolerancia a enfermedades en un número limitado de patosistemas. Asimismo, los esfuerzos dedicados a investigar la tolerancia han sido pequeños en comparación a los esfuerzos enfocados a identificar resistencia genética. La comprensión actual es insuficiente como para realizar una recomendación sobre cuál de las dos es más importante de ser incorporada en los programas de mejoramiento. Futuras investigaciones deberían considerar evaluar los atributos que condicionan tolerancia, evaluar el grado de interacción entre el genotipo \times ambiente y la posible compensación entre la tolerancia y caracteres agronómicos no deseados. Por ejemplo, es fundamental direccionar los estudios a la aparente asociación negativa entre la tolerancia y el rendimiento potencial del cultivo documentada en algunos patosistemas. Esto podría ocurrir, en aquellos cultivares con una ajustada relación fuente/destino donde la EUR estaría operando cercana a su capacidad máxima, con poca capacidad de compensación al daño foliar provocado por enfermedades.

Debido a que la probabilidad de éxito en la identificación de tolerancia depende en la forma de cuantificarla, sería recomendable identificar previamente a los posibles genotipos candidatos para adoptar un diseño experimental efectivo, ya que para identificar tolerancia y determinar los atributos que la condicionan, se debe evaluar un gran número de genotipos, lo cual implica mucho tiempo, por lo que seleccionar previamente las variedades sería de gran ayuda. También sería interesante estudiar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la resistencia a patógenos y la tolerancia a enfermedades e identificar qué cambios imparte dicho nutriente sobre el metabolismo de la planta y cómo puede ser éste utilizado para el manejo de enfermedades.

Por otro lado, esta tesis también tomó en cuenta la complejidad de las interacciones entre la fertilización nitrogenada, el desarrollo de enfermedades foliares y la aplicación de fungicidas sobre el rendimiento y la calidad panadera de trigo pan. El resultado de estas interacciones depende de varios factores que incluyen el ambiente, el hábito nutricional del patógeno, el principio activo del fungicida, la dosis de N aplicada, la susceptibilidad del hospedante y la aptitud panadera del cultivar. Probablemente sea éste el motivo por el cual la evidencia en la literatura presenta resultados contrastantes. A pesar de las numerosas inconsistencias sobre el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la expresión de enfermedades foliares de trigo existe suficiente bibliografía que indica que el N efectivamente incide en la severidad de enfermedades en un amplio rango de patosistemas.

Por otro lado, la aplicación de fungicidas en la producción de trigo provee beneficios tanto a productores como al mercado de cereales por brindar estabilidad en el rendimiento y la calidad. Además de las ganancias de rendimiento, se pueden obtener incrementos en la acumulación de N y, por lo tanto, de CPG, donde la mayoría de los parámetros de calidad pueden ser mejorados o no son afectados por el uso de fungicidas. Este estudio ha demostrado que para el caso de la aplicación de fungicidas cuando predominan las royas, el CPG se incrementa; mientras que cuando se controla mancha amarilla, las disminuciones son pequeñas o pueden ser prevenidas por fertilizaciones nitrogenadas en estados avanzados del cultivo con una baja relación costo/beneficio.

Finalmente, la tecnología de la triple mezcla TEC utilizada en el momento oportuno y aplicada de manera correcta, sería una de las más recomendables a la hora de pensar en la protección de cultivos sin elevados riesgos de generar resistencia dado que posee tres principios activos con diferentes mecanismos de acción. Además, porque posee una eficacia residual más prolongada, probablemente asociada a la menor posibilidad de reinfección. Asimismo, ésta mezcla generó el mejor control de las enfermedades ensayadas, prolongó la DAFV del cultivo y de la hoja bandera lo que se asoció a mayores rendimientos, incrementos de CPG y mejoras en parámetros de calidad panadera por encima de la mezcla doble TE.

Referencias bibliográficas

- Abbate PE (2016) Cambios en la calidad de trigo en respuesta al cultivar y el ambiente. 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
- Abeledo GL, García GA, Lo Valvo P, Serrago RA, Miralles DJ (2016) Evolución de las ganancias en el rendimiento de trigo a nivel regional en argentina: ¿cómo influyen la variabilidad ambiental y el progreso genético?. 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
- Adock C, Tasheva M (2012) Fluxapyroxad. Disponible en: www.inchem.org/documents/jmpr/jmpmono/v2012pr01.pdf. Último acceso: Junio de 2015
- Affourtit C, Heaney SP, Moore AL (2000) Mitochondrial electron transfer in the heat pathogenic fungus *Septoria tritici*: on the role of alternative respiratory enzymes in fungicide resistance, *Biochimica et Biophysica Acta*, 1459: 291–298
- Agrios GN (2005a) Introduction. En: *Plant Pathology*. Elsevier academic Press.
- Agrios GN (2005b) Genetics of Plant Disease. En: *Plant Pathology*. Elsevier academic Press.
- Ajigboye OO, Murchie E, Ray RV (2014) Foliar application of isopyrazam and epoxiconazole improves photosystem II efficiency, biomass and yield in winter wheat. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 114: 52-60
- Alberione E (2005) Enfermedades que afectan al cultivo de trigo. Trigo en Siembra Directa -Revista técnica "El desafío es innovar". Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. EEA Marcos Juárez. Publicado en: <http://www.planetasoja.com/trabajos/trabajos.php>
- Annone JG (2001a) Principales enfermedades foliares del trigo asociadas a siembra directa en Argentina Siembra Directa en el Cono Sur. PROCISUR Montevideo, pp 73-88
- Annone JG (2001b) Criterios empleados para la toma de decisiones en el uso de fungicidas en trigo. *Revista Tecnológica Agropecuaria*, 6: 16-20.
- Annone JG (2002) Las enfermedades foliares y de la espiga de trigo de más frecuente ocurrencia. Importancia relativa, patrones epidémicos y estrategias para su manejo. *Revista de Tecnología Agropecuaria EEA Pergamino*, 3: 28-31
- Annone JG, Botta G, Ivancovich A (1994) Ocurrencia de la mancha bronceada del trigo en el área norte de la provincia de Buenos Aires. *Actas del 2do. Congreso Nacional de Trigo y 1er. simposio Nacional de Cereales de Invierno*. pp. 205-208
- Ansar M, Cheema, Leitch MH (2010) Effect of agronomic practices on the development of septoria leaf blotch and its subsequent effect on growth and yield components of wheat. *Pakistan Journal of Botany*, 43: 2125-2138
- AOAC (1970) Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemist. 11th Ed. Washington DC, USA, 1015 p
- Arabi MI, Jawar M, Mir Ali N (2007) The effect of *Mycosphaerella graminicola* infection on wheat protein content and quality. *Cereal Research Communications*, 35: 81-88
- Arregui MC, Puricelli E (2013) Fungicidas. En: *Mecanismos de Acción de Plaguicidas*, 1ra Edición. UNR (Ed.) Editorial de la Universidad Nacional de Rosario, 2013. 265 p.
- Ash GJ, Brown JF (1990) Yield losses in wheat caused by stripe rust (*Puccinia striiformis* West) in northern New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 30: 103-108
- Ayoub M, Guertin S, Fregeau-reid J, Smith DL (1994) Nitrogen Fertilizer on bread-making quality of hard red spring wheat in eastern of Canada. *Crop Science*, 34:1346-1352
- Bai G, Shaner G (1994) Scab of wheat: Prospects for control. *Plant Disease*, 78: 760-766
- Balardin R, Madalosso M, Debortoli M, Lenz G (2010) Factors affecting fungicide efficacy in the tropics. Carisse O (ed). En: *Fungicidas. In Tech*, pp 23-38
- Bancal MO, Roche R, Bancal P (2008) Late Foliar Diseases in Wheat Crops Decrease Nitrogen Yield Through N Uptake Rather than Through Variations in N Remobilization. *Ann Bot*, 102: 579-590
- Bancal P, Bancal MO, Collin F, Gouache D (2015) Identifying traits leading to tolerance of wheat to *Septoria tritici* blotch. *Field Crops Research*, 180: 176-185
- Bartlett DW, Clough JM, Godwin JR, Hall AA, Hamer M, Parr-Dobrzanski (2002) Review, The strobilurin fungicides. *Pest Management Science*, 58: 649-662
- Bayles R (1999) The interaction of strobilurin fungicides with cereal varieties. *Plant Varieties and Seeds*, 12: 129-140

