

**Cambios en la calidad comercial e industrial del trigo pan (*Triticum aestivum* L.) asociados a enfermedades biotróficas y necrotróficas**

*Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires,  
Área Ciencias Agropecuarias*

**Ginna Paola Rozo Ortega**

Ingeniero agrónomo

Universidad de Cundinamarca - Colombia 2010

Cátedra de Cerealicultura/IFEVA  
Departamento de Producción Vegetal  
Facultad de Agronomía  
Universidad de Buenos Aires



**FAUBA**

Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano  
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires



## COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis

**Daniel Julio Miralles**

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

Co-director

**María Rosa Simón**

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de La Plata)

Doctor en: Production Ecology and Resource Conservation

(Wageningen University, Holanda)

Consejero de Estudios

**Román Augusto Serrago**

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

## JURADO DE TESIS

JURADO

**Cristina Ferrero**

Licenciada en Ciencias Químicas (Universidad de Buenos Aires)

Doctor en Ciencias Químicas (Universidad Nacional de La Plata)

JURADO

**Ana María Romero**

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctor en Fitopatología PhD (North Carolina State University, EEUU)

JURADO

**Roxana Savín**

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

PhD (University of Melbourne, Australia)

Fecha de defensa de la tesis: 22 de Agosto de 2019

DEDICATORIA

*A los amores de mi vida ♥ Juli, Tila y Gilma*

*A mis amados padres Pedro y Stella*

*A mis adoradas tías la Tata, Stellita R.R y Marthica B*

*A mi Negrito lindo y a mis amigos*

## AGRADECIMIENTOS

En esta instancia agradezco infinitamente a todas las personas que conforman la Cátedra de cereales, Producción vegetal y Cultivos industriales su inmenso cariño y compañía ya que fueron el complemento perfecto para culminar esta etapa.

A Daniel, muchas gracias por confiar en mí, por brindarme la mano cuando más lo necesite, por abrirme las puertas a este Doctorado, por estar siempre atento a mis dudas y responderlas con una paciencia y dedicación enormes, por alentarme a lograr los objetivos de la carrera. No solo te doy las gracias por formarme académicamente sino también por ser un amigo que me orientó en mi estancia en este hermoso país, fuiste como un padre para mí.

A María Rosa, por abrirme las puertas ofreciéndome su co-dirección, por estar siempre atenta resolviendo todas las dudas a distancia, dándole una prioridad enorme a todo lo correspondiente a este proceso, muchas gracias por compartir momentos lindos durante los experimentos, por todo el cariño y hacerme sentir uno más de la cátedra de cereales de la UNLP.

A Coti Fleitas por su ayuda en todo el proceso de calidad industrial, abrirme las puertas de su hogar para hospedarme tan cálidamente e inculcarme la admiración por este trabajo. A Ana Castro por su cariño las charlas tan agradables que compartimos durante las mediciones y por estar atenta en todo este proceso. A Matías Schierenbeck por toda la ayuda en los experimentos al igual que a Guille Gerard por su guía desinteresada en el protocolo del test de Zeleny.

A Román mi consejero de tesis quien estuvo guiándome y ayudándome en el proceso experimental de la tesis, siempre dispuesto a mis inquietudes.

A Pato Lo Valvo, quien fue mi compañero de Doctorado y a Enrique del Corchio por inmensa ayuda durante el desarrollo de los experimentos.

A mi querida Silvina Enciso quien admiro por su responsabilidad y a quien le agradezco su compañía y valiosa amistad.

A todos los técnicos del campito experimental, especialmente a Juancito Fuentes que siempre me dio una valiosa mano en los ensayos con un cariño recíproco, a Maxi Rodríguez por su colaboración, disposición y divertida compañía en todo el proceso de calidad industrial, a mi gran amigo Maxi Fabre y a Gonza Rivelli por ayudarme eficientemente en la panificación.

A mis amigos y compañeros de oficina Magui N, Belu, Carly, Luis, Eugene, por su compañía y guía durante este recorrido y especialmente a Victor, Nico, Tincho P, Seba R y Beche por su ayuda en el campo experimental y observación de datos, por alentarme siempre con sus consejos, son como mis hermanos.

A todos los integrantes de grupo trigo que siempre aportaron ideas para mejorar los experimentos y estuvieron atentos a mis inquietudes.

A mis chicas lindas de maestría por estar pendientes de mi dándome calor de hogar.

A Noemí Fritz de la Cámara arbitral de Cereales y Pablo Campos por su colaboración en análisis de calidad y guía de identificación de enfermedades respectivamente.

A los Jurados quienes aportaron valiosas observaciones para mejorar la calidad de esta tesis.

A mi Juli y Mauricio (mi negrito) por ayudarme en todo este proceso con tanta paciencia y amor desde ayudarme en casa con extracción de semillas, hasta soportar las inclemencias de trabajar en el campo.

A mis Abuelas (Tila, Gilma y Tere), mis Padres, mi tía Stellita Roza, mi tía Marthica, mis suegros y mis amados compañeros cuadrúpedos por su amor y apoyo incondicional. A mi Catica por su hermandad.

*No solo aprendí muchísimo, sino que también culmine esta etapa rodeada de mucho afecto, ¡Gracias a todos!*

## DECLARACIÓN

*Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en esta u otra institución.*

Ing. Agr. Ginna Paola Rozo Ortega

## ÍNDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS.....	X
INDICE DE CUADROS.....	XIII
RESUMEN.....	XIX
ABSTRACT.....	XX
CAPÍTULO 1 .....	21
1.1 Introducción .....	22
<i>1.1.1 La importancia del trigo a nivel mundial y en Argentina.....</i>	<i>22</i>
<i>1.1.2 Calidad comercial e industrial del cultivo de trigo en Argentina .....</i>	<i>22</i>
<i>1.1.3 Generación del rendimiento y la calidad del cultivo de trigo .....</i>	<i>24</i>
<i>1.1.4 Principales enfermedades foliares del cultivo de trigo.....</i>	<i>27</i>
<i>1.1.5 Epidemiología de las enfermedades y sus efectos en la generación del rendimiento de acuerdo al hábito nutricional. ....</i>	<i>28</i>
<i>1.1.1 Cambios en la calidad del grano de trigo asociados a enfermedades .....</i>	<i>35</i>
1.2 Objetivos e hipótesis .....	37
CAPÍTULO 2 .....	38
2.1 Descripción general de los experimentos.....	39
2.2 Mediciones generales .....	40
<i>2.2.1 Dinámica de la evolución de enfermedades en el llenado de los granos .....</i>	<i>40</i>
<i>2.2.2 Análisis de calidad comercial y parámetros reológicos de la calidad industrial .....</i>	<i>42</i>
<i>2.2.3 Condiciones meteorológicas .....</i>	<i>43</i>
CAPÍTULO 3 .....	44
3.1 Introducción .....	45
3.2 Materiales y métodos .....	46
3.3 Resultados .....	47

3.3.1 Condiciones meteorológicas .....	47
3.3.2 Evolución de las enfermedades durante el ciclo del cultivo .....	47
<b>3.3.3 Rendimiento, sus componentes y en la relación fuente: destino: ¿Cómo afectaron las enfermedades?</b> .....	<b>50</b>
3.3.4 Modificaciones en los parámetros de calidad asociados a la presencia de las enfermedades foliares .....	52
3.3.5 Modificaciones en los parámetros de calidad industrial ante la presencia de enfermedades foliares .....	55
3.4 Discusión.....	59
CAPÍTULO 4.....	67
4.1 Introducción .....	68
4.2 Materiales y Métodos.....	69
4.3 Resultados .....	70
4.3.1 Condiciones meteorológicas .....	70
4.3.2 Evolución de las enfermedades durante el llenado de los granos .....	71
4.3.3 Distribución de las enfermedades en el canopeo, en el tallo y las espigas .....	74
4.3.4 Efecto de las enfermedades foliares y del tallo en el rendimiento y sus componentes.....	76
4.3.5 Acumulación de Carbohidratos solubles en tallo durante el ciclo del cultivo ante la presencia de <i>Z. tritici</i> y <i>P. graminis</i> .....	77
4.3.6 Modificaciones en los parámetros de calidad comercial ante la presencia de enfermedades foliares y del tallo .....	79
4.4 Modificaciones en los parámetros de calidad industrial ante la presencia de enfermedades foliares y del tallo.....	81
4.5 Discusión.....	84
4.5.1 Cuantificación de las enfermedades foliares y su impacto sobre el rendimiento y la acumulación de carbohidratos solubles en tallo. ....	84
4.5.2 Modificaciones en la calidad comercial y las propiedades viscoelásticas debido a la presencia de enfermedades foliares y del tallo.....	88

CAPÍTULO 5 .....	92
5.1 Introducción .....	93
5.1.1 <i>Respuesta de los carbohidratos ante estreses ambientales</i> .....	93
5.2 Materiales y Métodos .....	94
5.3 Resultados .....	95
5.3.1 <i>Condiciones meteorológicas</i> .....	95
5.3.2 <i>Clasificación de genotipos de acuerdo al contenido máximo de carbohidratos solubles en tallo</i> .....	96
5.3.3 <i>Evolución de las enfermedades durante el llenado de granos</i> .....	97
5.3.4 <i>Respuestas de la duración de área foliar total y verde ante la presencia de las enfermedades foliares</i> .....	99
5.3.5 <i>Incidencia de las enfermedades foliares en el rendimiento y sus componentes</i> .....	102
5.3.6 <i>Acumulación de los carbohidratos solubles en tallo ante la presencia de las enfermedades foliares</i> .....	105
5.3.7 <i>Modificaciones en la calidad comercial ante la presencia de enfermedades foliares</i> .....	107
5.3.8 <i>Modificaciones en los parámetros de calidad industrial ante la presencia de las enfermedades foliares</i> .....	109
5.4 Discusión.....	113
5.4.1 <i>Incidencia de las enfermedades foliares en la duración del área foliar y el efecto en los rendimientos</i> .....	113
5.4.2 <i>¿Cuál es la relación entre la acumulación de CHO y la calidad comercial ante la presencia de las enfermedades foliares?</i> .....	117
5.4.3 <i>Modificaciones en la calidad industrial ante la presencia de las enfermedades foliares</i> .....	118
CAPÍTULO 6 .....	120
6.1 Contexto de la problemática abordada.....	121
6.2 Aportes de esta tesis al conocimiento .....	121

6.3 Modelo conceptual del efecto de las enfermedades con diferente hábito nutricional: ¿Como afectan el rendimiento, sus componentes y calidad del trigo? .....	124
6.3.1 <i>Interrogantes y futuras líneas de investigación</i> .....	130
ANEXO.....	131
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	134

## INDICE DE FIGURAS

- Figura 3.1** Condiciones meteorológicas de los experimentos realizados en FAUBA durante los años 2013 (a) y 2014 (b). Las barras representan las precipitaciones acumuladas (diez días). Las temperaturas se encuentran representadas como el promedio de diez días de las temperaturas mínimas (---○---), medias (---●---) y máximas (---○---). La línea punteada vertical indica el momento antesis en cada año experimental..... 47
- Figura 3.2** Dinámica de la evolución en porcentaje de severidad de las enfermedades roya de la hoja (círculos) y mancha amarilla (cuadrados) para los tratamientos Control (C) símbolos vacíos y Enfermos (E) símbolos llenos, para los cultivares antiguos 2013 (a y c) y 2014 (b y d) y modernos 2013 (e y g) y 2014 (f y h). La línea punteada vertical indica el momento antesis para todos los cultivares ..... 48
- Figura 3.3** Proteína en grano (%) en función del rendimiento (kg/ha) ambos expresados como desvíos de valores absolutos respecto a la media de cada año para el grupo de cultivares antiguos (círculos) y modernos (cuadrados) para los tratamientos enfermo (símbolos llenos) y control (símbolos vacíos) las regresiones lineales corresponden a los tratamientos control y enfermo. .... 54
- Figura 3.4** Desvíos de valores absolutos respecto a la media de cada año entre a) Gluten húmedo (%) y Contenido de proteína en grano (%) b) Gluten húmedo (%) y contenido de proteína en harina (%) para el grupo de cultivares antiguos (círculos) y modernos (cuadrados) para los tratamientos enfermo (símbolos llenos) y control (símbolos vacíos). Las sub figuras b y e representan los cambios relativos para las mismas variables de los tratamientos enfermos respecto del control..... 55
- Figura 3.5** Desvíos de valores absolutos respecto a la media de cada año para las relaciones entre a) W Fuerza de la masa y gluten húmedo b) W Fuerza de la masa y Test Zeleny (sedimentación) c) W Fuerza de la masa y contenido de proteína en grano para el grupo de cultivares antiguos (círculos) y modernos (cuadrados) en los tratamientos enfermos (Llenos) y el tratamiento control (vacíos). Las sub figuras d, e y f representan los respectivos valores relativos de los tratamientos enfermos respecto de los controles para las mismas variables..... 58
- Figura 4.1** Condiciones meteorológicas de los experimentos realizados en FAUBA durante los años 2016 (a) y 2017 (b). Las barras representan las precipitaciones acumuladas (diez días). Las temperaturas se encuentran representadas como el promedio de diez días de las temperaturas mínimas (---○---), medias (---●---) y máximas (---○---). Las líneas punteadas verticales indican el momento antesis en cada fecha de siembra, particularmente para el experimento realizado en el año 2016 las dos primeras líneas hacen referencia al momento antesis de las fechas de siembra tempranas y las dos últimas líneas al momento antesis de las fechas tardías. .... 71
- Figura 4.2** Dinámica de la evolución de enfermedades durante el ciclo del cultivo en el cultivar Baguette 601 para los tratamientos: enfermo (E) símbolos llenos y Control (C) símbolos vacíos. Los círculos representan a *Zymoseptoria tritici*, los triángulos representan a *Puccinia graminis* en órganos foliares y las barras a *P. graminis* en el tallo.

Las fechas de siembra tempranas del año 2016 sembradas en mayo (Temprana I) y en junio (Temprana II) corresponden a las figuras a y d respectivamente, las fechas de siembra tardías del año 2016 sembradas en agosto (Tardía I) y septiembre (Tardía II) corresponden a las figuras b y e respectivamente. Las fechas de siembra tardías del año 2017 sembradas en julio (Tardía I) y agosto (Tardía II) corresponden a las figuras c y f respectivamente. .... 72

**Figura 4.3** Distribución de las enfermedades en el tratamiento (E) en las fechas de siembra temprana I y II-2016 (a y b) Tardía I-2016 (c, d, e), Tardía II-2016 (f, g, h), Tardía I-2017 (i, j, k), Tardía II-2017 (l, m, n) para roya del tallo en los estratos superior, medio e inferior del tallo (ABCPE biotrófica tallo) y la distribución a nivel foliar en hoja bandera HB, segunda hoja HB-1, tercer hoja HB -2 y cuarta hoja HB-3 para roya del tallo (ABCPE foliar biotrófica) y septoriosis (ABCPE foliar hemibiotrófica) ..... 75

**Figura 4.4** ABCPE de roya del tallo en la espiga del tratamiento (E) en las fechas de siembra tardía I-2016, tardía II-2016, tardía I-2017 y tardía II-2017, el tratamiento (C) no presentó infecciones de esta enfermedad, por lo tanto no se encuentra representado gráficamente. .... 76

**Figura 4.5** a) Gluten húmedo vs proteína en grano calculados como valores absolutos respecto a la media de cada fecha de siembra y como b) valores relativos del tratamiento E respecto al C para cada fecha de siembra: temprana I (círculo), temprana II (cuadrado), tardía I-2016 (triángulo), tardía II-2016 (diamante), tardía I-2017 (estrella) y tardía II-2017 (octágono) del cultivar 601 para los tratamientos: enfermo (E) símbolos llenos y Control (C) símbolos vacíos. .... 81

**Figura 4.6.** Relaciones funcionales de parámetros de calidad presentada en valores absolutos respecto a la media de cada fecha de siembra: a) W (fuerza de la masa) y Proteína en grano y b) W (fuerza de la masa) y Gluten húmedo. Los valores presentados en las figuras c y d, corresponden a las relaciones funcionales en valores relativos tratamiento (E) respecto al (C) para cada fecha de siembra: temprana I (círculo), temprana II (cuadrado), tardía I-2016 (triángulo), tardía II-2016 (diamante), tardía I-2017 (estrella) y tardía II-2017 (octágono) del cultivar 601 para los tratamientos: enfermo (E) símbolos llenos y Control (C) símbolos vacíos. .... 84

**Figura 5.1.** Condiciones meteorológicas de los experimentos realizados en UNLP durante los años 2016 (a) y 2017 (b). Las barras representan las precipitaciones acumuladas (diez días). Las temperaturas se encuentran representadas como el promedio de diez días de las temperaturas mínimas (---), medias (—●—) y máximas (---). La línea punteada vertical indica el momento antesis en cada año experimental. .... 96

**Figura 5.2.** Dinámica del porcentaje de severidad de las enfermedades foliares durante el llenado de los granos, cada punto representa el promedio de las tres repeticiones para el tratamiento control (símbolos vacíos) y el tratamiento enfermo (símbolos llenos). Las figuras agrupadas a la izquierda corresponden al año 2016 y las figuras agrupadas a la derecha corresponden al año 2017 para los genotipos SB003 BCHOs (a y b), SB010 MCHOs (c y d), SB084 MCHOs (e y f) y SB146 BCHOs (g y h). .... 97

**Figura 5.3** Relaciones funcionales presentadas en valores absolutos entre a) DAFV ( $m^2/m^2 \cdot \text{días}$ ), y el ABCPE b) y el correspondiente desvío respecto a la media de cada año. Cada punto representa repeticiones de los genotipos SB003 (círculo), SB010 (cuadrado), SB084 (triángulo) y SB146 (diamante) correspondientes a el tratamiento control (símbolos vacíos) y el tratamiento enfermo (símbolos llenos). ..... 101

**Figura 5.4** Relaciones funcionales presentadas en valores absolutos entre a) Rendimiento y ABCPE, b) Peso de los granos y DAFV/grano ( $m^2 \text{ hoja. día/grano}$ ), y los desvíos respecto a la media de cada año c y d correspondientes a los parámetros en a y b. Cada punto representa repeticiones de los genotipos SB003 (círculo), SB010 (cuadrado), SB084 (triángulo) y SB146 (diamante) correspondientes a el tratamiento control (símbolos vacíos) y el tratamiento enfermo (símbolos llenos). ..... 103

**Figura 6.1** Esquema simplificado del efecto de las enfermedades partiendo de un modelo ecofisiológico de la obtención de rendimientos y las respuestas en los parámetros de calidad comercial. Los gráficos de barras corresponden a las medias obtenidas en todos los experimentos de los tratamientos enfermo y control, destacándose en algunos parámetros el efecto de la predominancia de *P. graminis* (línea punteada) y el efecto la predominancia de otras enfermedades analizadas. .... 125

**Figura 6.2** Esquema del efecto general de las enfermedades en la calidad industrial (parámetros alveográficos y panificación). Las respuestas en los gráficos de barras corresponden a las medias obtenidas en todos los experimentos del tratamiento enfermo y control. .... 127

**Figura 6.3** Respuestas de la predominancia de las enfermedades en los parámetros alveográficos de calidad industrial. .... 129

## INDICE DE CUADROS

**Cuadro 3.1** Medias del ABCPE Biotrófica, ABCPE Necrotrófica y la suma del ABCPE de las dos enfermedades para el grupo de cultivares antiguos y el grupo de cultivares modernos con sus respectivos tratamientos de enfermedad Control (C) y Enfermos (E) y la interacción cultivar por tratamiento  $C \times T$ . Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$  \* para *Cultivar*, *Tratamientos* y *Cultivar x Tratamiento (C x T)*. ..... 49

**Cuadro 3.2** Medias del rendimiento  $R_n$  ( $gm^2$ ), número de granos  $NG$  ( $m^2$ ), peso de los granos  $PG$  (mg), y los parámetros indicadores de las relaciones F:D obtenidas de la biomasa (anthesis) /  $NG$  ( $m^2$ ) y la RAA (Radiación absorbida acumulada)/  $NG$  ( $MJ m^2$ ) durante el llenado de granos, para cada grupo de cultivares con los respectivos tratamientos de enfermedad Control (C) y Enfermo (E) y las medias de la interacción cultivar por tratamiento  $C \times T$ . Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$  \* para *Cultivar*, *Tratamientos de enfermedad* y *Cultivar x Tratamiento (C x T)*. ..... 51

**Cuadro 3.3** Medias de Peso hectolítrico  $PH$  (hL), Extracción de harina  $EXT$  (%), Contenido de proteína en grano  $CPG$  (%), Contenido de proteína en harina  $CPH$  (%), Gluten húmedo  $GH$  (%), Gluten seco  $GS$  (%) y Test de sedimentación Zeleny  $SZ$  (ml), para los cultivares antiguos y modernos, los tratamientos de enfermedad Control (C) y Enfermos (E) y la interacción cultivar por tratamiento para los cultivares antiguos y modernos. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$  \* para *Cultivar*, *Tratamiento* y *Cultivar x Tratamiento (CxT)*. ..... 53

**Cuadro 3.4** Medias de los parámetros del alveograma: Tenacidad  $P$  (mm), Extensibilidad  $L$  (mm), Relación entre Tenacidad y Extensibilidad:  $P/L$  y Fuerza  $W$  ( $J \times 10^{-4}$ ). Parámetros de volumen ( $cm^3$ ) e Índice de caída  $FN$  (s) para los cultivares antiguos y modernos con sus respectivos tratamientos Control (C) y Enfermo (E) y las respuestas en la interacción cultivar por tratamiento para los cultivares antiguos y modernos. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$  \* para *Cultivar*, *Tratamiento* y *Cultivar x Tratamiento (CxT)*. ..... 56

**Cuadro 4.1** Medias del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) cuantificada para órganos foliares y el tallo para septoriosis (Hemi) y roya del tallo (Bio) en el cultivar Baguette 601 correspondiente a las fechas de siembra: Temprana I (Mayo 2016), Temprana II (Junio 2016), Tardía I (Agosto 2016 y Julio 2017), Tardía II (Septiembre 2016 y Agosto 2017) para los *Tratamientos* de enfermedad Control (C) y Enfermos (E). Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$  \* ..... 73

**Cuadro 4.2** Medias de los rendimientos y componentes del cultivar Baguette 601, correspondiente a las fechas de siembra: Temprana I (Mayo 2016), Temprana II (Junio 2016), Tardía I (Agosto 2016 y Julio 2017), Tardía II (Septiembre 2016 y Agosto 2017) para los *Tratamientos* de enfermedad Control (C) y Enfermos (E). Letras diferentes

indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$ \*.  
 ..... 77

**Cuadro 4.3** Medias de CHOs ( $\text{g/m}^2$ ) en tres momentos durante el ciclo del cultivo: diez días después de Antesis (Ant+10), veinticinco días después de Antesis (Ant+25) y madurez fisiológica (Mad) del cultivar Baguette 601, correspondiente a las fechas de siembra: Temprana I (Mayo 2016), Temprana II (Junio 2016), Tardía I (Agosto 2016 y Julio 2017), Tardía II (Septiembre 2016 y Agosto 2017) para los *Tratamientos* de enfermedad Control (C) y Enfermos (E) . Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$ \*..... 78

**Cuadro 4.4** Medias de los parámetros de calidad comercial Peso hectolítrico PH (hL), Porcentaje de extracción de la harina EXT (%), Contenido de proteína en grano CPG (%), Contenido de proteína en harina CPH (%) y Contenido de gluten húmedo GH (%) y seco GS (%) del cultivar Baguette 601, correspondiente a las fechas de siembra: Temprana I (Mayo 2016), Temprana II (Junio 2016), Tardía I (Agosto 2016 y Julio 2017), Tardía II (Septiembre 2016 y Agosto 2017) para los *Tratamientos* de enfermedad Control (C) y Enfermos (E) . Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$ \*..... 80

**Cuadro 4.5** Medias de los parámetros de calidad Industrial, propiedades viscoelásticas de las masas parámetros alveográficos: Tenacidad P (mm), Extensibilidad L (mm), relación entre los dos parámetros P/L y Fuerza de la masa W ( $\text{J} \times 10^{-4}$ ). Índice de caída de las  $\alpha$ -amilasas FN (s) del cultivar Baguette 601, correspondiente a las fechas de siembra: Temprana I (mayo 2016), Temprana II (junio 2016), Tardía I (agosto 2016 y Julio 2017), Tardía II (septiembre 2016 y agosto 2017) para los *Tratamientos* de enfermedad Control (C) y Enfermos (E). Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$ \*..... 83

**Cuadro 5.1** Clasificación de cultivares de acuerdo al punto máximo de porcentaje de carbohidratos acumulados en el tallo (CHOs). Comparación de medias LSD  $P < 0.05$ . La clasificación de los materiales fue de: bajo contenido de carbohidratos (BCHOs), medio contenido de CHOs (MCHOs) y alto contenido de carbohidratos (ACHOs). ..... 96

**Cuadro 5.2** Medias de área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), correspondiente a los Genotipos SB003 (BCHOs), SB010 (MCHOs), SB084 (MCHOs) y SB146 (ACHOs) con los respectivos *Tratamientos* de enfermedad Control (C) y Enfermo (E) y la interacción Genotipos x *Tratamientos*. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$  \* para Genotipos, *Tratamientos* y Genotipos x *Tratamientos* (GxT)..... 99

**Cuadro 5.3** Medias de la duración de área foliar total DAFT y duración de área foliar verde DAFV, correspondientes a los Genotipos SB003 (BCHOS), SB010 (MCHOS), SB084 (MCHOS) y SB146 (ACHOS), con los respectivos *Tratamientos* de enfermedad Control (C) y Enfermos (E) y la interacción Genotipos x *Tratamientos*. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$  \* para Genotipos, *Tratamientos* y Genotipos x *Tratamientos* (GxT) para los años 2016 y 2017..... 100

**Cuadro 5.4** Parámetros de la función bilineal ajustada y el error estándar correspondiente a la relación funcional entre la duración de área foliar verde DAFV y área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) para los genotipos SB003 (BCHOs), SB010 (MCHOs), SB084 (MCHOs) y SB146 (ACHOs). ..... 101

**Cuadro 5.5** Medias de los rendimientos Rn ( $\text{g/m}^2$ ), Número de granos NG ( $\text{m}^2$ ), Peso de los granos PG (mg) correspondiente a los *Genotipos* SB003 (BCHOs), SB010 (MCHOs), SB084 (MCHOs) y SB146 (ACHOs) con los respectivos *Tratamientos* de enfermedad Control (C) y Enfermos (E) y la interacción *Genotipos x Tratamientos*. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$  \* para *Genotipos*, *Tratamientos* y *Genotipos x Tratamientos* (GxT). ..... 102

**Cuadro 5.6** Parámetros de la función lineal y el error estándar correspondiente a la relación funcional entre rendimiento y área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) para los genotipos SB003 (BCHOs), SB010 (MCHOs), SB084 (MCHOs) y SB146 (ACHOs). ..... 104

**Cuadro 5.7** Parámetros y error estándar correspondiente a la relación funcional entre peso del grano y la duración de área foliar verde DAFV, para los genotipos SB003 (BCHOs), SB010 (MCHOs), SB084 (MCHOs) y SB146 (ACHOs). ..... 104

**Cuadro 5.8** Medias de los carbohidratos acumulados en tallo máximos CHOs ( $\text{g/m}^2$ ) Max y mínimos CHOs ( $\text{g/m}^2$ ) min para los años 2016 y 2017, las medias del nitrógeno disponible en el momento máximo N ( $\text{g/m}^2$ ) Max y mínimo N ( $\text{g/m}^2$ ) Min para el año 2017, correspondientes a los *Genotipos* SB003 (BCHOs), SB010 (MCHOs), SB084 (MCHOs) y SB146 (ACHOs), los *Tratamientos* de enfermedad Control (C) y Enfermos (E) y la interacción *Genotipos x Tratamientos*. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$  \* para *Genotipos*, *Tratamientos* y *Genotipos x Tratamientos* (GxT). ..... 106

**Cuadro 5.9** Medias de los parámetros de calidad comercial peso hectolítrico PH (hL), porcentaje de extracción de la harina EXT (%), contenido de proteína en grano CPG (%), contenido de proteína en harina CPH (%), gluten húmedo GH (%) y gluten seco GS (%), correspondientes a los *Genotipos* SB003 (BCHOs), SB010 (MCHOs), SB084 (MCHOs) y SB146 (ACHOs), los *Tratamientos* de enfermedad Control (C) y Enfermos (E) y la interacción *Genotipos x Tratamientos*. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$  \* para *Genotipos*, *Tratamientos* y *Genotipos x Tratamientos* (GxT) para los años 2016 y 2017. ..... 108

**Cuadro 5.10** Medias de los parámetros alveográficos tenacidad P (mm), extensibilidad L (mm), la relación entre los dos parámetros P/L y fuerza de la masa W ( $\text{Jx}10^{-4}$ ); y el índice de caída “Falling number” FN (s) correspondientes a los *Genotipos* SB003 (BCHOs), SB010 (MCHOs), SB084 (MCHOs) y SB146 (ACHOs), los *Tratamientos* de enfermedad Control (C) y Enfermos (E) y la interacción *Genotipos x Tratamientos*. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$  \* para *Genotipos*, *Tratamientos* y *Genotipos x Tratamientos* (GxT) para los años 2016 y 2017. .... 111