- Bayles RA, Hilton GJ (2000) Variety as a factor in the response of cereals to strobilurins 731-738. In the Proceedings of the BCPC Conference, Brighton, UK. 13–16 Nov. 2000. British Crop Production Council, Hampshire, UK.
- Benbella M, Paulsen G (1998) Efficacy of Treatments for Delaying Senescence of Wheat Leaves: II. Senescence and Grain Yield under Field Conditions. *Agronomy Journal*, 90: 332-338
- Berdugo CA, Mahlein AK, Steiner U, Dehne HW, Oerke EC (2012) Sensors and imaging techniques for the assessment of the delay of wheat senescence induced by fungicides. *Functional Plant Biology*, 40: 677–689
- Bhathal JS, Loughman R, Speijers J (2003) Yield Reduction in Wheat in Relation to Leaf Disease From Yellow (tan) Spot and *Septoria Nodorum* Blotch. *European Journal of Plant Pathology*, 109: 435-443
- Bingham IJ, Walters DR, Foulkes MJ, Paveley ND (2009) Crop traits and the tolerance of wheat and barley to foliar disease. *Annals of Applied Biology*, 154: 159-173
- Blandino M, Reyneri A (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
- Blumenthal C, Barlow EWR, Wrigley CW (1993) Growth Environment and Wheat Quality: The effect of heat stress on dough properties and gluten proteins. *Journal of Cereal Science*, 18: 3-21
- Blumenthal C, Wrigley CW, Batey IL, Barlow EWR (1994) The heat-shock response relevant to molecular and structural changes in wheat yield and quality. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21: 901-909
- Bockus WW, Davis MA (1993) Effect of nitrogen fertilizers on severity of tan spot on winter wheat. *Plant Disease*, 77: 508-510
- Borrás L, Slafer GA, Otegui ME (2004) Seed dry weight response to source–sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Research*, 86: 131–146
- Brinkman JMP, Deen W, Lauzon JD, Hooker DC (2014) Synergism of nitrogen rate and foliar fungicides in soft red winter wheat. *Agronomy Journal*, 106: 491-510
- Broadfoot WC (1931) Preliminary experiments on the control of cereal rusts by Kolo dust. *Phytopathology*, 21: 347-372
- Brown JKM (2003) A cost of disease resistance: paradigm or peculiarity?. *Trends in genetics*, 19: 667-671
- Brown JKM, Chartrain L, Lasserre-Zuber P, Saintenac C. (2015) Genetics of resistance to *Zymoseptoria tritici* and applications to wheat breeding. *Fungal Genetics and Biology*, 79: 33-41
- Bryson RJ, Sylvester-Bradley R, Scott RK, Paveley ND (1995) Reconciling the effects of yellow rust on yield of winter wheat through measurements of green area and radiation interception. *Aspects of Applied Biology*, 42: 9-18
- Bryson RJ, Paveley ND, Clark WS, Sylvester-Bradley R, Scott RK (1997) Use of in-field measurements of green leaf area and incident radiation to estimate the effects of yellow rust epidemics on the yield of winter wheat. *European Journal of Agronomy*, 7: 53-62
- Bryson RJ, Leandro L, Jones DR (2000) The physiological effects of kresoxim-methyl on wheat leaf greenness and the implication for crop yield In: Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference - Pests and Diseases. British Crop Protection Council, pp 739-747
- Burdon JJ, Silk J (1997) Sources and patterns of diversity in plant-pathogenic fungi. *Phytopathology*, 87: 664–9
- Byrnes BH, Bumb BL (1998) Population growth, food production and nutrient requirements. *Journal of Crop Production*, 2: 1-27
- Calderini DF (2006) El rendimiento de trigo en el mundo y la brecha entre el rendimiento potencial y el alcanzado: ¿Cómo aumentar el rendimiento alcanzable? *Actas del Congreso "A Todo Trigo"*. 18 y 19 de Mayo de 2006, Mar del Plata, Argentina. pp. 1-7
- Calderini DF, Reynolds MP, Slafer GA (2006) Source–sink effects on grain weight of bread wheat, durum wheat, and triticale at different locations. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57: 227-233
- Caldwell RM, Schafer JF, Compton LE, Patterson FL (1958) Tolerance to Cereal Leaf Rusts. *Science*, 128: 714-715
- Campbell CL, Madden LV (1990) *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. John Wiley & Sons, New York, NY, USA.
- Campos PE (2014) Royas del trigo. Cordo CA, Sisterna MN (Coord). En: *Enfermedades del trigo, Avances científicos en la Argentina*, 223-244
- Carignano M, Staggenborg SA, Shroyer JP (2008) Management practices to minimize tan spot in a continuous wheat rotation. *Agronomy Journal*, 100: 145-153
- Carmona, M. 2001. Principales enfermedades del trigo y su control. Cuadernillo de actualización técnica CREA Nº63. Pp 78-93
- Carmona MA (2016) Roya asiática de la soja. Monitoreo, Fungicidas y su relación con la calidad de aplicación y éxito de control. Una visión desde la Fitopatología. Disponible en: <http://www.agro.uba.ar/sites/default/files/catedras/tecnologiaaplicacion.pdf>. Último acceso: Noviembre de 2016

- Carmona MA, Cortese P, Ferrazzini M, Permingea O (1998) Control de la mancha amarilla. Revista CREA, 213: 54-56
- Carmona MA, Melo Reis E, Cortese P (1999) Manchas Foliare del Trigo: Diagnóstico, epidemiología y nuevos criterios para el manejo. Gráfica Condal. Buenos Aires. pp. 32.
- Carmona MA, Sautua FJ (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, Serrago RA, Bancal MO, Perelló AE, Miralles DJ (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
- Carson GR, Edwards NM (2009) Criteria of wheat and flour quality. En: Wheat Chemistry and Technology. Khan K, Shewry PR (Eds.). AACCI International Inc. St. Paul MN, USA. Pp 97-118
- Castellarín JM, González M, Pedrol HM, Salvaggiotti F, Roso O (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. pp. 67-69
- Castro AC (2016) Efecto de la tolerancia a *Zymoseptoria tritici*, la fertilización nitrogenada y distintos fungicidas sobre la expresión del rendimiento y la calidad panadera del trigo. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. 246 p.
- Castro AC, Simón MR (2016) Effect of tolerance to Septoria tritici blotch on grain yield, yield components and grain quality in Argentinean wheat cultivars. Crop Protection, 90: 66-76
- Cátedra Cerón M, Solís Martel I (2003) Effect of a fungicide treatment on yield and quality parameters of a new varieties of durum wheat (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) and bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in western Andalusia. Spanish Journal of Agricultural Research, 1:19-26
- Chidichimo HO, Di Luca J, Acciaresi H, Sempé ME (1997) Efecto de la fertilización tardía sobre la calidad y el rendimiento en trigo pan. Fiesta Provincial del Trigo, 28 de Febrero de 1997. Tres Arroyos, Argentina. pp. 8.
- Clark WS (1993) Interaction of winter wheat varieties with fungicide programmes and effects on grain quality. Aspects of Applied Biology, 36: 397-406
- Clarke DD (1984) Tolerance of parasitic infection in plants. En: Plant Diseases: Infection, Damage and Loss. RKS Wood, GJ Jellis (Eds). Blackwell Scientific Publications, Oxford. pp 119- 127
- Cordo CA (2014) Patologías del trigo. En: Enfermedades del trigo: Avances científicos en la Argentina. Cordo CA & Sisterna MN, Ed. EDULP, La Plata. pp 21-56
- Cox WJ, Bergstrom GC, Reid WS, Sorrells ME, Otis DJ (1989) Fungicide and Nitrogen effects on winter wheat under low foliar disease severity. Crop Science, 29: 164-170
- Crawford JW, Ritz K, Young IM (1993) Quantification of fungal morphology, gaseous transport and microbial dynamics in soil: an integrated framework utilising fractal geometry. Geoderma, 56, 157-172
- Cuniberti MB (1998) Efecto de Stress calórico durante el llenado del grano sobre el P/L y la calidad del trigo. Actas del 4to. Congreso Nacional de Trigo y II Simposio Nacional de Cereales de siembra Otoño-Invierno. 11-13 de Noviembre de 1998 Mar del Plata, Argentina. pp. 5-05
- Cuniberti M, Mir L (2016) Calidad del trigo argentino. aportes de la región central del país a la producción y exportación nacional. 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
- Cuniberti M, Mir L, Chialvo E, Berra OA, Macagno SM, Pronotti MS, Mansilla GJ (2016) Informe preliminar de la calidad del trigo de la región central del país – Campaña 2016/17. Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/informe-preliminar-de-la-calidad-del-trigo-de-la-region-central-del-pais-campana-2016-17>. Último acceso: Marzo de 2017
- Cuniberti M, Bainotti C, Frascina J, Salines J, Alberione E, Galich A, de Galich MTV, Formica MB (2004) Calidad de cultivares de trigo evaluados en ensayos con control químico de enfermedades foliares. Informe de Actualización en Trigo. Información para Extensión N° 85. INTA Marcos Juárez, Córdoba, Argentina, 38-43
- Daniel DL, Parlevliet JE (1995) Effects of nitrogen fertilization on disease severity and infection type of yellow rust on wheat genotypes varying in quantitative resistance. Journal of Phytopathology, 143: 679-681
- Darwich NA, Darwich GA (2004) Estrategias de fertilización para mejorar el rinde y la calidad industrial del trigo. Actas del Congreso "A Todo Trigo". 13 y 14 de Mayo de 2004, Mar del Plata Argentina. 64- 65
- De Giorgio D, Fornaro F (2012) Nitrogen Fertilization and Root Growth Dynamics in Durum Wheat. Italian Journal of Agronomy, Disponible en: <http://www.agronomy.it/index.php/agro/article/view/ija.2012.e29/668>. Último acceso: Noviembre de 2016
- De la Horra AE, Seghezzi ML, Molfese, E, Ribotta PD, León AE (2012) Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. Agriscientia, 29: 81-89
- De Wolf ED, Effertz RJ, Ali S, Francl LJ (1998) Vistas of tan spot research. Canadian Journal of Plant Pathology, 20: 349-370

- De Wolf, B. 2012. Kansas State Scientist on Wheat Rust Diseases: Correctly Identifying if Fungicides Needed – or Not – is Important. Kansas State University. Disponible en: <http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/php/news/2012/WheatRustDiseases/>. Último acceso: Marzo de 2017.
- Dencic S, Mladenov N, Kobiljski B (2011) Effects of genotype and environment on breadmaking quality in wheat. *International Journal of Plant Production*, 57: 1-82
- Dietrich R, Ploss K, Heil M (2004) Constitutive and induced resistance to pathogens in *Arabidopsis thaliana* depends on nitrogen supply. *Plant, Cell and Environment*, 27: 896-906
- Dietrich R, Ploss K, Heil M (2005) Growth responses and fitness costs after induction of pathogen resistance depend on environmental conditions. *Plant, Cell and Environment*, 28: 211-222
- Dimmock JP, Gooding MJ (2002a) 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
- Dimmock JP, Gooding MJ (2002b) The influence of foliar diseases, and their control by fungicides, on the protein concentration in wheat grain: A review. *Journal of Agricultural Science* Vol138. pp.349-366
- Dordas C (2008) Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28: 33-46
- Dowson CG, Springham P, Rayner ADM, Boddy L (1989) Resource relationships of foraging mycelial systems of *Phanerochaete velutina* and *Hypholoma fasciculare* in soil. *New Phytologist*, 111, 501–509
- Elias E, Cantrell RG, Hansford Jr RM (1989) Heritability of resistance to tan spot in durum wheat and its association with other agronomic traits. *Crop Science*, 29: 299-304
- Estep LK, Torriani SFF, Zala M, Anderson NP, Flowers MD, McDonald BA, Mundt CC, Brunner PC (2015) Emergence and early evolution of fungicide resistance in North American populations of *Zymoseptoria tritici*. *Plant Pathology*, 64: 961–971
- Evans LT (1999) Steps towards feeding the ten billion: a crop physiologists view. *Plant Production Science*, 2: 3-9
- FAO (2014) Food and Agriculture Organization. Disponible en: <http://www.fao.org> Último acceso: Julio de 2016
- FAO (2016) Los primeros pronósticos de la FAO sobre los cereales en 2016/17 indican abundantes suministros, un comercio apagado y mercados contenidos. Disponible en <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>. Último acceso: Abril de 2016
- Fernandez MR, Clarke JM, DePauw RM (1994) Response of durum wheat kernels and leaves at different growth stages to *Pyrenophora tritici-repentis*. *Plant Disease* 78: 597-600.
- Fernandez MR, Clarke JM, DePauw RM, Lefkovitch LP (1996) Comparison of durum and common wheat cultivars for reaction to leaf spotting fungi in the field. *Plant Disease*, 80: 793–797
- Fernandez MR, Zentner RP, McConkey BG, Campbell CA (1998) Effects of crop rotations and fertilizer management on leaf spotting diseases of spring wheat in southwestern Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science*, 78: 489-496
- Finlay GJ, Bullock PR, Sapirstein HD, Naeem HA, Hussain A, Angadi SV, DePauw RM (2007) Genotypic and environmental variation in grain, flour, dough and bread-making characteristics of Western Canadian Spring Wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 87: 679-690
- Fisher, RA 1985 Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal of Agriculture Science*, 105: 447-461
- Fleitas MC (2011) Influencia de la mancha de la hoja sobre el rendimiento y variables reológicas de calidad del grano de trigo. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. La Plata, Argentina. 46 pp
- Fleitas MC, Gerard GS, Simón MR (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.
- Foulkes MJ, Paveley ND, Worland A, Welham SJ, Thomas J, Snape JW (2006) Major genetic changes in wheat with potential to affect disease tolerance. *Phytopathology*, 96: 680–688
- Foulkes MJ, Paveley, ND, Worland, A, Welham, SJ, Thomas, J, Snape, JW 2006 Major genetic changes in wheat with potential to affect disease tolerance. *Phytopathol* 96, 680–688
- Fontaine JM, Piotrowska M, Havis ND, Burnett FJ (2014) Fungicide resistance in *Ramularia collo-cygni*. *Proceedings Crop Protection in Northern Britain 2014*, pp 101-106
- Fraschina J, Gómez D (2016) Calidad de trigo en los ensayos de la RET. 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
- Fry WE (1982) Introduction to disease management. En: *Principles of Plant Disease Management*. Academic Press. New York, USA. Pp 1-12
- Fuertes-Mendizábal T, Aizpurua A, González-Moro MB, Estavillo JM (2010) Improving wheat breadmaking quality by splitting the N fertilizer rate. *European Journal of Agronomy*, 33: 52-61

- García R, Annone J, Mustafa J, Panziraghy N, Páez A (1998) Efecto de la época de aplicación de nitrógeno sobre el rendimiento y la calidad del trigo. Actas del 4to. Congreso Nacional de Trigo y II Simposio Nacional de Cereales de siembra Otoño-Invierno. 11-13 de Noviembre de 1998 Mar del Plata, Argentina. pp. 3-26
- García R, Annone JG, Martín AJ, Mac Maney M, Regis S (2001) Efecto del nitrógeno sobre el rendimiento y distintos parámetros de calidad industrial de distintas variedades de trigo pan (*Triticum aestivum* L.). 5to. Congreso Nacional de Trigo, III Simposio Nacional de Cereales de siembra otoño invernal. 25-28 de Septiembre de 2001; Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina, Disponible en CD
- Garrido-Lestache E, López Bellido E, López Bellido L (2004) Effect of N rate, timing and splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under Mediterranean conditions. *Field Crop Research*, 85: 213-236
- Garrido-Lestache E, López Bellido E, López Bellido, L (2005) Durum wheat quality under Mediterranean conditions as affected by N rate, timing and splitting, N forms and S fertilization. *European Journal of Agronomy*, 23: 265-278
- Gaunt RE (1981) Disease tolerance, an indicator of thresholds?. *Phytopathology*, 71: 915-916
- Gaunt RE (1995) The relationship between plant disease severity and yield. *Annu. Rev. Phytopathology* 33, 119-144.
- Gaunt RE, Wright AC (1992) Disease-yield relationship in barley. II. Contribution of stored stem reserves to grain filling. *Plant Pathology*, 41: 688-701
- GenStat for Windows (2009) 12th Edition. Copyright VSN International Ltd.
- Gerard GS, Fleitas MC, Schierenbeck M, Simón MR (2015) Eficacia de control y residualidad de terápicas de semillas sobre enfermedades foliares de trigo en distintas condiciones de fertilización nitrogenada. *Revista FAVE, Sección Ciencias Agrarias*, 14: 85-102
- Gerhard M (2001) Der Einfluss Strobilurinhaltinger Fungizide auf Physiologische Abläufe der Ertragsbildung an Winterweizensorten. Dissertation, (München, Germany). 170 p. Disponible en: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/603211/603211.pdf> (Último acceso: Febrero de 2017)
- Germán S, Pereyra S, Castro M, Azzimonti G, Quincke M, Kohli MM, Madariaga R, Chaves M, Campos P (2016) Las royas del trigo: situación a nivel regional y amenazas para el cultivo. 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
- Godfray H CJ, Beddington JR, Crute IR, Haddad L, Lawrence D, Muir JF, Pretty J, Robinson S, Thomas SM, Toulmin C (2010) Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327: 812-818
- Godfrey D, Hawkesford MJ, Powers SJ, Millar S, Shewry PR (2010) Effects of crop nutrition on wheat grain composition and end use quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58: 3012-3021
- González Montaner JG, Di Nápoli M (2005) Genotopic variability of comercial varieties of wheat bread in parameters of comercial and industrial quality. 7th International wheat Conference. 27 de Noviembre al 2 de Diciembre, Mar del Plata, Argentina. pp.72
- Gooding MJ (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 MJ (2007) Influence of foliar diseases and their control by fungicides on grain yield and quality in wheat. En: *Wheat Production in Stressed Environments*. HT Buck, JE Nisi, N Salomón (Eds.) Proceedings of the 7th International Wheat Conference, 27 November-2 December 2005, Mar del Plata, Argentina. Pp. 567-581
- Gooding MS, Smith SP, Davies WP, Kettlewell PS (1994) Effects of late-season applications of propiconazole and tridemorph on disease, senescence, grain development and the breadmaking quality of winter. *Crop Protection* 13: 362-370
- Gooding MJ, Dimmock JP, France RE, Jones J (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
- Gooding MJ, Gregory PJ, Ford KE, Ruske RE (2007) Recovery of nitrogen from different sources following applications to winter wheat at and after anthesis. *Field Crops Research*, 100: 143-154
- Greaney FJ, Woodward JC, Whiteside AGO (1941) The effect of stem rust on the yield, quality, chemical composition, and milling and baking properties of Marquis wheat. *Scientific Agriculture*, 22: 40-60
- Grossmann K, Retzlaff G (1997) Bioregulatory effects of the fungicidal strobilurin kresoxim-methyl in wheat (*Triticum aestivum*). *Pesticide Science*, 50: 11-20
- Grossmann K, Kwaltowski J, Caspar G, (1999) Regulation of phytohormone levels, leaf senescence and transpiration by the strobilurin kresoxim-methyl in wheat (*Triticum aestivum*). *Journal Plant Physiology*, 154: 805-808
- Hall JA, Richards RA (2013) Prognosis for genetic improvement of yield potential and water-limited yield of major grain crops. *Field Crops Research* 143: 18-33