## ABREVIATURAS

<b>ABCPE</b>	Área bajo la curva del progreso de la enfermedad
<b>ABCPE bio en tallo</b>	Área bajo la curva del progreso de la enfermedad biotrófica en el tallo
<b>ABCPE bio foliar</b>	Área bajo la curva del progreso de la enfermedad biotrófica a nivel foliar
<b>ABCPE biotrófica</b>	Área bajo la curva del progreso de la enfermedad biotrófica
<b>ABCPE foliar total</b>	Suma del ABCPE bio foliar y hemi foliar
<b>ABCPE hemi foliar</b>	Área bajo la curva del progreso de la enfermedad hemibiotrófica a nivel foliar
<b>ABCPE necrotrófica</b>	Área bajo la curva del progreso de la enfermedad necrotrófica
<b>ABCPE total + bio tallo</b>	Suma del ABCPE foliar total y ABCPE bio en tallo
<b>ACHOs</b>	Alta acumulación de Carbohidratos solubles en tallo
<b>ANOVA</b>	Análisis de varianza
<b>B</b>	Babax
<b>BCHOs</b>	Baja acumulación de Carbohidratos solubles en tallo
<b>(C)</b>	Tratamiento Control
<b>CHOs</b>	Carbohidratos solubles acumulados en tallo
<b>CHOS (g/m<sup>2</sup>) Max</b>	Punto de acumulación máxima de carbohidratos solubles acumulados en tallo
<b>CHOS (g/m<sup>2</sup>) Min</b>	Punto de acumulación mínima de carbohidratos solubles acumulados en tallo
<b>DAFT</b>	Duración del área foliar total (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> . día)
<b>DAFV</b>	Duración del área foliar verde (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> . día)
<b>DDA</b>	Días después de antesis
<b>(E)</b>	Tratamiento Enfermo
<b>Exp</b>	Experimentos
<b>EXT (%)</b>	Porcentaje de extracción
<b>FAUBA</b>	Campo experimental de la Universidad de Buenos Aires

<b>F:D</b>	Relación Fuente: Destino
<b>FN (s)</b>	Índice de caída falling number en segundos
<b>GH (%)</b>	Porcentaje de gluten húmedo
<b>GS (%)</b>	Porcentaje de gluten seco
<b>HB</b>	Hoja Bandera
<b>HB-1</b>	Hoja Bandera -1 (inmediatamente inferior a la HB)
<b>HB-2</b>	Hoja Bandera -2 (inmediatamente inferior a la HB-1)
<b>HB-3</b>	Hoja Bandera -3 (inmediatamente inferior a la HB-2)
<b>hL</b>	Hectolitro
<b>Kg N</b>	Kilogramos de nitrógeno
<b>L (mm)</b>	Extensibilidad de las masas (milímetros)
<b>L/ha</b>	Litros por hectárea
<b>MCHOs</b>	Media acumulación de Carbohidratos solubles en tallo
<b>MJ</b>	Mega Joule
<b>N</b>	Nitrógeno
<b>N (g/m<sup>2</sup>) máx.</b>	Contenido de nitrógeno (g/m <sup>2</sup> ) en el momento máximo de acumulación de CHOs
<b>N (g/m<sup>2</sup>) min</b>	Contenido de nitrógeno (g/m <sup>2</sup> ) en el momento mínimo de acumulación de CHOs
<b>NG (m<sup>2</sup>)</b>	Número de granos por metro cuadrado
<b>P (mm)</b>	Tenacidad de las masas (milímetros)
<b>P/L</b>	Relación entre la tenacidad y la extensibilidad
<b>PG (%)</b>	Porcentaje de proteína en grano
<b>PG (mg)</b>	Peso de los granos miligramos
<b>PH</b>	Peso hectolítrico
<b>PH (%)</b>	Porcentaje de proteína en harina
<b>P. triticina</b>	<i>Puccinia triticina</i>
<b>Py. tritici</b>	<i>Pyrenophora tritici-repentis</i>
<b>R<sup>2</sup></b>	Coefficiente de correlación
<b>RAA (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	Radiación absorbida acumulada (MJ/m <sup>2</sup> )

<b>RAA/NG (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	Radiación absorbida acumulada/número de granos (MJ/m <sup>2</sup> )
<b>RIA (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	Radiación interceptada acumulada (MJ/m <sup>2</sup> )
<b>RILs</b>	Líneas recombinantes puras
<b>RN (g m<sup>2</sup>)</b>	Rendimiento (gramos/metro cuadrado)
<b>S</b>	Seri
<b>SB</b>	Seri x Babax
<b>UNLP</b>	Campo experimental de la Universidad Nacional de la Plata
<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	Volumen de pan (cm <sup>3</sup> )
<b>W (J x 10<sup>-4</sup>)</b>	Fuerza de la masa (Joules x 10 <sup>-4</sup> )

## **Cambios en la calidad comercial e industrial del trigo pan (*Triticum aestivum* L.) asociados a enfermedades biotróficas y necrotróficas**

### **RESUMEN**

El objetivo principal de los mejoradores ha sido aumentar la producción del cultivo de trigo debido al crecimiento poblacional. Actualmente la calidad ha tomado relevancia ya que de esta depende la competencia en el mercado internacional por exigencias de las distintas industrias. Factores bióticos como las enfermedades foliares han interferido en el alcance de estos objetivos. Diversos autores han coincidido en que las enfermedades foliares disminuyen el rendimiento y sus componentes dependiendo del momento de aparición en el ciclo del cultivo, así como de su hábito nutricional afectando diversos procesos ecofisiológicos. Actualmente, son pocos los estudios que han investigado el efecto de las enfermedades en la calidad, los que además han mostrado respuestas contradictorias. No es claro si una mayor disponibilidad de asimilados puede mitigar el impacto negativo de las enfermedades en el rendimiento y/o en la limitación o absorción de nutrientes por parte de patógenos consumidores de carbohidratos y nitrógeno que alteran la composición del grano. Por este motivo el objetivo de esta tesis doctoral fue estudiar los cambios en el rendimiento y su vinculación con la calidad comercial e industrial de trigo debido a la presencia de distintas enfermedades foliares en: (i) líneas con distinta acumulación de carbohidratos solubles en tallo en antesis, (ii) cultivares con diferente potencial de rendimiento y diferente relación fuente destino y (iii) en un cultivar de alto potencial de rendimiento (grupo 2 de calidad). De los resultados obtenidos en experimentos realizados en Buenos Aires y La Plata, se observó que la predominancia de distintas enfermedades foliares (causadas por *Pyrenophora tritici-repentis*, *Puccinia triticina*, *Zymoseptoria tritici* y *Puccinia graminis*) a partir del periodo crítico y/o durante el llenado de los granos causaron disminuciones en los rendimientos y sus componentes numéricos, destacándose reducciones de hasta 66 % causadas por presencia de royas. Las enfermedades foliares redujeron el DAFT y la DAFV que alteraron las reservas de asimilados disponibles por grano (RAA/NG) causando modificaciones en los parámetros de calidad comercial. En términos generales las enfermedades disminuyeron el contenido de proteína en grano y sus parámetros asociados (e.g. gluten). No obstante, se observó en un año en particular aumentos en el contenido proteico de los granos asociados a la presencia de diversos patógenos durante el llenado de los granos con predominancia de *P. triticina*. Si bien algunos parámetros alveográficos como L mostraron respuestas ambivalentes ante la presencia de enfermedades, los parámetros P, P/L y W disminuyeron en la mayoría de los casos confirmando el impacto negativo de las enfermedades sobre los parámetros de calidad comercial e industrial. A pesar de los efectos negativos de las enfermedades sobre los parámetros reológicos claves en la calidad industrial, el volumen del pan no presentó diferencias significativas entre el control y los cultivos enfermos, incluso mostró una tendencia al aumento en sus valores. Esto sugiere que las enfermedades no solo afectan los parámetros reológicos determinantes de la calidad, sino que podrían modificar diferencialmente el tipo de proteína que se deposita, lo que explicaría la falta de asociación, o asociaciones débiles entre parámetros como el W y el volumen de pan.

**Changes in the commercial and industrial quality of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) associated with biotrophic and necrotrophic diseases**

**ABSTRACT**

The main objective of the breeders has been to increase the production of the wheat crop due to fulfil the growth of the population. Nowadays, not only yield but also quality has become relevant to have more chances to compete in the international market associated with the demands of different industries. Biotic factors such as foliar diseases interfere in the achievement of these objectives. Several authors reported that foliar diseases reduce yield and its components depending on the time of appearance in the crop cycle, as well as its nutritional habit affecting ecophysiological processes. However, few studies have investigated the effect of diseases on quality, which also showed contradictory responses. It is not clear if a greater availability of assimilates can mitigate the negative impact of diseases on yield and/or limitation or absorption of nutrients by carbohydrate and nitrogen consuming pathogens that alter the composition of the grain. For these reasons, the objective of this doctoral thesis was to study the changes in yield and its relation with the commercial and industrial quality of wheat due to the presence of different foliar diseases in: (i) lines with different accumulation of carbohydrates soluble in the stem, (ii) cultivars with different yield potential and different source: sink relationship and (iii) in a cultivar with a high yield potential (quality group 2). From the results obtained in experiments carried out in Buenos Aires and La Plata, it was observed that the predominance of different foliar diseases (caused by *Pyrenophora tritici-repentis*, *Puccinia triticina*, *Zymoseptoria tritici* and *Puccinia graminis*) from the critical period and/or during the grain filling produced yield reductions up to 66% when the predominant disease was stem rust. The foliar diseases reduced the DAFT and the DAFV altering the reserves of available assimilates by grain (RAA/NG) and affecting negatively the parameters of commercial quality. In general terms, diseases decreased protein content in grain and its associated parameters (e.g. gluten). However, an increase in grain protein was observed in a particular year due the presence of various pathogens during the filling of the grains with the predominance of *P. triticina* associated with necrotrophic and hemibiotrophic pathogens. Although some alveographic parameters such as L showed ambivalent responses to the presence of diseases, the parameters P, P / L and W decreased in most of the cases, confirming the negative impact of the diseases on the parameters of commercial and industrial quality. In spite of the negative effects of the diseases on the rheological parameters classes in the industrial quality, the volume of bread did not present significant differences between the control and diseases crops. Moreover, bread volume tended to increase in the diseased crops. These results suggest that diseases not only affect the rheological parameters that determine quality, but also could differentially modify the type of protein that is deposited in the grains, which would explain the lack of association between parameters such as W and bread volume.

## **CAPÍTULO 1**

### **Introducción general**

## 1.1 Introducción

### 1.1.1 La importancia del trigo a nivel mundial y en Argentina

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es uno de los cereales más importantes a nivel mundial. El promedio de los últimos dos años (2017 y 2018), registró una producción de 750 millones de toneladas en un área sembrada de 220 millones de hectáreas (FAOSTAT 2018), siendo el 67 % de su producción destinada al consumo humano, debido a que el cultivo constituye una de las principales fuentes de carbohidratos y proteínas de la dieta humana aportando nutricionalmente un 20 % de las proteínas y un 19 % de los carbohidratos consumidos (Shiferaw *et al.*, 2013). Es un cultivo establecido en todos los continentes cumpliendo un rol importante a nivel cultural ya que es uno de los ingredientes principales en las recetas de todos los países y es indispensable como materia prima de muchas industrias, destacándose entre los principales productores la Unión Europea, China, India, Rusia y Estados Unidos (Beta y Isaac, 2016). Debido a esta importancia y al incremento poblacional, uno de los desafíos más relevantes para investigadores y mejoradores es lograr aumentos en la producción cercanos al 60 % para el año 2050 con el objetivo de dar respuesta a la demanda proyectada (FAO, 2017).

Dentro del grupo de cereales de invierno cultivados en Argentina, el trigo es el más importante no solamente en la economía local, sino también en el escenario internacional. En la última campaña 2017/18 el trigo ha alcanzado una producción de 18.5 millones de toneladas con una superficie sembrada de 5.8 millones de hectáreas y rendimientos promedios de 3.184 Kg/ha ([www.trigoargentino.com.ar](http://www.trigoargentino.com.ar)). De las 18.5 millones de toneladas (t) producidas, aproximadamente 3.6 millones t se destinaron a consumo interno, y principalmente dirigidas a la fabricación de productos panificados, seguido de harina para múltiples usos, galletitas, pastas frescas y pastas secas (FAIM., 2018); 12.9 millones t fueron exportadas, siendo Brasil uno de los principales importadores del trigo argentino, con un 39 % de la cantidad total destinada a exportación. Si bien el rendimiento es uno de los objetivos principales en el mejoramiento, la calidad ha tomado un rol importante ya que de ésta depende la competencia en el mercado internacional que se adapta a las exigencias de las distintas industrias. Por ello, en Argentina, se han tomado medidas de clasificación de los cultivares de acuerdo a su performance en cuanto a la calidad, siendo obligatorio al momento de la inscripción del inédito presentar en el legajo ante la Comisión Asesora de Cereales de Invierno del INASE los análisis reológicos correspondientes (avalados por un laboratorio oficial certificado de Argentina) de modo de poder clasificar al material (en base a dichos resultados) en un grupo de calidad (los criterios para la clasificación de los grupos de calidad se detallan en el punto siguiente 1.1.2), de esta manera se facilita la oferta a los mercados nacionales e internacionales.

### 1.1.2 Calidad comercial e industrial del cultivo de trigo en Argentina

La calidad del trigo en el mercado local e internacional está fuertemente asociada a su uso como producto panificable, generalmente los trigos de endospermo duro (*Triticum aestivum* L.) son calificados como los mejores para la panificación (Finnie *et al.*, 2016). Para lograr un proceso que maximice la posibilidad de alcanzar estándares de calidad del grano de trigo, en Argentina se propuso y aceptó la norma XX de calidad para la comercialización de trigo pan (Cuadro 1. Anexo) la cual describe la utilización de tipos duros y semiduros de trigo. Esta norma está clasificada en grados del uno al tres, que varían en sus exigencias, siendo el grado uno el más exigente y el grado tres el de menor exigencia; dentro de los parámetros establecidos en esta norma para la recepción de los

granos se encuentran el peso hectolítrico, rasgos y/o características físicas del grano por factores externos abióticos y bióticos, así como presencia de otras especies que perjudican la calidad. A su vez, la norma otorga bonificaciones y rebajas de acuerdo a la clasificación y el contenido de proteína en grano, incluyendo un análisis de aptitud panadera determinada por análisis de gluten mediante el equipo glutomatic.

Salomón y Miranda (2013) propusieron sobre la base de distintos parámetros de calidad comercial e industrial una clasificación por calidad de los trigos en Argentina en tres grupos: Grupo 1 clasificados como trigos correctores de alta calidad, aptos para panificación industrial, estas variedades tienen un alto potencial para la panificación debido a valores excepcionales para los parámetros reológicos incluyendo porcentajes de proteína alrededor del 13%, por lo que pueden utilizarse como trigos correctores de producciones de baja calidad de esta manera la producción es estabilizada para lograr una buena panificación. Los cultivares del grupo 2 no califican como correctores, aunque son de buena calidad y aptos para panificación tradicional, con más de 8 horas de fermentación y Grupo 3 que son aquellos cultivares que solo soportan panificaciones directas, con menos de 8 horas de fermentación, es decir que se utilizan para la producción de galletas, pasteles y otros destinos industriales donde los requerimientos sean de bajo contenido proteico.

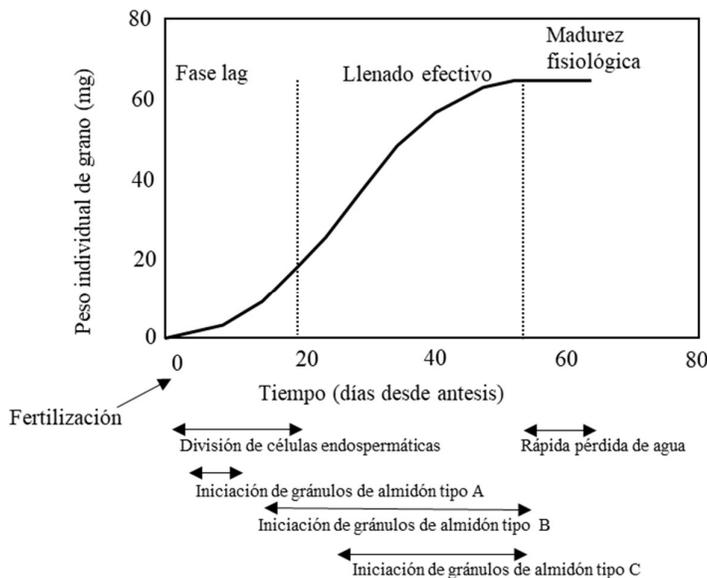
La clasificación inicial de un cultivar se realiza con los datos que presenta el obtentor en su legajo de inscripción en base a ensayos en al menos 2 años y debe incluir tres testigos (sugiriendo que correspondan a los tres grupos de calidad mencionados) que son variedades de calidad comercial e industrial ya conocidas, cultivados en condiciones ambientales idénticas. Esta categorización es siempre provisoria, ya que, a medida que se incrementan los análisis de calidad sobre cada cultivar, en base al material derivado de los ensayos de la RET (Red de Ensayos Territoriales) o de otras fuentes, se pueden producir traslados de un grupo a otro (RET, 2010). Las variables más importantes para realizar estos agrupamientos (cuyas variedades presentan similar capacidad de uso final) son: W alveográfico (Fuerza de la masa), contenido de proteína, de gluten y de cenizas, rendimiento harinero, peso hectolítrico y estabilidad farinográfica. A los efectos de contar con una herramienta de análisis más objetiva, las siete variables mencionadas arriba se ponderan en un Índice de Calidad propuesto por Salomón y Miranda (2013). Según estos autores, el objetivo de esta norma es que el proceso de comercialización sea optimizado en base a estos estándares de calidad, ya que al momento de elaborar un producto es imprescindible que los molineros y panaderos conozcan dónde adquirir la materia prima que reúne los requisitos necesarios para elaborar sus productos con una calidad sostenida durante todo el año, apuntando a ser más eficientes en el competitivo mercado de trigo y harinas, por ello es de gran importancia conocer la calidad de los trigos en las distintas regiones trigueras. Actualmente, el INASE ha consolidado un sistema de recopilación, análisis y divulgación de la calidad del trigo. Asimismo, distintos organismos emiten un informe denominado: Trigo Argentino, Informe institucional sobre su calidad que inició en el año 1999 y continúa en el presente ([www.trigoargentino.com.ar](http://www.trigoargentino.com.ar)). En la actualidad el 80% de los cultivares sembrados a nivel nacional pertenecen a los grupos 1 y 2 de calidad (Molfese, 2016) ocupando un porcentaje mayor los cultivares pertenecientes al grupo 2, por lo tanto, Argentina tendría todas las condiciones necesarias para competir con las exigencias del mercado internacional logrando una producción con altos niveles de proteína en grano, óptima calidad y cantidad de gluten así como propiedades reológicas de la harina, fundamentalmente de la fuerza del gluten. No obstante, para lograr estos objetivos es indispensable que los productores proporcionen las condiciones nutricionales

ideales y a su vez se cumplan los requerimientos ambientales necesarios para obtener todo el potencial de los cultivares (Cuniberti y Mir, 2016).

### 1.1.3 Generación del rendimiento y la calidad del cultivo de trigo

Una manera de explicar la generación del rendimiento es mediante un modelo simple analizando sus componentes numéricos como son el número de granos y sus subcomponentes y el peso final de los mismos, producto de la tasa y la duración del llenado. Numerosas evidencias han mostrado que de los dos componentes el que mejor explica las variaciones en el rendimiento es el número de granos por unidad de área (Slafer *et al.*, 2003). El periodo crítico para la definición del número de granos, se ha establecido durante el periodo inmediatamente previo a la floración (i.e. 20 días anteriores y 10 días posteriores a la floración) (Fischer, 1985) en coincidencia con el activo del crecimiento de las espigas y los tallos durante el periodo previo a la floración y con el cuaje de los granos en el periodo inmediatamente posterior a la floración (Fischer, 1984; Miralles y Slafer, 2007). Si bien el número de granos es la variable que mejor explica el rendimiento, cambios en el peso de los granos pueden afectar el rendimiento final del cultivo una vez establecido el número de granos, donde para un mismo número de granos es posible obtener distintos rendimientos como consecuencia de cambios en el peso de los granos, aunque existe una relación negativa entre estos dos componentes (Slafer y Andrade, 1989).

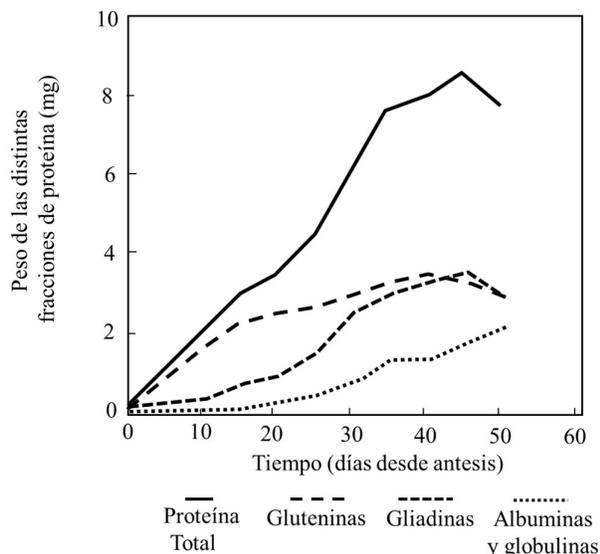
La etapa comprendida entre anthesis y madurez fisiológica es la que define principalmente el peso de los granos, en esta etapa diferentes variables se asocian no solo con el peso final de los granos sino también con la determinación del peso potencial (Calderini *et al.*, 1999). Atributos como el largo del grano (Lizana *et al.*, 2010) que está relacionado a su vez con el volumen que pueden alcanzar los mismos (Dunstone y Evans, 1974; Millet y Pinthus, 1984), el número de células del endospermo (e.g. Gleadow *et al.*, 1982) y su contenido hídrico máximo (e.g. Schnyder y Baum, 1992) definen el peso potencial y el tamaño final del grano. Por otro lado, el peso final del grano está determinado por la tasa de acumulación de materia seca y la duración del periodo de llenado (Figura 1.1); sin embargo, en los últimos años se ha propuesto ampliar el periodo de definición del peso de los granos desde el momento inmediatamente previo a la floración (i.e. desde vaina engrosada) ya que en dicho periodo se define el tamaño potencial de los granos asociado al tamaño de los carpelos de las flores (Calderini *et al.*, 1999b; Hasan *et al.*, 2011).



**Figura 1.1** Crecimiento de un grano de trigo. Las barras horizontales representan los momentos de acumulación, las flechas indican los momentos de deposición del almidón. Stone y Savin 1999. Figura tomada del libro: Producción de granos Satorre *et al.*, 2003 (adaptada digitalmente de la original para esta tesis).

Luego de la antesis, y una vez ocurrida la polinización, se da inicio a la fase de llenado de los granos. La curva de crecimiento del grano de trigo tiene una forma dinámica de tipo sigmoidea durante la cual se van acumulando los distintos componentes que conforman el endospermo (Figura 1.1). Durante la primera etapa del llenado, éste se desarrolla a una tasa muy lenta denominada “fase lag” durante la cual ocurre la división de células endospermáticas, esta etapa es muy importante debido a que el número de células endospermáticas está relacionado con el tamaño potencial de los granos (Slafer *et al.*, 2003). La segunda etapa es la fase de llenado que finaliza con la madurez fisiológica de los granos, es decir se completa en su totalidad la acumulación de materia seca (i.e. cuando los granos poseen alrededor del 37 % de agua). La tercera y última fase comienza con la madurez fisiológica, y se extiende por un tiempo variable en función del porcentaje de humedad con el que se pretende cosechar, ya que durante dicha etapa el grano pierde humedad (Stone y Savin., 1999). Finalmente, la totalidad del almidón depositado en el grano alcanza ~80-90 % y está conformado por glucosa (Pylar y Gordon, 2008), esta glucosa junto a las proteínas de reserva cumple un papel fundamental en el proceso de la germinación mediante la activación de las amilasas ( $\alpha$ -amilasas y  $\beta$ - amilasas) (Goswami *et al.*, 1977; Jain y Goswami, 1981). Este proceso es similar al que ocurre en la panificación, ya que cuando las amilasas entran en contacto con el agua durante el amasado se genera esta misma reacción, en la cual los azúcares alimentan a la levadura adicionada, esta acción da paso a la fermentación alcohólica que es la responsable de la producción de dióxido de carbono o gas carbónico dentro de las masas (Bock *et al.*, 2015). Posteriormente durante la cocción el proceso de gelatinización por parte de los almidones y las proteínas de reserva conforman la estructura del pan, generando canales (alveolos) que permiten la circulación del flujo del aire caliente por toda la matriz y los procesos se aceleran permitiendo una expansión tanto de la corteza como de la matriz que conforma la miga del pan, esta expansión se detiene con el cese de actividad de las  $\alpha$ -amilasas ya

que resisten hasta 80°C, al finalizar la cocción las  $\alpha$ -amilasas completan su participación proporcionando el color rojo/marrón en la corteza característico de los panes (Bushuk 1966; Finnie y Atwell, 2016).



**Figura 1.2.** Acumulación de las distintas fracciones de proteínas durante el crecimiento del grano de trigo. Tomado de Stone y Nicolás 1996. Figura tomada del libro: Producción de granos, Satorre *et al.*, 2003 (adaptada digitalmente de la original para esta tesis).

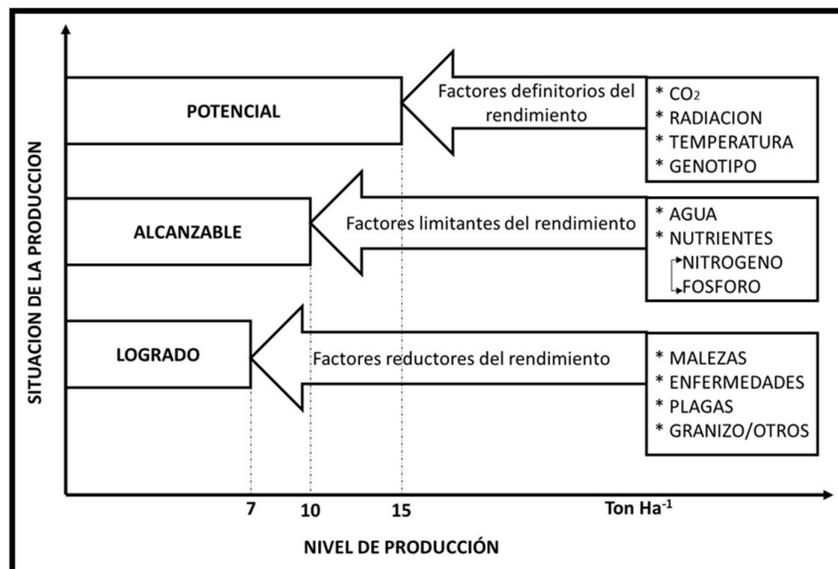
En cuanto a la acumulación de proteínas en el llenado de los granos (Figura 1.2), las proteínas metabólicas o estructurales llamadas albuminas y globulinas son las primeras en depositarse y comprenden alrededor del 90 % del total de las proteínas en los primeros 10 días después de la antesis y continúan depositándose durante casi todo el periodo de llenado de los granos, estas proteínas son hidrosolubles y no participan en la formación del gluten (Dupont *et al.*, 2005). Al alcanzar la madurez fisiológica, las proteínas metabólicas solo representan el 20 a 30% del total de las proteínas y esto se debe a que ocurre un aumento en la síntesis de proteínas de reserva, i.e. gliadinas (monoméricas) y gluteninas (poliméricas), las que a madurez fisiológica representan un 70 a 80 % del total de las proteínas, la disolución de éstas es más compleja requiriendo reactivos como etanol y ácido acético y son proteínas importantes para la panificación ya que la unión de éstas conforma el gluten (Shewry, 2002). Según la clasificación de Osborne, modificada por Goesaert *et al.*, (2005), las proteínas que no conforman el gluten (albúminas y globulinas) se encuentran principalmente en las capas externas del grano de trigo y en muy bajas concentraciones en el endosperma (i.e. entre el 15 y 20 %). Las gliadinas y gluteninas se encuentran distribuidas en todo el endosperma ocupando un porcentaje entre ~80 a 85 %, generalmente se encuentran en una proporción 50/50 y se clasifican en distintos tipos (Shewry *et al.*, 1986; Veraverbeke y Delcour, 2002). El orden de deposición de estas proteínas durante el llenado de los granos inicia con las gliadinas que aparecen en una pequeña porción alrededor de los 5 a 10 días después de antesis mientras que las gluteninas son detectables alrededor de 20 días después de la floración (Stone y Nicolás, 1996), de este modo es fácil comprender que, si existe alguna disrupción durante el llenado de los granos ocasionada por algún factor ambiental, existirá una relación gliadinas/gluteninas diferente en ese grano así como alguna variación de las  $\alpha$ -amilasas, alterando su desempeño durante la panificación.