- Hansen PM, Schjoerring JK (2003) Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression. *Remote Sensing of Environment*, 86: 542-553
- Hawkesford MJ (2014) Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production. *Journal of Cereal Sciences*, 59: 276-283
- Hedke K, Verret JA (1999) Efficacy of single fungicide treatments in winter wheat using recommended and reduced dosages. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 106: 98–108
- Herrman TJ, Bowden RL, Loughin T, Bequette RK (1996) Quality response to the control of leaf rust in karl hard red winter wheat. *Cereal Chemistry*, 73: 235-238
- Horbach R, Navarro-Quesada AR, Knogge W, Deising HB (2011) When and how to kill a plant cell: Infection strategies of plant pathogenic fungi. *Journal of Plant Physiology*, 168: 51–62
- Howard DD, Chambers AY, Logan J (1994) Nitrogen and fungicide effects on yield components and disease severity in wheat. *Journal Production Agriculture*, 7: 448-454
- Huber DM, Lee TS, Ross MA, Abney TS (1987) Amelioration of tan spot infected wheat with nitrogen. *Plant Disease*, 71: 49-50
- Huerta-Espino J, Singh RP, German S, McCallum BD, Park RF, Chen WQ, Bhardwaj SC, Goyeau H (2011) Global status of wheat leaf rust caused by *Puccinia tritici*. *Euphytica*, 179: 143-160
- IRAM 15850-1: 2009. Cereales y productos de cereales. Determinación del contenido de humedad. Parte 1. Método de referencia práctico
- IRAM 15852:2002. Cereales. Determinación de proteínas totales. Método Kjeldahl modificado
- IRAM 15854-1:1982. Trigo. Preparación de la muestra y acondicionamiento para la molienda experimental
- IRAM 15854-2:1984. Trigo. Molienda experimental para trigo pan. Método de Bühler
- IRAM 15855: 2000. Harina de trigo. Características físicas de las masas. Determinación de la absorción de agua y de las propiedades reológicas utilizando un farinógrafo
- IRAM 15857: 1995. Harina de trigo. Características físicas de las masas. Determinación de las propiedades reológicas. Método del aveógrafo
- IRAM 15858-1:1996. Cereales. Ensayo de panificación experimental
- IRAM 15864:2007. Trigo y harina de trigo. Determinación de gluten húmedo, de gluten seco y de índice de gluten. Método de lavado automático
- Ishikawa S, Hare MC, Kettlewell PS (2012) 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*, 1-16
- Jenner CF, Ugalde TD, Aspinnall D (1991) The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat. *Australian Journal of Plant Physiology* Vol. 18. pp.211-226
- Jensen PK, Jørgensen LN (2016) Interactions between crop biomass and development of foliar diseases in winter wheat and the potential to graduate the fungicide dose according to crop biomass. *Crop Protection*, 81: 92-98
- Johansson E, Prieto-Linde ML, Kuktaitė R, Andersson A, Jönsson JÖ (2003) Stability in wheat quality: a utopia or a future possibility. In: Pogna, E.A., Romanò, M., Pogna, N.E., Galterio, G. (Eds.), *Proceedings of the Tenth International Wheat Genetics Symposium*. Istituto Sperimentale per la Cerealcoltura, Roma, pp. 443-446
- Johnston HW, MacLeod JA, Clough KS (1979) Effects of cycocel (CCC) and fungicide sprays on spring wheat grown at three nitrogen levels. *Canadian Journal of Plant Science*, 59: 917-929
- Jordahl JG, Francl LJ (1992) Increase and storage of cultures of *Pyrenophora tritici-repentis*. In: Francl, L.J., Krupinsky, J.M., McMullen, M.P. (Eds.), *Advances in Tan Spot Research*. Agric. Exp. Stn., Fargo, North Dakota, p. 109.
- Ali, S., Francl, L.J., 2003. Population race structure of *Pyrenophora tritici-repentis* prevalent on wheat and noncereal grasses in the Great Plains. *Plant Dis.* 87,418–422.
- Kelley KW (1993) Nitrogen and foliar fungicide effects on winter wheat. *Journal of Production Agriculture*, 6: 53-57
- Koeck M, Hardham AR, Dodds PN (2011) The role of effectors of biotrophic and hemibiotrophic fungi in infection. *Cellular microbiology*, 13: 1849-1857
- Kohli MM, Annone JG, Galich MTV (1995) Fusariosis de la espiga y su manejo. En: Kohli MM, Annone JG, García R (Eds.). *Curso de manejo de enfermedades del trigo*. INTA EEA Pergamino, Bs.As. 164- 189.
- Koppel R, Ingver A (2010) Stability and predictability of baking quality of winter wheat. *Agronomy Research*, 8:637-644
- Kover PX, Schaal BA (2002) Genetic variation for disease resistance and tolerance among *Arabidopsis thaliana* accessions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99: 11270-11274
- Kramer T, Gildemacher BH, van der Ster M, Parlevliet JE (1980) Tolerance of spring barley cultivars to leaf rust, *Puccinia hordei*. *Euphytica*, 29: 209–216

- Kremer M, Hoffmann GM (1992) Effect to *Drechslera tritici-repentis* as the cause of wheat yellow leaf spot disease on kernel yield and dry matter production. *Journal of Phytopathology*, 99: 509-605
- Krupinsky JM, Tanaka DL (2001) Leaf Spot Diseases on Winter Wheat Influenced by Nitrogen, Tillage, and Haying after a Grass–Alfalfa Mixture in the Conservation Reserve Program. *Plant Disease*, 85: 785-789
- Krupinsky JM, Halvorson AD, Tanaka DL, Merrill SD (2007) Nitrogen and tillage effects on wheat leaf spot diseases in the northern Great Plains. *Agronomy Journal*, 99: 562-569
- Ktenioudaki A, Butler F, Gallagher E (2010) Rheological properties and baking quality of wheat varieties from various geographical regions. *Journal of Cereal Science*, 51: 402-408
- Lamari L, Bernier CC (1991) Genetics of tan necrosis and extensive chlorosis in tan spot of wheat caused by *Pyrenophora tritici-repentis*. *Phytopathology*, 81: 1092-1095
- Leitch MH, Jenkins PD (1995) Influence of nitrogen on the development of *Septoria* epidemics in winter wheat. *Journal of Agricultural Sciences*, 124: 361-368
- Lemmens M, Buerstmayr H, Krska R, Schumacher R, Grausgruber H, Rackenbauer P (2004) The effect of inoculation treatment and long term application of moisture on Fusarium head blight symptoms and deoxynivalenol contamination in wheat grains. *European Journal of Plant Pathology*, 110: 299–308
- Lepoint P, Renard, M, Legrève A, Duveiller E, Maraite H (2010) Genetic diversity of the mating type and toxin production genes in *Pyrenophora tritici-repentis*. *Phytopathology*, 100: 474-483
- Lezcano E (2010) Cadena de la harina de trigo. Disponible en: http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/farinaceos/Productos/HarinaTrigo_1ra_2011_09Sep.pdf. Último acceso: Junio de 2016.
- Liaudat JP (2011) Influencia de la mancha de la hoja sobre componentes de rendimiento y concentración de proteínas en tres partes de la espiga de trigo con diferentes dosis de fertilización nitrogenada y aplicación de fungicidas. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. La Plata, Argentina. 59 pp
- López-Bellido L, Fuentes M, Castillo JE, Lopez Garrido FJ (1998) Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 57 :265-276
- Lovell DJ, Parker SR, Hunter T, Royle DJ, Coker RR (1997) Influence of crop growth and structure on the risk of epidemics by *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) in winter wheat. *Plant Pathology* 46, 126-138.
- Lovell DJ, Parker SR, Hunter T, Welham SJ, Nichols AR (2004) Position of inoculum in the canopy affects the risk of *Septoria tritici* blotch epidemics in winter wheat. *Plant Pathology* 53, 11-21
- Madden LV, Nutter FWJ (1995) Modeling crop losses at field scale. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 17: 124-137
- Maloy OC (2005) Plant Disease Management. The Plant Health Instructor, Department of Plant Pathology, Washington State University, Disponible en: <http://www.apsnet.org/EDCENTER/INTROPP/TOPICS/Pages/PlantDiseaseManagement.aspx>. Ultimo acceso: Noviembre de 2016
- Martre P, Porter JR, Jamiesone PD, Triboi E (2003) Modeling grain nitrogen accumulation and protein composition to understand the sink/source regulations of nitrogen remobilization for wheat. *Plant Physiology*, 133: 1959-1967
- Marzani QA, Marzani P, Rossall S (2013) Correlation of the F129L mutation in *Pyrenophora teres*, the pathogen of net blotch of barley, with the efficacy of QoI fungicides. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 3: 66-72
- Mascagni HJ Jr, Harrison SA, Russin JS, Desta HM, Colyer PD, Habetz RJ, Hallmark WB, Moore SH, Rabb JL, Hutchinson RL, Boquet DJ (1997) Nitrogen and fungicide effects on winter wheat produced in the Louisiana Gulf Coast region. *Journal of Plant Nutrition*, 20: 1375-1390
- Maydup ML, Antonietta M, Guiamet JJ, Graciano C, López JR, Tambussi EA (2010) The contribution of ear photosynthesis to grain filling in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research*, 119: 48–58
- Mc Kendry AL, Henke GE, Finney PL (1995) Effects of *Septoria* Leaf Blotch on Soft Red Winter Wheat Milling and Baking Quality. *Cereal Chemistry*, 72: 142-146
- McIntosh RA, Yamazaki Y, Dubcovsky J, Rogers WJ, Morris CF, Appels R, Xia XC, 2013. Catalogue of gene symbols for wheat. In: 12th international wheat genetic symposium, 8–13 September 2013, Yokohama. Disponible en: <https://shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/macgene/2013/GeneCatalogueIntroduction.pdf> Último acceso: Diciembre de 2016
- Melegari AL (2001) Efectos del sistema de labranza y de la fertilización con N-Urea sobre tizón foliar (*Septoria tritici*) en el cultivar de trigo (*Triticuma estivum* L.). Pro INTA Oasis. V Congreso Nacional de Trigo. III Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño Invernal, 25 al 28 de septiembre. Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina. pp 2
- Mendgen K, Hahn M (2002) Plant infection and the establishment of fungal biotrophy. *Trends Plant Science*, 7: 352–356

- Miller MR, White A, Boots M (2006) The evolution of parasites in response to tolerance in their hosts: the good, the bad, and apparent commensalism. *Evolution*, 60: 945-56
- Miralles DJ, Slafer GA (1990) Estimación del área foliar en trigo: Generación y validación de un modelo. 11vo Congreso Nacional de Trigo. Pergamino. Cap. I: pp. 76-85
- Mirales DJ, Gonzalez FG, Abeledo LG, Serrago RA, Alzueta I, García GA, de San Caledonio RP, Lo Valvo P (2014) Manual de trigo y cebada para el Cono Sur: procesos fisiológicos y bases de manejo. 1ra Edición. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora. 36 pp
- Miranda M, Torres G, Santana F, Sussel A, Goulart A, Coelho M (2015) Effect of blast disease incidence on wheat technological quality. En: Actas del 9th International Wheat Conference, 20-25 de Septiembre, Sydney, Australia. pp 185
- Molero G, Sukumaran S, Reynolds MP (2015) Spike photosynthesis 50 years later: new tools, new game. En: Actas del 9th International Wheat Conference, 20-25 de Septiembre, Sydney, Australia. pp 39
- Molfese ER (2016) Calidad del trigo argentino: caracterización de la producción en el centro sur bonaerense. 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
- Molfese ER, Astiz V (2016) Pensando en la próxima campaña triguera: Calidad Industrial de variedades de trigo pan 2016. Disponible en: <http://inta.gov.ar/documentos/pensando-en-la-proxima-campana-triguera-calidad-industrial-de-variedades-de-trigo-pan-2016>. Último acceso: Noviembre de 2016
- Moreno MV (2014) Enfermedades fúngicas de la lámina foliar y tallos, I. Mancha amarilla del trigo. En: Enfermedades del trigo: Avances científicos en la Argentina. Cordo CA & Sisterna MN, Ed. EDULP, La Plata. pp 163-172.
- Moreno MV, Perelló AE (2010) Occurrence of *Pyrenophora tritici-repentis* causing tan spot in Argentina. En: Management of fungal plant pathogens. Arya A, Perelló AE, Ed. CABI, United Kingdom. pp 275-290.
- Moreno MV, Stenglein SA & Perelló AE (2012) *Pyrenophora tritici-repentis*, Causal Agent of Tan Spot: A Review of Intraspecific Genetic Diversity. The Molecular Basis of Plant Genetic Diversity. pp. 297-330.
- Morris CF, Ferguson DL, Paulsen GM (1989) Nitrogen fertilizer management with foliar fungicide and growth regulator for hard winter wheat production. *Applied Agricultural Research*, 4: 135–140
- Moschini RC (2016) Predicción de royas del trigo. 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
- Mueller DS, Bradley CA (2008) Field crop fungicides for the north central United States. North Central Integrated Pest Management Center. Disponible en: https://www.google.com.ar/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CCQQFjABahUKewi52oGyPHGAhVikw0KHxRzBKU&url=http%3A%2F%2Fsoybeanresearchinfo.com%2Fpdf_docs%2Ffieldcropfungicides.pdf&ei=MjqxVbn5C8imNvrnk6gK&usg=AFQjCNEQwAro6wcRvXQ1WuNdmscXHf2s8g Último acceso: Julio de 2015.
- Muhammad S, Khan AI, Aziz-ur-Rehman FSA, Rehman A (2015) Screening for leaf rust resistance and association of leaf rust with epidemiological factors in wheat (*Triticum aestivum* L). *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 52: 691-700
- Myram C, Kelly JR (1981) Prediction of the economic need for a fungicide programme on winter wheat and the effects of this programme on some parameters of grain quality. *Proceedings of the British Crop Protection Conference— Pests and Diseases*, pp 241– 248
- Nagle BJ, Frohberg RC, Hosford Jr RM (1982) Inheritance of resistance to tan spot of wheat. En: Hosford RM Jr. (Ed.). *Tan spot of wheat and related diseases workshop*. North Dakota Agricultural Experiment Station, Fargo. pp. 40-45
- Neumann S, Paveley ND, Beed FD, Sylvester-Bradley R (2004) Nitrogen per unit area affects the upper asymptote of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* epidemics in winter wheat. *Plant Pathology*, 53: 725–732
- Newton AC (2016) Exploitation of Diversity within Crops—the Key to Disease Tolerance? *Frontiers in Plant Science*, 7: 1–12
- Newton AC, Thomas WTB, Guy DC, Gaunt RE (1998) The interaction of fertiliser treatment with tolerance to powdery mildew in spring barley. *Field Crops Research*, 55: 45-56
- Newton, A., Guy, D. C., Gaunt, R. E., Thomas, W. T. B. 2000. The effect of powdery mildew inoculum pressure and fertilizer levels on disease tolerance in spring barley. *Journal of Plant Disease and Protection* 107, 67–73
- Ney B, Bancal MO, Bancal P, Bingham IJ, Foulkes J, Gouache D, Paveley N, Smith J (2013) Crop architecture and crop tolerance to fungal diseases and insect herbivory. Mechanisms to limit crop losses. *European Journal of Plant Pathology*, 135: 561–580
- Niks RE, Ellis PR, Parlevliet JE (1993) Resistance to parasites. En: Hayward MD, Bosemark NO, Romagosa I (Eds.) *Plant breeding: principles and prospects*, p. 422-447. London, Chapman & Hall.