#### 1.1.4 Principales enfermedades foliares del cultivo de trigo

En términos generales, el rendimiento potencial de un cultivo sin restricciones bióticas ni abióticas está determinado fundamentalmente por la radiación y la temperatura in situ, de tal manera que la combinación de elevados valores de radiación solar y temperaturas frescas durante el periodo crítico alrededor de floración favorecen el rendimiento y la demanda de N debido a una mayor acumulación de biomasa en dicho periodo (Aguirrezabal y Andrade, 2008). Sin embargo, es frecuente que en los sistemas productivos los cultivos estén expuestos a restricciones bióticas y abióticas de modo que el rendimiento potencial rara vez se logra y se obtiene lo que se denomina “rendimiento logrado” (Figura 1.3). En este esquema, las restricciones bióticas más frecuentes son las enfermedades foliares ya que reducen los rendimientos y eventualmente la calidad de los cereales de invierno.

En Argentina, las principales enfermedades foliares que afectan el cultivo de trigo en las regiones productoras debido a la frecuencia de aparición, niveles de incidencia y severidad son: la roya de la hoja (*Puccinia triticina* Eriks.), la mancha amarilla [*Pyrenophora tritici - repentis* (Died.) Drech. f. sexual. (anamorfo: *Drechlera tritici - repentis*) (Died.) Shoem. f. Asexual] y Septoriosis de la hoja [*Zymoseptoria tritici*, (Desm.) Quaedvlieg & Crous; f. sexual *Mycosphaerella graminicola* (Fulkel) Schröter in Cohn ] (Carretero *et al.*, 2008; Kugler *et al.*, 2015), actualmente, en las últimas campañas la roya amarilla (*Puccinia striiformis*) ha tomado relevancia dentro del grupo de enfermedades que se destacan en la Argentina ya que en varios casos ha superado los efectos de la roya de la hoja *Puccinia triticina* (Carmona y Sautua, 2018); estas enfermedades tienen una importancia relativa en los efectos sobre rendimientos en una clasificación de moderado a importante (Cordo, 2014a) ya que intervienen en los procesos ecofisiológicos de la definición del rendimiento (Serrago *et al.*, 2011).

Dentro del grupo de enfermedades deben mencionarse aquellas que atacan no solo los órganos foliares, sino también órganos importantes de reserva como los tallos, una de estas enfermedades es la roya del tallo o roya negra (*Puccinia graminis f. sp. tritici* Ericks and Henn), que es históricamente la enfermedad más destructiva del cultivo de trigo causando pérdidas totales de los cultivos. Una de las razas más peligrosas es la Ug99 identificada en el año 1999 en África, ya que dicha raza es de tipo virulento sobre todos los genotipos cultivados, aunque hasta el momento no ha sido registrada en Argentina (Visser *et al.*, 2019). Estas enfermedades representan un gran impacto económico ya que disminuyen hasta 50-70 % los rendimientos (Huerta – Espino *et al.*, 2011; Jørgensen *et al.*, 2014; Djurle *et al.*, 2018; Gilligan *et al.*, 2018) dependiendo de la susceptibilidad del cultivar (Castellarín *et al.*, 2004; Bacigaluppo *et al.*, 2004; Ellis *et al.*, 2014) y del ambiente (Djurle *et al.*, 1996). Esto se debe a que para un mismo genotipo las condiciones ambientales a lo largo del ciclo del cultivo pueden favorecer en mayor o menor medida el desarrollo de epidemias por efecto de las precipitaciones, el viento, la temperatura, la humedad relativa y la radiación afectando negativamente los componentes del rendimiento y/o la calidad del grano (Gooding, 2006; March *et al.*, 2010).



**Figura 1.3.** Relación entre rendimiento potencial, alcanzable y logrado y sus limitantes y factores de reducción del crecimiento (Adaptado de Rabbinge, 1993).

### 1.1.5 Epidemiología de las enfermedades y sus efectos en la generación del rendimiento de acuerdo al hábito nutricional.

Los hongos fitopatógenos pueden ser clasificados en función de su hábito nutricional: (i) los patógenos fúngicos biotróficos requieren para su sobrevivencia que el tejido del hospedante se mantenga vivo, absorbiendo los nutrientes directamente de las células; contrariamente (ii) los patógenos necrotrofos deben causar la muerte de los tejidos para obtener los nutrientes y (iii) los patógenos hemibiotróficos se caracterizan por tener comportamientos biotróficos y necrotrofos dependiendo de las condiciones que se encuentren o etapas de sus ciclos de vida; en etapas iniciales no manifiestan síntomas comportándose como un organismo biotrófico, sin embargo, a medida que avanza la infección se establecen como organismos necrotrofos siendo esta fase la predominante durante todo el ciclo (Agrios, 1997).

Patógenos fúngicos como los causantes de las royas (e.g. roya de la hoja, roya amarilla y la roya del tallo) son patógenos con hábito nutricional biotrófico que actúan como parásitos obligados es decir que para instalarse, crecer y reproducirse en el hospedante es necesario que los tejidos tengan células vivas. Al atravesar la pared celular e invaginar la membrana plasmática por inserción del haustorio, este patógeno obtiene nutrientes y suprime las defensas de los hospedantes convirtiéndose en un destino dentro la fisiología de la planta, esto representa una desventaja para el hospedante que refleja pérdidas importantes de los rendimientos (Setten *et al.*, 2015).

Los hospedantes primarios de *P. triticina* incluyen al trigo candeal y triticale igual que para *P. graminis*, con la excepción que, para este patógeno distintos cultivares de cebada se unen a este grupo de hospedantes primarios, generalmente *P. graminis* afecta varios cereales y otras gramíneas, mientras que *P. graminis* f. sp. *tritici* es la que afecta los cultivos de trigo y de cebada (Zhao *et al.*, 2016). Para los dos patógenos existen especies alternas para completar su ciclo sexual, aunque estas especies no se encuentran en Argentina, lo cual significa que se reproducen únicamente de manera asexual mediante uredosporas, manteniéndose constantes de una campaña a otra mediante la infección en trigos voluntarios y/o transportándose desde otras regiones (Cordo *et al.*, 2014 b).

La roya de la hoja constituye una de las enfermedades más importantes a nivel mundial ya que se ha difundido ampliamente por distintas regiones del mundo y su presencia es relevante en países como Canadá, sur de Estados Unidos y México donde persiste mediante el estado de uredosporas (Kolmer, 2005; Bolton *et al.*, 2008).

En Argentina *P. triticina* ha estado presente desde los inicios del establecimiento del cultivo de trigo y se manifiesta en todas las zonas trigueras del país, con mayor frecuencia en zonas donde se registran temperaturas altas durante el desarrollo del cultivo; generalmente, esta enfermedad se observa todos los años en la región pampeana Argentina con carácter de endémica en el centro-norte (Moschini *et al.*, 2013). De las tres royas foliares del trigo más conocidas la roya de la hoja es la más difundida, y se ha convertido en un serio problema en el cultivo de trigo causando grandes pérdidas en su rendimiento (Huerta-Espino *et al.*, 2011).

La gran capacidad de dispersión de las esporas de *P. triticina* hace que la difusión de la enfermedad sea muy rápida cuando las condiciones ambientales la favorecen, requiriendo para esto periodos de rocío de menos de tres horas y temperaturas alrededor de los 20°C, si el periodo de rocío es más prolongado provoca un mayor número de infecciones; un solo uredinio es capaz de producir aproximadamente 3000 esporas al día durante un periodo de 20 días (Chester 1946; Stubbs *et al.*, 1986; Cordo *et al.*, 2014 b.) generando 1000 lesiones después de 10 días.

La capacidad aerodinámica de las esporas le otorga la capacidad de ser transportada a grandes distancias permitiendo infectar hospedantes en sus estratos superiores, a su vez tiene una alta especiación, evidenciada por un alto número de razas fisiológicas existentes que interactúan con el genotipo del hospedante. La virulencia de este patógeno es relevante ya que, en la mayoría de las zonas, las royas pueden sobrevivir todo el año en ciclo asexual (Singh y Gupta, 1992; McCallum *et al.*, 2016). En cuanto su sintomatología, la principal característica es la presencia de pequeñas pústulas aisladas con esporas (uredosporas) de color naranja ubicadas sobre las láminas foliares, las pústulas pueden presentar halos cloróticos o necróticos sin que se manifieste el típico color naranja por lo que en estos casos el tipo de lesión se corresponde con algún grado de resistencia por parte del cultivo, con infecciones graves se produce clorosis y necrosis de las hojas infectadas, y se observan también pústulas sobre las vainas de las hojas (Gilchrist *et al.*, 2005).

La roya del tallo también conocida como roya negra del tallo del trigo causada por *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* Ericks and Henn, se encuentra ampliamente distribuida por todo el mundo (Leonard y Szabo, 2005; Singh *et al.*, 2015). Si las condiciones ambientales son favorables, *P. graminis* puede causar epidemias severas, alcanzando pérdidas promedio globales de 6.2 millones de toneladas métricas anuales (Pardey *et al.*, 2013). Para iniciar la infección, *P. graminis* requiere un rango de temperatura entre 18 y 25°C, (Cordo *et al.*, 2014b). Las temperaturas favorables para la infección deben estar acompañadas por un periodo de mojado mínimo de 6 a 8 horas (Roelfs *et al.*, 1992). Cordo *et al.*, (2014b), describe la sintomatología de esta enfermedad como la manifestación de pústulas de color café rojizo, principalmente en los tallos, en el haz y el envés de las hojas y en las espigas, y restos de cutícula en los bordes de las pústulas, los síntomas corresponden a reacciones de cultivares con mayor susceptibilidad, variando entre respuestas intermedias y moderadamente resistentes que disminuyen en su grado de distribución en los órganos de la planta: Cuando esta enfermedad se instala en el cultivo durante el llenado de los granos, el resultado es un devastador daño que ocasiona que en dos a tres semanas los tallos se quiebren, causando daños físicos a los granos que forman

una textura arrugada en su pericarpio (Singh *et al.*, 2008). Las pérdidas globales durante la última epifitia de roya del tallo de 1950, fueron de 16.3 % de la producción total en Argentina (Antonelli, 2000). Recientemente durante las campañas del año 2014 y 2015 después de muchos años se observaron altos niveles de infección de roya del tallo con una importante distribución que incluyó toda la región triguera Argentina, aunque con distintos niveles de intensidad, debido a las condiciones climáticas que fueron favorables para que la enfermedad prosperara. Como se describió anteriormente, la raza Ug99 no ha sido reportada en Argentina, sin embargo, las razas locales de *P. graminis* son suficientemente virulentas sobre cultivares que no disponen de genes efectivos a las mismas. Ensayos realizados por la RET observaron pérdidas del 80 % en cultivares susceptibles a *P. graminis* en relevamientos realizados en lotes afectados con esta enfermedad, siendo catalogados un 45 % de cultivares sembrados en Argentina como susceptibles a la roya del tallo por la RET en el año 2014 (Campos, 2014).

La roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) si bien no ha sido una enfermedad relevante en Argentina en el pasado, en las últimas campañas (desde el año 2015) se ha vuelto una enfermedad frecuente en los cultivos de trigo afectando a la mayoría de las regiones productivas. Una de las principales preocupaciones ha sido su aparición en etapas tempranas de crecimiento del cultivo en cultivares susceptibles utilizados actualmente por los productores en Argentina, esto se debe a los requerimientos de la enfermedad para instalarse en el cultivo y efectuar la infección, ya que la temperatura óptima para la germinación se ubica entre 18 y 12 °C (de Vallavieille-Pope *et al.*, 1995) y para inicios de la infección la temperatura requerida es de 8° C, con un rango de 7 a 15 °C (Dennis, 1987; de Vallavieille-Pope *et al.*, 1995, Kolmer *et al.*, 2009), ocasionando pérdidas de hasta 4.7 t/ha (71 %) en casos severos de infestación. Estas pérdidas pueden llegar a ser de la misma magnitud o mayores a las de roya anaranjada de la hoja o del tallo (Campos *et al.*, 2014; Carmona y Sautua, 2018)

En el grupo de las manchas foliares la septoriosis causada por el patógeno *Zymoseptoria tritici*, investigado desde los años 1990s tiene un particular ciclo de infección denominado bifásico, comportándose como un patógeno hemibiótrofo, esto es porque tiene una fase asintomática muy similar a los organismos endófitos comportándose en el inicio de su ciclo como un patógeno de hábito nutricional biotrófico, absorbiendo nutrientes inmediatamente después de la penetración de los haustorios en las capas celulares (Keon *et al.*, 2007; Rudd *et al.*, 2015) sin embargo, recientemente se ha puesto en duda si este organismo durante las primeras fases asintomáticas puede catalogarse como un organismo biotrófico, sugiriendo una categorización de “necrótrofo latente (Orton *et al.*, 2011; Sánchez-Vallet *et al.*, 2015) ya que una vez finalizado este proceso de instalación inicia una fase de necrosis en la que se comporta como un organismo necrotrófico, (Gohari *et al.*, 2015; Rudd *et al.*, 2015), este hábito nutricional necrotrófico es característico de la mancha amarilla.

La septoriosis de la hoja es una enfermedad común en regiones templadas, distribuyéndose en Sudamérica en el Sur de Chile, Uruguay y Argentina. En Argentina, se extiende particularmente en las provincias de Córdoba y Buenos Aires, causando disminuciones entre un 17 y 50 %, dependiendo del estado fenológico y el grado de ataque en el que ocurre la infección (Cordo *et al.*, 2014 c). Generalmente la septoriosis tiende a mantenerse latente para continuar su permanencia en el cultivo en forma de pseudotecios con ascosporas o conidios liberados de los picnidios presentes en los restos culturales. Su principal medio de diseminación es el agua que utiliza como medio de transporte, cuando se presentan las lluvias, las salpicaduras humedecen y transportan las esporas a una corta

distancia, estas esporas son de mayor tamaño que las esporas producidas por patógenos como las royas, es por esto que la distribución en el canopeo de manchas foliares generalmente se da desde la base de la planta y asciende hacia las hojas superiores dentro del canopeo, contrariamente ocurre con la roya de la hoja (Carretero *et al.*, 2009). Las temperaturas óptimas para que esta enfermedad logre la infección son entre 15 a 20°C en combinación con 72 a 96 horas de mojado, esto implica que en temporadas donde las lluvias son recurrentes, alcanza más rápidamente la infección y distribución (Carmona *et al.*, 1999). En los inicios de la infección, la enfermedad se manifiesta como pequeñas manchas cloróticas que se distribuyen a lo largo de la hoja y posteriormente se convierte en una necrosis donde aparecen los picnidios (reproducción asexual) o fructificaciones (reproducción sexual) (Wittenberg *et al.*, 2009).