- Olesen JE, Jorgensen LN, Petersen J, Mortensen JV (2003) Effects of rates and timing of nitrogen fertilizer on disease control by fungicides in winter wheat. 2. Crop growth and disease development. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 140: 15–29
- Oliver R, Hewitt HG (2014) Fungicide resistance. En: *Fungicides in Crop Protection*. Oliver R, Hewitt HG (Eds.) CABI, 2nd Edition, pp123-149
- Oliver TH, Leather SR, Cook JM (2009) Tolerance traits and the stability of mutualism. *Oikos*, 118: 346-352
- Panozzo JF, Eagles HA (2000) Cultivar and environmental effects on quality characters in wheat. II. Protein. *Australian Journal of Agricultural Research*, 51: 629-636
- Parker, SR, Welham, S, Paveley, N D, Foulkes J, Scott, RK (2004) Tolerance of *Septoria* leaf blotch in winter wheat. *Plant Pathology*, 53: 1-10
- Paveley N, Parker S, Foulkes J, Sylvester-Bradley R, Snape J, Farrar J, Lovell D, Neumann S, Ellerbrook C, Greenhouse J (2002) Improving and exploiting self-defense against wheat diseases. En: In: *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference, Pests and Diseases*, 919–924
- Paveley N, Foulkes J, Sylvester-Bradley R, Parker S, Lovell D, Snape J, Farrar J, Neumann S, Nason J, Ellerbrook C (2005) Maximising disease escape, resistance and tolerance in wheat through genetic analysis and agronomy. Project report N° 358, 22pp
- Peltonen J, Karjalainen R (1992) Effects of fungicide sprays on foliar diseases, yield, and quality of spring wheat in Finland. *Canadian Journal of Plant Science*, 72: 955-963
- Peña Bautista RJ, Pérez Herrera P, Villaseñor Mir E, Gómez Valdes MM, Mendoza Lozano MA, Monterde Gabilondo, R (2007) Calidad de la cosecha del trigo en México. Ciclo otoño-invierno 2005-2006. Publicación Especial del CONASIST, Av. Cuauhtémoc No. 1617, Mezzanine, Col. Sta. Cruz Atoyac, México, D. F. 24 pp.
- Peña E, Bernaro A, Soler C, Jouve N (2005) Relationship between common wheat (*Triticum aestivum* L.) gluten proteins and dough rheological properties. *Euphytica*, 143: 169-177
- Pepler S, Gooding MJ, Ford KE, Ellis RH, Jones SA (2005a) A temporal limit to the association between flag leaf life extension by fungicides and wheat yields. *European Journal of Agronomy*, 22: 363–373
- Pepler S, Gooding MJ, Ford KE, Ellis RH, Jones SA (2005b) Delaying senescence of wheat with fungicides has interacting effects with cultivar on grain sulphur concentration but not with sulphur yield or nitrogen: sulphur ratios. *European Journal of Agronomy*, 22: 405–416
- Pepler S, Gooding MJ, Ellis RH, (2006) Modelling simultaneously water content and dry matter dynamics of wheat grains. *Field Crops Research*, 96: 46-93
- Perelló AE, Moreno MV, Simón MR, Sisterna M (2003) Tan spot of wheat (*Triticum aestivum* L.) infection and different stages of crop development and inoculum type. *Crop Protection*, 22: 157-169
- Petoyan JC (2016) Fungicidas. Curso de Manejo integrado de enfermedades. Maestría de Protección Vegetal, FCAyF, UNLP. Noviembre de 2016
- Pierbatisti 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
- Pierce P, Mills D (2011) Early fungicide applications: ¿What are we seeing? Crop observation and recommendation network. The Ohio State university. Newsletter Vol. 10. Disponible en: <http://corn.osu.edu/newsletters/2011/2011-10/#5>. Último acceso: Mayo de 2016
- Puppala V, Herrman TJ, Bockus WW, Loughin TM (1998) Quality responses of twelve hard red winter wheat cultivars to foliar disease across four locations in central Kansas. *Cereal Chemistry*, 75: 148-151
- Rabbinge R, Jorritsma ITM, Schans J (1985) Damage components of powdery mildew in winter wheat. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 91: 235–247
- Raymond PJ, Bockus WW (1982) An *in vitro* technique for profuse sporulation of *Drechslera tritici-repentis*. *Phytopathology* 72, 934 (Abstr.)
- Rees RG, Platz GJ (1980) The epidemiology of yellow spot of wheat in southern Queensland. *Australian Journal of Agricultural Research*, 31: 259-267
- Rees RG, Syme JR (1981). Epidemics of stem rust and their effects on grain yield in the wheat WW15 and some of its derivatives. *Australian Journal of Agricultural Research* 32, 725–730
- Rees RG, Platz GJ, Mayer RJ (1982) Yield losses in wheat from yellow spot: Comparison of estimates derived from single tillers and plots. *Australian Journal of Agricultural Research* 33: 899–908
- Rees IG, Platz GJ (1983) Effects of yellow spot of wheat in Southern Queensland. *Australian Journal of Agricultural Research*, 34: 39-46
- Reese CL, Clay D, Beck D, Englund R. (2007) Is protein enough for assessing wheat flour quality? Western Nutrient Management Conference, Salt Lake City, UT, 7: 85–90
- Reis EM, Carmona MA (2013) Classification of fungicidas. En: *Fungicides. Classification. Role in Disease Management and Toxicity Effects*. Editorial Nova Science Publishers, New York, USA, pp 91-104

- Renzi D, Fritz N, Galantini JA, Salomón N, Miranda R (2007) Parámetros de calidad de muestras comerciales de trigo (2002/3 a 2004/5) In: "La siembra directa en los sistemas productivos del S y SO Bonaerense", Revista Técnica Especial AAPRESID, CIC, CERZOS y UNS. Galantini *et al.* (Eds.) pp.82-84
- Reynolds MP, Delgado MI, Gutiérrez-Rodríguez M, Larqué-Saavedra A (2000) Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment I: genetic diversity and crop productivity. *Field Crops Research*, 66: 37–50
- Roberts JJ, Hendricks LT, Patterson FL (1984) Tolerance of leaf rust in Susceptible wheat cultivars. *Phytopathology*, 74: 349-351
- Robert N, Denis JB (1996) Stability and baking quality in bread wheat using several statistical parameters. *Theoretical and Applied Genetic*, 93: 172-178
- Robert C, Bancal MO, Lannou C (2002) Wheat leaf rust uredospore production and carbon and nitrogen export in relation to lesion size and density. *Phytopathology*, 92: 762–768
- Robert C, Bancal MO, Lannou C (2004) Wheat leaf rust uredospore production on adult plants: influence of leaf nitrogen content and *Septoria tritici* blotch. *Phytopathology*, 94: 712–721
- Robert C, Bancal MO, Ney B, Lannou C (2005) Wheat leaf photosynthesis loss due to leaf rust, with respect to lesion development and leaf nitrogen status. *New Phytologist*, 165: 227–241
- Robert C, Bancal MO, Lannou C, Ney B (2006) Quantification of the effects of *Septoria tritici* blotch on wheat leaf gas exchange with respect to lesion age, leaf number, and leaf nitrogen status. *Journal of Experimental Botany*, 57: 225–234
- Rodrigo S, Cuello Hormigo B, Gomes C, Santamaría O, Costa R, Poblaciones MJ (2015) Influence of fungicide treatments on disease severity caused by *Zymoseptoria tritici*, and on grain yield and quality parameters of bread- making wheat under Mediterranean conditions. *European Journal of Plant Pathology*, 141: 99-109
- Roelfs AP, Singh RP, Saari EE (1992) Las royas del trigo: Conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades. México, D.F.: CIMMYT. 81 pp.
- Ronis A, Semaškienė R, Dabkevičius Z, Liatukas Ž (2009) Influence of leaf diseases on grain yield and yield components in winter wheat. *Journal of Plant Protection Research*, 49: 151–157
- Rosyara UR, Sharma RC, Duveiller E (2006) Variation of canopy temperature depression and chlorophyll content in spring wheat genotypes and association with foliar blight resistance. *J Plant Breed Group*, 1: 45-52
- Roy B, Kirchner J, Christian CE, Rose LE (2000) High disease incidence and apparent disease tolerance in a North American Great Basin plant community. *Evolutionary Ecology*, 14: 421
- Rudd JR, Kanuka K, Hassani-Pak K, Derbyshire M, Andongabo A, Devonshire J, Lysenko A, Saqu M, Desai NM, Powers SJ, Hooper J, Ambroso L, Bharti A, Farmer A, Hammond-Kosack KE, Dietrich RA, Courbot M (2015) Transcriptome and metabolite profiling the infection cycle of *Zymoseptoria tritici* on wheat reveals a biphasic interaction with plant immunity involving differential pathogen chromosomal contributions and a variation in the hemibiotrophic lifestyle definition. *Plant Physiology*, 167: 1158-1185
- Ruske RE, Gooding MJ, Pepler S, Froggatt P (2001) Nitrogen accumulation in grains of winter wheat in response to strobilurin fungicides. *Aspects of Applied Biology and Wheat Quality*, 64: 227–234
- Ruske RE, Gooding MJ, Jones SA (2003) The effects of adding picoxystrobin, azoxystrobin and nitrogen to a triazole programme on disease control, flag leaf senescence, yield and grain quality of winter wheat. *Crop Protection*, 22: 975-987
- Ruske RE, Gooding MJ, Dobraszczyk BJ (2004) Effects of triazole and strobilurin fungicide programmes, with and without late-season nitrogen fertilizer, on the baking quality of Malacca winter wheat. *Journal of Cereal Science*, 40: 1-8
- Sacco F, Ingala L, López M, Darino M, Pergolesi F, García M, Cuyeu R, Diéguez MJ (2016) Estudio de las bases genéticas de la resistencia durable a roya de la hoja en trigo 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
- Sah ND (1994) Effects of leaf wetness duration and inoculum level on resistance of wheat genotypes to *Pyrenophora tritici-repentis*. *Journal of Phytopathology*, 142: 324-330
- Schafer J (1971) Tolerance to plant disease. *Annual Review of Phytopathology*, 9: 235–252
- 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, Fleitas MC, Simón MR (2014a) Componentes ecofisiológicos involucrados en la generación de biomasa afectados por enfermedades foliares en trigo. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, ISSN: 0080-2069 (impresa) y 2314369X (en línea), Pág. 247-250.
- Schierenbeck M, Fleitas MC, Cortese F, Golik SI, Simón MR (2014b) Enfermedades foliares del trigo afectan diferencialmente la absorción y removilización del nitrógeno hacia los granos. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, ISSN: 0080-2069 (impresa) y 2314369X (en línea), Pág. 242-246.

- Schierenbeck M, Fleitas MC, Miralles DJ, Simón MR (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
- Schilder AMC, Bergstrom GC (1990) Variation in virulence within the population of *Pyrenophora tritici-repentis* in New York. *Phytopathology*, 80: 84-90
- Schilder AMC, Bergstrom GC (1994) Infection in wheat seed by *Pyrenophora tritici-repentis*. *Canadian Journal of Botany*, 72: 510-519
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (2016) Estimaciones Agrícolas. Informe Mensual al 21 de Abril de 2016. Disponible en: http://www.siiia.gob.ar/_informes//Estimaciones_Agricolas//Mensual/160421_Informe%20Mensual%20Estimaciones%20-%20Abr-2016.pdf Último acceso: Junio de 2016
- Semar N, Strobel D, Koch A, Klappach K, Stammler G (2007) Field efficacy of pyraclostrobin against populations of *Pyrenophora teres* containing the F129L mutation in the cytochrome b gene. *Journal of Plant Disease and Protection*, 114: 117-119
- Serrago RA, Carretero R, Bancal MO, Miralles DJ (2009) Foliar diseases affect the ecophysiological attributes linked with yield and biomass in wheat (*Triticum aestivum* L). *European Journal of Agronomy*, 31: 95-203
- 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. 138 p.
- Serrago RA, Carretero R, Bancal MO, Miralles DJ (2011) Grain weight response to foliar diseases control in wheat (*Triticum aestivum* L). *Field Crops Research*, 120: 352-359
- Serrago RA, Miralles DJ (2014) Source limitations due to leaf rust (caused by *Puccinia triticina*) during grain filling in wheat. *Crop and Pasture Science*, 65: 185-193
- Shabeer A, Bockus WW (1988) Tan spot effects on yield and yield components relative to growth stage in winter wheat. *Plant Disease*, 72: 599-602
- Shah SFA, McKenzie BA, Gaunt RE, Marshall JW, Frampton CM (2004) Effect of early blight (*Alternaria solani*) and different nitrogen inputs on radiation interception, radiation use efficiency, and total dry matter production in potatoes (*Solanum tuberosum*) grown in Canterbury, New Zealand. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 32: 263-272
- Shaner, G., Finney, R.E. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology*, 67: 1051-1056.
- Sharma RC, Duveiller E, Gyawali S, Shrestha SM, Chaudhary NK, Bhatta MR (2004) Resistance to *Helminthosporium* leaf blight and agronomic performance of spring wheat genotypes of diverse origins. *Euphytica*, 139: 33-44.
- Shtaya MJY (2015) Sources of partial resistance to leaf rust in hard wheat landraces cultivated in Palestine. *Walailak Journal of Science and Technology*, 12: 245-250
- Simmonds DH (1989) Fundamental aspects of wheat quality: the protein fraction. In: CSIRO Editorial Services (Eds.). *Wheat and Wheat Quality in Australia*, 9, 183-208.
- Simón MR (2010) Evolución histórica e importancia del trigo-Tecnología del Cultivo y Mejoramiento. Jornadas de Molinería 2010, 19 y 20 de agosto Facultad de Cs. Agr. y Ftles. 21 de Agosto Hotel Corregidor. La Plata, Argentina. 17
- Simón MR, Perelló AE, Cordo CA, Arriaga HO (1996) Influencia de la infección tardía de *Septoria tritici* Rob. ex Desm. sobre el peso de mil granos y algunos Variables de calidad en *Triticuma estivum* L. *Investigación Agraria*, 11: 161-171
- Simón MR, Perelló AE, Cordo CA, Struik PC (2002) Influence of *Septoria tritici* on yield, yield components, and test weight of wheat under two nitrogen fertilization conditions. *Crop Science*, 42: 1974-1981
- Simón MR, Perelló AE, Cordo CA, Struik PC (2003) Influence of nitrogen supply on the susceptibility of wheat to *Septoria tritici*. *Journal of Phytopathology* 151: 283-289
- Simón MR, Ayala F, Terrile I, Golik S, Perelló A, Cordo CA, Chidichimo H (2011) Integrated foliar disease management to prevent yield loss in Argentinean wheat production. *Agronomy Journal*, 103:1441-1451
- Singh RP, Ma H, Rajaram S (1995) Genetic analysis of resistance to scab in spring wheat cultivar Frontana. *Plant Disease*, 79:238-240.
- Slafer GA, Satorre EH (1999) *Wheat Ecology and Physiology of yield determination*. Ed. Foods Products Press. USA. Cap 1. pp. 3
- Slafer GA, Calderini DF, Miralles DJ (1996) Generation of yield components and compensation in wheat: Opportunities for further increasing yield potential. *CIMMYT Int. Symp., CIANO*. Cd. Obregon, Mexico. pp. 101-133
- Smith J, Grimmer M, Waterhouse S, Paveley N (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

- Snoeiijers SS, Perez-Garcia A, Joosten MHAJ, De Wit PJGM (2000) The effect of nitrogen on disease development and gene expression in bacterial and fungal plant pathogens. *European Journal of Plant Pathology*, 106: 493–506
- Souza EJ, Martin JM, Guttieri MJ, O'Brien KM, Habernicht DK, Lanning SP, McLean R, Carlson GR, Talbert LE (2004) Influence of genotype, environment, and nitrogen management on spring wheat quality. *Crop Science*, 44: 425-432
- Sroan BS, Bean SR, Mac Ritchie F (2009) Mechanism of gas cell stabilization in bread making. I. The primary gluten–starch matrix. *Journal of Cereal Science*, 48: 1-9
- Steffolani ME, Perez GT, Ribotta PD, Leon AE (2007) Relationship between variety classification and breadmaking quality in Argentine wheats. *International Journal of Agricultural Research*, 2: 33-42
- Stone PJ, Savin R (1999) Grain quality and its physiological determinants. En: EH Satorre, GA Slafer (Eds.) *Wheat: A physiological Ecological Approach to Understand Yield and its Determining process at the crop level of organization*. Food product Press, New York. pp. 85-120
- Sykes EE, Bernier CC (1991) Qualitative inheritance of tan spot resistance in hexaploid, tetraploid, and diploid wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 13: 38-44
- Talbot NJ, Mc Cafferty HRK, Ma M, Moore K, Hamer JE (1997) Nitrogen starvation of the rice blast fungus *Magnaporthe grisea* may act as an environmental cue for disease symptom expression. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 50: 179–195
- Tian D, Traw MB, Chen JQ, Kreitman M, Bergelson J (2003) Fitness costs of R-gene-mediated resistance in *Arabidopsis thaliana*. *Nature* 423, 74-77
- Van den Berg F, van den Bosch F, and Paveley ND (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 Ginkel M, Rajara S (1993) Breeding for durable resistance to disease in wheat: an international perspective. In: Jacobs T, Parlevliet JE (Eds.) *Durability of disease resistance*. Dordrecht: Kluwer Academics, pp 259-272.
- Van Oijen M (1990) Photosynthesis is not impaired in healthy tissue of blighted potato plants. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 96, 55–63.
- Varga B, Svecnjak Z, Macesic D, Uher D (2005) Winter wheat cultivar responses to fungicide application are affected by nitrogen fertilization rate. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191: 130-137
- Varga B, Svecnjak Z, Macesic D, Uher D (2005) Winter wheat cultivar responses to fungicide application are affected by nitrogen fertilization rate *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191: 130–137
- Vázquez D, Berger AG, Cuniberti M, Bainotti C, Zavariz de Miranda M, Scheeren PL, Jobet C, Zúñiga J, Cabrera G, Verges R, Peña RJ (2012) Influence of cultivar and environment on quality of Latin American wheats. *Journal of Cereal Science*, 56: 196-203
- Voegele RT, Mendgen KW (2011) Nutrient uptake in rust fungi: How sweet is parasitic life?. *Euphytica* 179:41-55
- Waggoner PE, Berger R (1987) Defoliation, Disease and Growth. *Phytopathology*, 77: 393-398
- Walters DR, Bingham IJ (2007) Influence of nutrition on disease development caused by fungal pathogens: implications for plant disease control. *Annals of Applied Biology*, 151: 307-324
- Wang J, Pawelzik E, Weinert J, Zhao Q, Wolf G (2004) Effect of fungicide treatment on the quality of wheat flour and breadmaking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52: 7593-7600
- Waterhouse S, Semar M (2012) The contribution of BASF SDHI chemistry to cereal yield performance. *Proceedings Crop Protection in Northern Britain 2012*.
- Wegulo, S.N. 2011. Tan spot of cereals. The Plant Health Instructor. DOI: 10.1094/PHI-I-2011-0426-01. Disponible en: <http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/ascomycetes/Pages/TanSpot.aspx>. Último acceso: Marzo de 2017
- Wegulo S, Stevens J, Zwingman M, Baenziger PS (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, HG, Gaunt, RE, 1990 Yield loss: disease relationships in barley crops with different yield potentials. *Proceedings of the 43rd NZ Weed and Pest Control Conference 1990*, pp. 159–162
- Wieser H (2007) Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*, 24: 115-119
- Wiik L (2009) Control of fungal diseases in winter wheat. *Doctoral Thesis Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp*. pp. 19.
- Wright KH, Sutton JC (1990) Inoculum of *Pyrenophora tritici-repentis* in relation to epidemics of tan spot of winter wheat in Ontario. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 12: 149-157