Otra de las manchas foliares importantes es la mancha amarilla causada por el patógeno necrotrófico *Py. tritici-repentis* (abreviada a lo largo de la tesis como *Py. tritici*), esta enfermedad, se encuentra distribuida en todos los continentes, siendo una de las más importantes en Europa, América del Norte, Australia y Asia (Duveiller *et al.*, 2007), habiéndose reportado pérdidas en los rendimientos que abarcan hasta el 50 % (Shabber y Bokus, 1988; Fernández *et al.*, 2002; Wegulo *et al.*, 2012). En América del Sur se ha reportado en Brasil causando pérdidas casi del 40 % (Metha y Gaudencio, 1991) y en Paraguay y Argentina se han reportado pérdidas entre 20 y 70 % (Kholi *et al.*, 1992; Cordo *et al.*, 2014b). Uno de los principales problemas para el control de estas enfermedades es la siembra directa, la cual contribuye a la sobrevivencia entre cada campaña, particularmente *Py. tritici* mantiene sus estructuras reproductivas (como micelios en los tejidos, dando origen a los pseudotecios) en los lotes con restos culturales en donde sobrevive comportándose como un organismo saprófito. Una vez el hospedante se hace presente en el lote y las condiciones climáticas son predisponentes (mojado entre 6 y 24 horas y temperaturas entre 15 y 27°C), el patógeno puede iniciar su ciclo necrotrófico mediante la acción de enzimas fitotóxicas en la epidermis (Strelkov y Lamari, 2003). Estas infecciones ocasionan inicialmente una sintomatología clorótica con manchas de forma ovalada, que se expanden en las hojas, al mismo tiempo que crea en el centro la rotura de la epidermis (punto de inicio de la infección) y una característica mancha marrón, esta mancha marrón siempre va acompañada de un halo clorótico (Oliver *et al.*, 2008). En infecciones severas, estos patógenos llegan a los órganos reproductivos (espigas/granos) y mediante el estímulo de humedad y altas temperaturas secretan micotoxinas similares a las que producen patógenos como *Fusarium graminearum* (Wakuliński *et al.*, 2003; Bouras y Strelkov, 2008; Bouras *et al.*, 2009), que son perjudiciales para la salud humana y animal.

El impacto de estas enfermedades en los rendimientos y sus componentes, se atribuye a los cambios que producen en la fisiología del cultivo; si bien, los patógenos que causan las manchas foliares no interactúan directamente con las células vivas por ser organismos necrotróficos, causan una importante reducción en el área fotosintética de los tejidos mediante la aceleración de la senescencia debido a la necrosis que produce en las hojas (Gooding *et al.*, 2000), por su parte, las enfermedades biotróficas como las royas son capaces de desarrollar rápidamente estructuras para la infección como los haustorios, que penetran en las capas superficiales utilizando el nitrógeno y los carbohidratos de los tejidos (Mendgen y Hahn 2002; Voegelé y Magden 2011) como la fuente principal de alimento desviando los nutrientes indispensables para el crecimiento y desarrollo de la planta.

En párrafos anteriores se detalló el ciclo del cultivo para la generación del rendimiento, sin embargo, es importante destacar que durante en pre-antesis se desarrollan las estructuras fotosintéticas con el fin de obtener una adecuada cantidad de recursos (i.e. producción de biomasa) que es crucial para establecer el número de granos (principal componente del rendimiento) durante el denominado “periodo crítico” (en el cual la espiga y el tallo crecen en forma simultánea) para posteriormente, cuando inicie el cuaje, estos recursos puedan ser, en caso de ser necesarios, translocados a los órganos reproductivos durante el transcurso de llenado de los granos. La producción de biomasa depende principalmente de la radiación interceptada por los órganos fotosintéticos determinados por el coeficiente de extinción lumínica ( $k$ ), el índice de área foliar y su duración (Fletcher *et al.*, 2011), a su vez, la radiación interceptada es transformada en biomasa a través de la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) quedando definido el rendimiento por la capacidad para translocar esta biomasa hacia los granos (i.e. Índice de cosecha) (Monteith, 1977; Gardner *et al.*, 1985; Johnson, 1987). Por lo tanto, una interrupción en la generación de biomasa podría ocasionar detrimentos en el rendimiento, en este sentido, varios investigadores han confirmado que la presencia de enfermedades foliares disminuye los rendimientos como consecuencia de una disminución en la producción de biomasa más que asociado a cambios en la partición (Shtienberg, 1990; Bastiaans, 1993; Robert *et al.*, 2004).

En ensayos donde las enfermedades predominantes fueron ocasionadas por patógenos necrotróficos, la reducción de la producción de biomasa fue ocasionada por disminuciones en el índice de área foliar total, índice de área foliar verde y la duración del área foliar sana, reduciendo la capacidad del canopeo para interceptar la radiación (Serrago *et al.*, 2009). Esta disminución en la duración del área foliar sana, también se observa en ensayos con manchas foliares ocasionadas por el patógeno *Z. tritici* (Castro y Simón 2016; Bancal *et al.*, 2015; Bancal *et al.*, 2008; Parker *et al.*, 2004), que varía en intensidad de acuerdo a la concentración del inóculo y la resistencia de los cultivares.

Recientemente se ha demostrado que la presencia de enfermedades causadas por patógenos biotróficos como necrotróficos, afectan los componentes ecofisiológicos reduciendo la tasa de crecimiento del cultivo ya que intervienen en la intercepción de la radiación, disminuyen la duración del área foliar sana y consecuentemente afectan los componentes ecofisiológicos reduciendo la tasa de crecimiento del cultivo ya que afectan negativamente la intercepción de la radiación, disminuyen la duración del área foliar sana y consecuentemente afectan la acumulación de la radiación. A su vez la eficiencia en el uso de la radiación también puede verse afectada, sin embargo, el efecto negativo en este atributo es mucho mayor en presencia de patógenos biotróficos como las royas (*P. triticina* y *P. striiformis*) y esto se atribuye a su afinidad con el consumo de asimilados, disminuyendo el contenido de nitrógeno foliar y una reducida capacidad de removilización de carbohidratos (Schierenbeck *et al.*, 2016; Devadas *et al.*, 2014; Carretero *et al.*, 2010).

Los carbohidratos solubles en agua (CHOs) son azúcares como fructosa, sacarosa y glucosa, que se acumulan en los tallos como reservas, estos CHOs se acumulan hasta ca 7-10 días luego de la antesis (Serrago y Miralles, 2014), principalmente en los tallos, desde donde estarán disponibles más adelante como un reservorio para su removilización hacia los granos en desarrollo durante el llenado. Estas reservas son una fuente importante de carbono para el llenado de grano, especialmente cuando la fuente fotosintética está afectada por ejemplo por enfermedades foliares donde los CHOs almacenados podrían contribuir hasta en un 50 % en el rendimiento del grano (Waldraw y Willenbrink, 1994).

En el caso particular de la roya de la hoja los daños producidos por la presencia de la enfermedad se asocian no solo con disminución del área fotosintética, sino también aumentos en la tasa de transpiración por ruptura de la epidermis y reducción de la tasa de translocación de asimilados (Mc New, 1960; Robert *et al.*, 2004) por lo que en infecciones tempranas que abarquen el periodo crítico puede producir reducciones en el rendimiento del 40 a 50 % (Annone *et al.*, 2001). Por otro lado, debido a su característica policíclica, la roya puede infectar nuevamente durante el periodo de llenado de los granos reduciendo el área foliar verde y por lo tanto la fuente fotosintética, sugiriendo que la presencia de esta enfermedad, reduciría el área foliar activa durante el llenado de los granos por debajo de su capacidad de respuesta a la demanda de los granos, disminuyendo el peso de los mismos (Martre *et al.*, 2003). En este marco de razonamiento, es posible especular que el potencial impacto negativo de las enfermedades foliares dependerá de: (i) el tamaño de los destinos (granos) generados por el cultivo en relación a la capacidad de la fuente para llenar dichos destinos y (ii) de la acumulación y capacidad del cultivo de translocar los asimilados de reserva acumulados en los tallos durante el llenado de los granos.

En el cultivo de trigo se asume que durante el llenado de granos el cultivo de trigo no está limitado por fuente, considerándose que eventualmente podría estar co-limitado por fuente y por destinos (Borras *et al.*, 2004; Álvarez Prado *et al.*, 2014; González *et al.*, 2014; Serrago y Miralles, 2014). Esta asunción está basada en el hecho que, con excepción del “periodo crítico” en el cual una reducción en la radiación afecta negativamente el número de granos, cambios en la fuente fotosintética durante el llenado de los granos no modifican en forma significativa el número, el cual ya ha sido definido, y/o el peso de los granos (Borrás *et al.*, 2004). El llenado de los granos se realiza principalmente a través de fotosíntesis actual, es decir aquella que proviene principalmente de las hojas verdes del cultivo durante el periodo de llenado y eventualmente, ante una falta de fuente, por compensación de la actividad fotosintética de otros órganos como tallos y espigas (Carretero *et al.*, 2010; 2011). Por otro lado, ante la pérdida de los órganos fotosintéticamente activos durante el llenado de los granos el cultivo puede tener compensaciones de carbono provenientes de otros órganos. Trabajos realizados por Serrago y Miralles (2014) mostraron que cambios en la oferta de radiación durante el llenado de granos no afectó significativamente el peso de los mismos debido a compensaciones en la translocación de carbohidratos solubles en agua de órganos vegetativos hacia los granos.

Sin embargo, debido a que el mejoramiento genético en trigo incrementó el rendimiento a través del número de granos, sin que se afecte la biomasa aérea del cultivo (Lo Valvo *et al.*, 2018), las variedades modernas de trigo podrían presentar un grado de co-limitación por fuente y destino. Las variedades modernas de trigo presentan un grado de co-limitación por fuente y destino (Slafer y Savin, 1994; Borrás *et al.*, 2004) o eventualmente una limitación por fuente mayor respecto de las variedades antiguas con un menor potencial de rendimiento y por lo tanto una mayor demanda de asimilados por parte de los destinos comparados con cultivares antiguas. Esta afirmación está basada en que el mejoramiento genético ha incrementado la partición hacia los órganos reproductivos sin que se vea modificada la biomasa total de los materiales (Miralles y Slafer, 2007; Lo Valvo *et al.*, 2018). Por otro lado, esta co-limitación está evidenciada en la relación negativa que se ha observado entre el peso y número de granos cuando se comparan materiales con amplio rango de partición entre los órganos reproductivos y vegetativos (Waddington *et al.*, 1986; Slafer y Andrade, 1989; Abbate *et al.*, 1995; Sherman *et al.*, 2004). En este contexto, una disminución en la disponibilidad de recursos como resultado de la presencia de enfermedades foliares, podría limitar aún más la fuente

fotosintética generando un mayor efecto negativo en el rendimiento en los materiales modernos respecto de los materiales antiguos con mayor relación fuente: destino. Este efecto negativo en el rendimiento y en particular en el peso de los granos afectaría también la calidad comercial, y posiblemente algunas características importantes en la calidad industrial del trigo. De este modo, el peso hectolítrico y el calibre de los granos podría verse reducido penalizando la calidad comercial de ambos cultivos.

Algunos trabajos han demostrado el efecto de los cambios en la relación fuente: destino en el contenido de proteína en grano. En este sentido tratamientos con sombreado postantesis causaron disminuciones en el peso y la proteína de los granos, mientras que tratamientos con defoliaciones mostraron los mismos efectos de disminución en el peso de los granos pero aumentaron el contenido de proteína, (Zhang *et al.*, 2012). En experimentos realizados por Borghi *et al.*, (1986) demostraron disminuciones del peso de los granos ante defoliaciones (como ocurrió en los experimentos realizados por Zhang *et al.*, 2012) aunque en este caso hubo una reducción en el contenido de proteína.

La acumulación de carbohidratos en los granos está más influenciada por las condiciones ambientales en el periodo de llenado del grano y por la actividad fotosintética en esta etapa (Stone y Savin, 1999). La cantidad total de CHOs puede representar cerca del 40 % o más del total de la masa seca del tallo cuando los niveles de CHO llegan al máximo durante el inicio de llenado de grano (Kiniry, 1993; Reynolds *et al.*, 2009). El almacenamiento de CHOs puede mostrar una compensación de la inversión de recursos en otros destinos tales como el crecimiento de raíces más profundas y supervivencia de macollos o el desarrollo de espigas (Lopes y Reynolds, 2010). Desde el punto de vista del peso de los granos (acumulación de carbono) algunos autores, tal como fue descrito anteriormente, sostienen que el peso de los granos estaría co-limitado por fuente y por destino (Calderini *et al.*, 2006), mientras que el contenido absoluto de proteínas en el grano está mayormente limitado por fuente nitrogenada (Martre *et al.*, 2003). En este marco, la presencia de enfermedades foliares podría afectar la deposición de carbono y/o nitrógeno en los granos y producir reducciones en el peso de los mismos y por lo tanto afectar no sólo la calidad comercial, sino también la calidad industrial del cultivo.

El mejoramiento de genotipos basado en la característica de mayor almacenamiento de carbohidratos en el tallo y a la vez mayor removilización de estos, podría resultar en un mejor llenado de grano y un aumento del rendimiento cuando la fuente resulta dañada y es limitante para el llenado de los granos como por ejemplo ante la presencia de enfermedades foliares. Un ejemplo en este sentido han sido la obtención de líneas endocriadas recombinantes provenientes de una serie de cruces de genotipos emparentados de una población de Seri/Babax que han mostrado acumulación diferencial de CHOs en el tallo en el momento de antesis que luego durante el periodo de llenado de los granos pueden ser particionados a los destinos (Reynolds *et al.*, 2000; Olivares-Villegas *et al.*, 2007; Dreccer *et al.*, 2009). Es de esperar que ante la presencia de enfermedades foliares que se instalen en el cultivo a partir del periodo crítico en líneas recombinantes con mayor contenido de reservas en el tallo en el periodo a antesis, presenten una mayor tolerancia a la presencia de patógenos que reducen el área foliar durante el llenado de granos en relación a aquellas líneas con baja reserva de CHOs. Sin embargo, es posible que la mayor compensación en el peso de los granos en las líneas con mayor contenido de CHOs determine un efecto de dilución reduciendo en consecuencia el contenido de proteína en los granos y por ende la calidad del cultivo.