- Wu YX, Von Tiedemann A (2001) Physiological effects of azoxystrobin and epoxiconazole on senescence and the oxidative status of wheat. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 71: 1-10
- Zadoks JC, Chang TT, Konzak CF (1974) A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14: 415–421
- Ziv O, Eyal Z (1978) Assessment of yield component losses caused in plants of spring wheat genotypes by selected isolates of *Septoria tritici*. *Phytopathology*, 68: 791-796
- Zuckerman E, Eshel A, Eyal Z (1997) Physiological aspects related to tolerance of spring wheat cultivars to *Septoria tritici* blotch. *Phytopathology*, 87: 60-6

Anexo I

TRABAJOS PUBLICADOS EN CONGRESOS DERIVADOS DE ESTA TESIS

A. Congresos Nacionales

- Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Golik SI, Miralles DJ, Simón MR (2016) Perfiles de infección ante inoculaciones artificiales de los agentes causales de la mancha amarilla y roya de la hoja en trigo. 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
- Castro AC, Schierenbeck M, **Fleitas MC** Golik SI Simón MR (2016) Efecto de patógenos de distinto hábito nutricional sobre la generación de biomasa dinámica del N y rendimiento en trigo. 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
- Maydup ML, Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Simón MR, Tambussi E (2016) Contribución de la espiga durante el llenado de granos en plantas atacadas por patógenos fúngicos. 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.
- Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Golik SI, Simón MR (2015) Generación de biomasa y rendimiento en trigo frente a infecciones de *Puccinia triticina* y *Pyrenophora tritici-repentis*. XV Jornadas Fitosanitarias Argentinas, 7 al 9 de Octubre, Ciudad de Santa Fe, Argentina, Pág 130
- Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Golik SI, Simón MR (2015) Enfermedades fúngicas foliares en trigo: Influencia sobre variables ecofisiológicas involucradas en la generación de biomasa y rendimiento. Reunión BASF, Top Ciencia, 29 y 30 de Julio, Hotel Intercontinental de Mendoza, Argentina, Pág 135
- Fleitas MC**, Schierenbeck M, Simón MR (2014) Efecto de la roya de la hoja sobre el rendimiento y la calidad de trigo en cultivares de diferente grupo de calidad. Octava Reunión de Producción Vegetal y Sexta de Producción Animal del NOA, 5 6 y 7 Noviembre, San Miguel de Tucumán, Argentina
- Fleitas MC**, Schierenbeck M, Golik SI, Simón MR (2014) Tolerancia de la mancha amarilla del trigo en cultivares de diferente grupo de calidad. Octava Reunión de Producción Vegetal y Sexta de Producción Animal del NOA, 5 6 y 7 Noviembre, San Miguel de Tucumán, Argentina
- Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Simón MR (2014) Componentes ecofisiológicos involucrados en la generación de biomasa afectados por enfermedades foliares en trigo. Octava Reunión de Producción Vegetal y Sexta de Producción Animal del NOA, 5 6 y 7 Noviembre, San Miguel de Tucumán, Argentina
- Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Cortese F, Golik SI, Simón MR (2014) Enfermedades foliares del trigo afectan diferencialmente la absorción y removilización del nitrógeno hacia los granos. Octava Reunión de Producción Vegetal y Sexta de Producción Animal del NOA, 5 6 y 7 Noviembre, San Miguel de Tucumán, Argentina
- Fleitas MC**, Schierenbeck M, Simón MR (2014) Efecto de la tolerancia a la mancha amarilla sobre la calidad de trigo en cultivares de diferente grupo de calidad. Reunión BASF, Top Ciencia, 26 y 27 de Junio, Hotel Panamericano Capital Federal, Argentina, Pág 107
- Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Coretese F, Simón MR (2014) Enfermedades foliares fúngicas en trigo: efecto sobre la acumulación y la removilización de nitrógeno hacia los granos. Reunión BASF, Top Ciencia, 26 y 27 de Junio, Hotel Panamericano Capital Federal, Argentina, Pág 108
- Fleitas MC**, Schierenbeck M, Gerard GS, Simón MR (2013) Efecto de mancha amarilla y roya de la hoja sobre rendimiento y calidad comercial de trigo. Reunión BASF, Top Ciencia, 18 y 19 de Julio, Capital Federal, Argentina (Disponible en CD)
- Simón MR, **Fleitas MC**, Schierenbeck M (2013) Tolerancia a la mancha de la hoja y roya de la hoja del trigo Relación fuente/destino en cultivares de trigo con diferente tolerancia. Reunión BASF, Top Ciencia, 18 y 19 de Julio, Capital Federal, Argentina (Disponible en CD)
- Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Simón MR (2013) Efecto de mancha amarilla y roya de la hoja sobre la biomasa aérea radiación interceptada acumulada y eficiencia en el uso de la radiación de distintos cultivares trigo. Reunión BASF, Top Ciencia, 18 y 19 de Julio, Capital Federal, Argentina (Disponible en CD)

B. Congresos Interacionales

- Fleitas MC**, Schierenbeck M, Golik SI, Simón MR (2015) Association of disease tolerance with yield potential of wheat in the presence of tan spot and leaf rust. 9thInternational Wheat Conference, 20 al 25 de Septiembre, Sidney Australia, Pág 144
- Fleitas MC**, Schierenbeck M, Simón MR (2015) Quality response to tan spot associated with green canopy area duration in wheat. 9thInternational Wheat Conference, 20 al 25 de Septiembre, Sidney Australia, Pág 144.
- Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Simón MR (2015) Radiation use efficiency on wheat: comparative effects of biotrophic and necrotrophic fungal pathogens. 9thInternational Wheat Conference, 20 al 25 de Septiembre, Sidney Australia, Pág 143
- Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Simón MR (2015) Nitrogen fractions at harvest on wheat: comparative effects of biotrophic and necrotrophic pathogens. 9thInternational Wheat Conference, 20 al 25 de Septiembre, Sidney Australia, Pág 143
- Simón MR, Moreno MV, Jecke FA, **Fleitas MC**, Schierenbeck M, Perelló A (2014) Avances en resistencia genética a mancha amarilla en trigo en Argentina. Seminario Internacional '1914-2014: Un siglo de mejoramiento de trigo en La Estanzuela', 27 al 29 de Agosto, Colonia, Uruguay, Pág 47
- Fleitas MC**, Schierenbeck M, Simón MR (2014) Efecto de la tolerancia a la mancha amarilla del trigo sobre la calidad panadera en cultivares diferente grupo de calidad. Seminario Internacional '1914-2014: Un siglo de mejoramiento de trigo en La Estanzuela', 27 al 29 de Agosto, Colonia, Uruguay, Pág 54
- Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Simón MR (2014) Eficiencia de uso de la radiación como predictor de la tolerancia a enfermedades foliares en trigo. Seminario Internacional '1914-2014: Un siglo de mejoramiento de trigo en La Estanzuela', 27 al 29 de Agosto, Colonia, Uruguay, Pág 59
- Simón MR, **Fleitas MC**, Schierenbeck M, Golik SI (2014) Tolerancia a patógenos biotróficos y necrotróficos en cultivares argentinos de trigo pan. Seminario Internacional '1914-2014: Un siglo de mejoramiento de trigo en La Estanzuela', 27 al 29 de Agosto, Colonia, Uruguay, Pág 60
- Simón MR, Castro AC, **Fleitas MC**, Schierenbeck M, Golik SI (2014) Tolerance to foliar diseases in wheat cultivars. Eucarpia, Cereals Section ITMI Joint Conference, June 29 - July 4, Wernigerode, Germany, Pág 274
- Fleitas MC**, Gerard GS, Schierenbeck M, Simón MR (2013) Efecto de la mancha amarilla sobre el rendimiento y la calidad de trigo en cultivares de diferente grupo de calidad. Effect of tan spot on yield and breadmaking quality of wheat in different cultivars. XXII Congreso Peruano y XVII Congreso Latinoamericano de Fitopatología, 1 al 5 de Octubre, Lambayeque, Perú, Pág 28
- Simón MR, **Fleitas MC**, Schierenbeck M, Golik SI (2013) Tolerancia a la mancha amarilla y roya de la hoja del trigo: relacion fuente/destino Tolerance to tan spot and leaf rust of wheat: sink/source relationship. XXII Congreso Peruano y XVII Congreso Latinoamericano de Fitopatología, 1 al 5 de Octubre, Lambayeque, Perú, Pág 116
- Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Cortese F, Simón MR (2013) Efecto de patógenos fúngicos foliares con diferente hábito nutricional sobre fracciones de nitrógeno acumulado a cosecha en trigo Effect of foliar fungal pathogens with diferente nutrition habit on yield fractions at harvest. XXII Congreso Peruano y XVII Congreso Latinoamericano de Fitopatología, 1 al 5 de Octubre, Lambayeque, Perú, Pág 116
- Schierenbeck M, **Fleitas MC**, Simón MR (2013) Influencia de roya de la hoja y mancha amarilla del trigo sobre la biomasa aérea y atributos fisiológicos asociados en cultivares argentino