### 1.1.1 Cambios en la calidad del grano de trigo asociados a enfermedades

El contenido de proteína presente en el grano es un indicador de la cantidad de nitrógeno que es asimilada por el cultivo. Previo a antesis las reservas de nitrógeno (N) y carbohidratos se encuentran en las hojas, tallos y raíces, y cumplen funciones específicas de síntesis de aminoácidos para el crecimiento de la planta y la fotosíntesis (Austin *et al.*, 1977; Hirel y Lea, 2001; Glass, 2003). Estas reservas de N son particionadas a los granos a partir de antesis durante la fase de llenado de los granos, y en algunas ocasiones la removilización de carbohidratos acumulados puede ser relevante (Uhart y Andrade, 1995; Triboi y Triboi-Blondel, 2002). La removilización de N acumulado previo a la antesis explica la mayor parte del N final en los granos (Simpson *et al.*, 1983; Gajú *et al.*, 2014) ya que aproximadamente un 60 a 95 % del N depositado en los granos proviene de la removilización del N acumulado (Palta y Fillery, 1995). Por otro lado, tal como fue detallado anteriormente, los distintos tipos de proteína de reserva se depositan en el grano en distintos momentos a lo largo del llenado, las gliadinas son las primeras proteínas en depositarse y en pequeñas proporciones alrededor de 5 a 10 días después de la floración, representando el 10 % de la cantidad total de las proteínas en madurez fisiológica. Las gluteninas son detectables alrededor de 20 días después de la floración (Stone y Savin, 1999). Así, es posible especular que la presencia de enfermedades foliares que afecten la dinámica de deposición de proteínas en los granos al inicio o al final del periodo de llenado de granos determinará modificaciones en la calidad panadera más allá del valor en proteína que se registre en los granos.

La proporción de daño en el balance de carbono y/o de nitrógeno en los granos debido a la presencia de las enfermedades foliares es variable dependiendo de cuándo y en qué medida se reduzca la fuente de N de las hojas y de la capacidad que tenga el cultivo para suplir el carbono faltante proveniente de la fotosíntesis actual con retranslocación de carbohidratos (Robert *et al.*, 2002). Los diversos estudios que han demostrado los efectos de las enfermedades foliares en la acumulación de proteína en grano, asociados a la dinámica del N y del carbono durante el ciclo del cultivo, son contradictorias y varían de acuerdo al tipo de enfermedad y del genotipo. Cuniberti, (1998), afirma que una prolongación del periodo de llenado o un estrés durante el mismo podía alterar la fase de deposición de gliadinas y gluteninas modificando su relación, ya que frente a condiciones de estrés la primera interrupción entre estos dos componentes ocurre en la síntesis de gluteninas, pero continúa la deposición de gliadinas causando reducciones en la relación gliadinas/gluteninas, dando como resultados masas de menor tiempo de desarrollo debido a glútenes débiles (Blumenthal *et al.*, 1993, 1994).

Ensayos realizados con enfermedades causadas por patógenos biotróficos como *P. triticina*, *P. graminis* y *P. striiformis*, mostraron que la presencia de estas enfermedades redujo el contenido de proteína en grano (Petturson y Newton, 1939; Greaney, 1941; Keed y White, 1970; Park *et al.*, 1988; Simón *et al.*, 2012; Devadas *et al.*, 2014; Fleitas *et al.*, 2018b). Sin embargo, otros trabajos realizados con aplicaciones de fungicidas durante el llenado de los granos (Dimmock y Gooding, 2002b) mostraron aumentos en el contenido de proteína en las parcelas enfermas respecto de las sanas ante la aplicación de fungicida. Similares resultados fueron observados en parcelas infectadas con *P. striiformis* sin ningún tipo de control (Aktaş y Zercirci, 2016). Las contradicciones en cuanto al impacto de las enfermedades sobre los parámetros de calidad también están vinculadas a infecciones causadas por *Py. tritici* ya que algunas evidencias de la literatura muestran que ante la presencia de dicha enfermedad se han producido aumentos en los contenidos de proteína en los granos (Dimmock y Gooding 2002a; Schierenbeck *et al.*, 2014; Fleitas

*et al.*, 2018a; Castro *et al.*, 2018). Contrariamente en ensayos realizados por Rees *et al.*, (1982) *Py. tritici* causó disminuciones en el contenido de proteína. Más aún, en ese mismo trabajo con parcelas infectadas con *Z. tritici* (patógeno hemibiotrófico), el contenido de proteína se incrementó en línea con los trabajos realizados por Clare *et al.*, (1993); Gooding *et al.*, (1994); Ishikawa *et al.*, (2001); Ruske *et al.*, (2001); Blandino y Beynery (2009); Castro *et al.*, (2017). En todos estos casos los rendimientos disminuyeron con la presencia de estas enfermedades, sin embargo, tal como fue descrito anteriormente, la respuesta en el contenido de proteína fue variable en cada caso.

Además del contenido de proteína, las enfermedades foliares pueden afectar otros parámetros reológicos (Gupta *et al.*, 1992). Hasta la fecha pocos trabajos han evaluado la respuesta de los parámetros reológicos de las harinas ante la presencia de enfermedades durante el ciclo del cultivo. Algunos trabajos recientes (Fleitas *et al.*, 2017, Castro *et al.*, 2017 y Castro *et al.*, 2018) evaluaron la respuesta de cultivares de trigo ante infecciones con *Z. tritici*, demostrando que la enfermedad aumenta el contenido de proteína o no produce ningún efecto sobre este parámetro, siendo esta respuesta la misma para el contenido del gluten teniendo en cuenta la relación positiva entre estos dos parámetros. Sin embargo, en dos de los ensayos citados en que se evaluaron las propiedades viscoelásticas determinadas por el alveograma ante infecciones de *Z. tritici*, las respuestas fueron ambivalentes entre los parámetros, aunque en ambos casos se presentaron aumentos en la fuerza de las masas (W) y el volumen del pan (cm<sup>3</sup>) debido a la presencia de la enfermedad. En el ensayo realizado por Castro *et al.* (2018) las plantas infectadas con *Py. tritici* el contenido de proteína aumentó, mientras que el gluten y el volumen del pan disminuyeron. Fleitas *et al.*, (2018a) evaluaron el comportamiento viscoelástico de las masas, tanto en parámetros alveográficos como farinográficos de parcelas infectadas con *Py. tritici* en donde todos los parámetros muestran tendencias a disminuir, comparados con los tratamientos controlados mediante aplicaciones de fungicidas conformados por distintos ingredientes activos. En el caso de los patógenos biotróficos y la respuesta de las propiedades viscoelásticas del trigo Fleitas *et al.* (2018b), en un ensayo con inoculaciones de *P. triticina* demostraron que la proteína y el gluten disminuyeron, así como las propiedades viscoelásticas obtenidas del alveograma y farinograma, dando como resultado un bajo volumen de pan.

En resumen, la literatura en general coincide en que la presencia de enfermedades foliares reduce el rendimiento del cultivo debido a disminuciones en el número y/o el peso de los granos en función de cuándo y en qué magnitud se haga presente la enfermedad a lo largo del ciclo del cultivo, estos efectos en el rendimiento ocurren generalmente por una intervención de estas enfermedades en la producción de biomasa durante algún momento del ciclo del cultivo, afectando la tasa de crecimiento del cultivo por una senescencia anticipada causada por una disminución en el índice de área foliar total, índice de área foliar verde y duración del área foliar sana. Si bien estas respuestas se han atribuido a la presencia de patógenos con hábito nutricional biotrófico, necrotrofico y hemibiotrofico, se ha documentado que los patógenos con hábito nutricional biotrofico intervienen en mayor medida en la eficiencia del uso de la radiación que patógenos con hábito nutricional necrotrofico, esto debido al detrimento del nitrógeno foliar y capacidad de removilización de los carbohidratos por absorción de nutrientes de las células vivas. Estas interacciones entre los patógenos y el cultivo, podrían incidir en las respuestas de los parámetros de calidad. Sin embargo, existen evidencias contradictorias en cuanto a los efectos de las enfermedades foliares sobre la calidad comercial e industrial ya que la presencia de enfermedades foliares puede reducir y/o mejorar la calidad comercial e industrial del cultivo. Estos efectos duales están dados por: i) el tipo de patógeno presente

(biotrófico, necrotrófico o hemibiotrófico), ii) el momento en que se hace presente el patógeno afectando el número y/o el peso de los granos dependiendo de iii) la magnitud de ataque del patógeno y iv) de la capacidad del cultivo de compensar la reducción de carbono y/o nitrógeno que es reducida y/o capturada por el patógeno. En este proyecto se tratará de dilucidar los diferentes aspectos indicados en los puntos anteriores.

## 1.2 Objetivos e hipótesis

El objetivo general de esta tesis es estudiar los cambios en el rendimiento y su vinculación con la calidad comercial e industrial debido a la presencia de distintas enfermedades foliares i) en cultivares de trigo con diferente potencial de rendimiento y diferente relación fuente destino, ii) en un cultivar de alto potencial de rendimiento clasificado dentro del grupo de calidad 2 y iii) líneas con distinta acumulación de carbohidratos solubles en agua en el momento a antesis.

### *Hipótesis*

- (i) La presencia de enfermedades foliares reducirá el rendimiento a través de sus componentes (número y peso de los granos, dependiendo del momento de aparición de la infección) en mayor medida en los materiales con menor reserva de carbohidratos en tallos y con menor relación fuente: destino, a su vez estas reducciones serán mayores en presencia de patógenos biotróficos como *P. graminis* debido a la absorción de nutrientes directamente del órgano de reserva.
- (ii) Infecciones de los patógenos causantes de las enfermedades foliares durante la última etapa del periodo crítico y/o durante el llenado de los granos disminuyen parámetros de la calidad comercial como peso de mil granos y peso hectolítrico y aumentan la concentración de N en los granos, debido a un menor efecto de dilución, y por lo tanto incrementan el contenido de proteína y gluten. *Estos efectos tendrán mayor magnitud en aquellos cultivares con menor relación Fuente: destino y menor capacidad de retranslocación de reservas almacenadas.* a su vez estas modificaciones serán más altas en *presencia de patógenos como P. graminis* debido al desequilibrio ocasionado por la absorción de nutrientes.
- (iii) En función de las hipótesis (i) y (ii) planteadas y en caso de aceptarse las mismas, es posible especular que el efecto negativo de las enfermedades sobre la calidad es de tipo indirecto ejercido a través de los cambios en la relación de carbono y nitrógeno en los granos.

**Estructura Experimental**

## 2.1 Descripción general de los experimentos

En este capítulo, se pretende explicar al lector cuestiones generales de todos los experimentos. Posteriormente en cada capítulo se profundizarán aspectos particulares de cada uno de los experimentos correspondientes.

Para cumplir con los objetivos y la contrastación de las hipótesis, se llevaron a cabo tres experimentos, uno de ellos en la estación experimental J. Hirschhorn, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata, Los Hornos (34° 52' LS; 57° 58' LO) (UNLP) y los restantes en el campo experimental del Departamento de Producción Vegetal de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (34°35'S, 58°29'O) (FAUBA). En los experimentos descritos en los capítulos 3 y 5 (FAUBA-UNLP) se realizaron inoculaciones con esporas de *P. triticina* y en el experimento descrito en el capítulo 4 (FAUBA) se realizaron inoculaciones con esporas de *P. graminis*, para todos los experimentos las inoculaciones se realizaron en el estado fenológico Z.37 “hoja bandera visible” (Zadoks *et al.*, 1974) con el fin de lograr las infecciones durante el llenado de los granos.

Los experimentos realizados en el campo experimental FAUBA se desarrollaron durante los años 2013 y 2014 (Capítulo 3) y en los años 2016 y 2017 (Capítulo 4). Para el experimento descrito en el capítulo 3 (FAUBA) se utilizaron cultivares (con distinta relación fuente: destino) categorizados en dos grupos: Klein Favorito y Klein Rendidor liberados al mercado argentino en los años 1920 y 1960 respectivamente, los cuales conforman el grupo de cultivares antiguos, mientras que el grupo de cultivares modernos estuvo conformado por los cultivares Klein Pegaso y Baguette 10 liberados en los años 1997 y 1999, respectivamente. En el experimento descrito en el capítulo 4 (FAUBA) llevado a cabo durante 2016 y 2017 se utilizó el cultivar comercial Baguette 601 seleccionado en función de ser un cultivar de calidad intermedia (grupo 2) y alto rendimiento, pero susceptible a distintas enfermedades foliares y especialmente roya negra o del tallo (Imvinkelried., 2014; Alberione *et al.*, 2015), a su vez, en este experimento durante los dos años se realizaron distintas fechas de siembra, en el año 2016 se realizó un agrupamiento de fechas de siembra tempranas (mayo y junio) y fechas de siembra tardías (agosto y septiembre), posteriormente en el año 2017 se realizaron únicamente fechas de siembra tardías (julio y agosto). Todas las parcelas enfermas correspondientes a las distintas fechas de siembra fueron inoculadas con *P. graminis* en el tratamiento enfermo (E) (ver 2.2.1). Este patógeno prosperó de acuerdo al ambiente explorado en cada fecha de siembra y estuvo acompañado por la presencia del patógeno hemibiotrófico *Z. tritici* debido a inóculo remanente en el lote experimental, la presencia y predominancia de estos patógenos corresponde a las condiciones ambientales presentes en las distintas fechas de siembra.

En el experimento realizado en el campo experimental de la UNLP (Capítulo 5) llevado a cabo en los años 2016 y 2017, se seleccionaron genotipos provenientes de líneas recombinantes puras (RILs) Seri (S) y Babax (B), con distinta acumulación de carbohidratos solubles en tallo (CHOs), estos genotipos fueron: SB003 y SB010 clasificados como de baja acumulación de CHOs y SB084 y SB146 clasificados como de alta acumulación de CHOs, sobre la base de experimentos llevados a cabo en Australia (Dreccer *et al.*, 2013). Sin embargo, en el análisis de resultados del capítulo 5 (ver 5.3.2) se muestra una reclasificación de los genotipos de acuerdo a la performance en los ambientes expuestos durante el desarrollo de esta tesis. Para este experimento se realizaron inoculaciones de *P. triticina* en el tratamiento enfermo (E) (ver 2.2.1), no obstante, prosperaron enfermedades causadas por patógenos necrotrofos y otras

enfermedades causadas por patógenos biotróficos por presencia y por desplazamiento natural de inóculo en el lote experimental, si bien estas enfermedades estuvieron presentes, su magnitud fue muy baja en comparación con *P. triticina*, por lo tanto, esta fue la enfermedad predominante durante los dos años.

Los suelos de los lotes seleccionados para el establecimiento de los experimentos en FAUBA son del tipo franco arcillo limoso, clasificado como Argiudol vértico y para el experimento realizado en UNLP el tipo de suelo fue un Argiudol típico (Serie Los Hornos), el tamaño de las parcelas de los experimentos realizados en las dos zonas, serán descritos en los capítulos correspondientes.

Para todos los experimentos descritos anteriormente se analizaron las respuestas en el rendimiento y sus componentes de acuerdo al siguiente protocolo: a cosecha (i.e. después de madurez fisiológica) se tomó una muestra espigas de un metro lineal conformado por dos surcos centrales en la parcela, estas espigas fueron trilladas y utilizadas para determinar el rendimiento y sus componentes numéricos (número y peso de 1000 granos). El peso de los granos se calculó a partir de tres submuestras de 100 granos cada una y una vez obtenido el peso (mg) se estimó el número de granos por unidad de área ( $\text{g m}^2$ ). Posteriormente se recolectaron la totalidad de las espigas por parcela y fueron trilladas para realizar los análisis de calidad descritos a continuación (ver 2.2.2).

## 2.2 Mediciones generales

### 2.2.1 Dinámica de la evolución de enfermedades en el llenado de los granos

Las parcelas correspondientes al tratamiento control (C) fueron protegidas de las enfermedades durante todo el ciclo del cultivo mediante aplicación de fungicidas, mientras que las parcelas del tratamiento enfermo (E) se controlaron mediante aplicaciones periódicas (i.e. 15 días) hasta el estado de tercer nudo visible (Z.33) “tercer nudo detectable” (Zadoks *et al.*, 1974), con el objetivo de dar paso a las inoculaciones artificiales. Las parcelas controladas en los experimentos descritos en los Capítulos 4 y 5 (FAUBA-UNLP) fueron mantenidas libres de patógenos mediante aplicaciones periódicas de Orquesta Ultra® 1.2L/ha (Triazol + Estrobirulina + Carboxamida) y el experimento descrito en el Capítulo 3 fue controlado con Folicur® 25 EW 1L/ha (Triazol). Para promover el desarrollo de las enfermedades en las parcelas denominadas “enfermas (E)” se realizaron inoculaciones periódicas (i.e. 4-6 días) hasta la aparición de síntomas de las enfermedades causadas por los patógenos *P. triticina* (Cap 3 y Cap 5) y de *P. graminis* (Cap 4) en el estado de punta de hoja bandera visible (Z.37) (Zadoks *et al.*, 1974). Las inoculaciones se realizaron mediante la preparación de una suspensión compuesta de agua destilada mezclada con 0.5 mg de uredosporas por planta, adaptado de los protocolos descritos por Stakman *et al.*, (1962). Es decir, que se realizó el cálculo correspondiente para las densidades utilizadas en los experimentos con 250 pl/m<sup>2</sup> (capítulos 3 y 5) y 300 pl/m<sup>2</sup> (capítulo 4) obteniendo el total de plantas de las parcelas correspondientes al tratamiento enfermo. De este modo, un total de 4,56 g de esporas fue diluida en un litro de agua destilada para ser pulverizada de manera dosificada y uniforme en la parte superior de las parcelas, asegurando una pulverización homogénea en todas las parcelas correspondientes al tratamiento enfermo. Similar metodología fue utilizada en Schierenbeck *et al.*, (2016).

Posteriormente se efectuaron pulverizaciones de agua destilada después de la inoculación para asegurar las horas de rocío con el objetivo de proporcionar un ambiente adecuado para que la infección del patógeno fuera exitosa, este paso fue indispensable

para lograr infecciones que prosperaran en el periodo de llenado de granos sujeto a la predisposición ambiental. En cada capítulo se describen las metodologías utilizadas para proporcionar un ambiente óptimo de infección. Las esporas fueron proporcionadas por colaboradores del INTA Castelar y el INTA Bordenave: para el experimento realizado en la UNLP (Cap 5) el Ingeniero Pablo E. Campos realizó una selección de razas infectivas TDT 10 y 20 específicas para lograr la infección de los genotipos provenientes de las líneas Seri (S) y Babax (B) “SB”. Para el experimento realizado en la FAUBA (Cap 3) el Ingeniero Francisco Sacco seleccionó un pool de razas infectivas no clasificadas para los genotipos antiguos y modernos. En el experimento descrito en el capítulo 4 (FAUBA) las esporas fueron recolectadas de lotes infectados sembrados con el cultivar Baguette 601, y almacenadas mediante protocolos de conservación (refrigeración a temperaturas ultra bajas) de acuerdo a los protocolos descritos por Roelfs *et al.*, (1992) para el posterior uso en este experimento. Posteriormente luego de las inoculaciones se iniciaron los seguimientos de las enfermedades, éstos se llevaron a cabo con distintas metodologías; para los dos experimentos realizados en la FAUBA, los seguimientos de la enfermedad se iniciaron a partir del estado Z.39 “hoja bandera expandida” (Zadoks *et al.*, 1974), y para el experimento realizado en la UNLP (capítulo 5) los seguimientos de la enfermedad se iniciaron a partir del estado Z.69 “antesis completa” (Zadoks *et al.*, 1974).

La selección de las plantas para el seguimiento de las enfermedades fue distinta dentro de los experimentos. En los experimentos llevados a cabo en la FAUBA se seleccionaron 7 plantas al azar dentro de cada parcela marcando el vástago principal, de esta manera se siguió la presencia de las enfermedades en este mismo vástago durante todo el ciclo del cultivo, mientras que en el experimento realizado en la UNLP para cada día de muestreo se seleccionaron y extrajeron 7 plantas al azar dentro de cada parcela y se tomó el porcentaje de severidad en el vástago principal y los macollos, esta metodología se desarrolló de esta manera para determinar el índice de área foliar. En todos los experimentos el porcentaje de severidad se tomó de manera ascendente a partir de la cuarta hoja (HB-3) hasta la hoja bandera (HB). El registro de evolución de la roya de la hoja y roya del tallo se llevó a cabo siguiendo la escala modificada de Cobb (Peterson *et al.*, 1948) determinando el porcentaje de severidad en hojas (Cap 3 y Cap 5), y en tallo (Cap 4). En este último experimento donde se realizaron inoculaciones de *P. graminis* la evolución de la enfermedad en el tallo se estratificó en parte superior, media e inferior (diferenciados por nudos), de esta manera se obtuvo información acerca de la distribución de la enfermedad en el tallo (ver Capítulo 4). En parcelas donde la enfermedad alcanzó órganos reproductivos (espigas) la severidad se cuantificó de acuerdo al porcentaje de espiguillas sintomáticas por espiga adaptado del protocolo de Schaafsma *et al.*, (2005).

Como se mencionó anteriormente, pese a haber tratado las semillas previo a la siembra, enfermedades como roya de la hoja y septoriosis progresaron en el cultivo debido al inóculo presente en los lotes experimentales y a las condiciones ambientales predisponentes. La presencia de estas enfermedades fue cuantificada detalladamente para los realizados en la FAUBA (Capítulo 3 y 4) donde se evaluó el mismo vástago principal durante el ciclo del llenado de los granos, de tal manera que se pudo detallar su presencia en láminas foliares infectadas con *Puccinia sp* correspondientes a cada experimento, determinándose la predominancia en los dos tratamientos. Para la caracterización y registro de la evolución de las manchas foliares se siguió la escala de Eyal y Brown (1976). Luego de obtener la cuantificación de las enfermedades mediante el porcentaje de severidad durante todo el ciclo del cultivo, las enfermedades fueron analizadas obteniendo el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) para el

tratamiento control (C) y enfermo (E) utilizando el software GraphPad Prism versión 6.01 para Windows (Robert, 1998). El área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) es la técnica de análisis más recomendada, cuando se requiere identificar las relaciones del progreso de la enfermedad y periodo de duración del área foliar, respecto al impacto sobre el rendimiento (Waggoner, 1986), es una herramienta estadística en el análisis de epidemiología comparada, respecto al análisis comparativo con el uso de tasas relativas de incremento de la enfermedad (Bautista *et al.*, 2009).

La respuesta de los rendimientos, sus componentes y parámetros de calidad, se atribuyen a la predominancia y presencia de las enfermedades de acuerdo al enfoque de cada capítulo. Estas respuestas fueron estadísticamente analizadas para determinar los efectos de los tratamientos mediante un análisis de varianza ANOVA para cada factor, comparando las medias de cada tratamiento mediante el test LSD  $P < 0.05$  y  $P < 0.10$  utilizando el programa INFOSTAT 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2011). Dentro de cada capítulo se encuentra la descripción detallada del diseño experimental correspondiente.

### **2.2.2 Análisis de calidad comercial y parámetros reológicos de la calidad industrial**

Para la caracterización de los atributos de calidad industrial se siguieron las normas del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) regido por las normas de la Organización Internacional de Normalización (ISO) (<http://www.iram.org.ar/>). Los granos de las muestras una vez cosechadas y trilladas, se limpiaron de impurezas y fueron acondicionados a una humedad de 15.5 % (esta humedad es óptima para la molienda, ya que facilita el proceso de rotura y extracción de la harina) siguiendo las indicaciones de la norma IRAM 15854-1. Posteriormente se dio inicio a la molienda experimental, este proceso se llevó a cabo de acuerdo al protocolo establecido en la norma IRAM 15854-2 utilizando el molino experimental Bühler MLU-202 (Bühler Holding, Uzwil, Switzerland) del laboratorio de calidad de la Cátedra de Cereales FAUBA, calibrado en una tasa de extracción de 70 %. De las muestras de harina obtenidas de cada tratamiento, se realizaron análisis de proteína en harina mediante el método Kjeldahl (norma IRAM método de referencia 15852), expresada como valor de proteína cruda (%) proveniente de la concentración de N obtenida multiplicada por el factor de conversión 5.7, el valor de proteína en grano se obtuvo previamente de granos recolectados después de la cosecha mediante el mismo método.

Se determinó Gluten húmedo y Gluten seco siguiendo la norma IRAM (método 15864-2) utilizándose una muestra de 10 gramos de harina y 4.8 ml de solución salina para separar el gluten mediante el proceso automático del equipo Glutomatic 2220® (Perten instruments, Perkin Elmer Company). Las determinaciones de parámetros de alveograma se siguieron bajo la norma IRAM (método 15857) donde se utilizó una muestra de 250 gramos de harina elaborándose cinco pseudoreplicas (pastones de masa) que luego fueron sometidos a insuflado hasta punto de rotura, de este proceso se obtuvo la curva de desarrollo de la masa que está conformada por los parámetros P (tenacidad de la masa), L (extensibilidad de la masa), la relación entre los dos parámetros P/L y el área bajo la curva W (fuerza de la masa). El promedio de las pseudoreplicas fue usado como valor de análisis de cada una de las repeticiones genuinas diseñadas en cada uno de los ensayos a campo. El índice de caída para determinación de la actividad alfa-amilásica se obtuvo siguiendo la norma IRAM (método 15862) procesada por el equipo Falling number 1500® (Perten instruments, Perkin Elmer Company) utilizándose 7 gramos de muestra de harina, que posteriormente fue sometida a temperaturas estimulantes del proceso de gelatinización de las amilasas, calculándose el índice de caída del embolo (segundos),

que representa la respuesta a la degradación de las amilasas. El análisis de sedimentación de las harinas “test de Zeleny” se efectuó siguiendo el protocolo establecido en la norma IRAM (método 15875), utilizando una muestra de 3.2 gramos de harina, la muestra reacciona con la adición de distintos reactivos en tiempos establecidos y periodos de agitación, la hinchazón de las partículas de harina y su sedimentación permitió obtener una lectura indirecta de la cantidad y calidad del gluten, este parámetro se realizó únicamente en el experimento detallado en el capítulo 3. Todas las determinaciones anteriores fueron corregidas por el porcentaje de humedad de las harinas siguiendo el protocolo de la norma IRAM (método 15850-1). Finalmente se obtuvo el volumen del pan mediante panificación experimental siguiendo la norma IRAM (15858-1) utilizando una muestra de 100 gramos de harina de trigo, que después de someterse a distintos tiempos de fermentación fue horneada en un molde de 9.5 x 5.5 x 5.5 cm, el resultado final es una réplica de pan producido industrialmente. Una hora después de la salida del horno, se procedió a la obtención del volumen mediante el protocolo de desplazamiento de semillas de colza. Los análisis reológicos fueron realizados en el laboratorio de nitrógeno de la Catedra de Cereales FAUBA, laboratorio de Calidad de la Catedra de Cereales de la UNLP y de la FAUBA, así como en la Cámara Arbitral de la Bolsa de Cereales de Bahía Blanca con la colaboración de la Ingeniera Noemí Fritz. Todas las variables fueron estadísticamente analizadas para determinar los efectos de los tratamientos mediante un análisis de varianza ANOVA para cada factor, comparando las medias de cada tratamiento mediante el método LSD  $P < 0.05$  y  $P < 0.10$  utilizando el programa INFOSTAT 2018 (Rienzo *et al.*, 2011) y dentro de cada capítulo se encuentra la descripción detallada del diseño experimental correspondiente.

### **2.2.3 Condiciones meteorológicas**

Dentro de cada capítulo se encuentran descritas las condiciones meteorológicas registradas en cada uno de los ambientes experimentales, conformadas por temperatura mínima, media y máximas presentadas en un promedio de diez días, así como las precipitaciones acumuladas. Los informes correspondientes a el experimento realizado en la Universidad Nacional de la Plata, fueron tomados del boletín agrometeorológico mensual de la estación experimental Ing. Agr. Hirschhorn (Pardi *et al.*, 2018) y los registros meteorológicos en los experimentos llevados a cabo en FAUBA (conducidos bajo riego), fueron tomados de la Estación meteorológica ubicada en el campo experimental (Davis Vintage II Pro, USA).

**Respuestas en los rendimientos y la calidad de cultivares antiguos y modernos  
(distinta relación fuente: destino) ante la presencia de enfermedades foliares**

### 3.1 Introducción

Uno de los principales beneficios con el mejoramiento ha sido el aumento de los rendimientos dado por un mayor número de granos, este incremento se atribuye a un aumento en el índice de cosecha sin que se vea modificada la biomasa de los cultivares (Slafer y Andrade, 1991; Calderini y Slafer, 1999; Lo Valvo *et al.*, 2018). Estas respuestas estarían relacionadas con los cambios que pudieron haber ocurrido en la relación fuente: destino de los cultivares a través del tiempo, en este sentido diversos autores han demostrado afirmaciones controversiales como Slafer y Savín, (1994) y Borrás *et al.* (2004), que coinciden en que los cultivares modernos de trigo muestran una co-limitación por fuente y destino más alta con respecto a los cultivares antiguos que tienen un potencial de rendimiento menor, y por lo tanto estos cultivares modernos tienen una mayor demanda de asimilados dada por los destinos en comparación con los cultivares antiguos. Esta afirmación está basada en el hecho de que la mejora genética ha aumentado la partición de los órganos reproductivos sin modificar la biomasa total de los cultivares. Este aumento a través de los años para los cultivares modernos se debe fundamentalmente a un aumento en el número de granos, ya que el peso de los granos no presentó modificaciones entre los cultivares antiguos y modernos (Miralles y Slafer, 2007; Lo Valvo *et al.*, 2018). Por otro lado, esta limitación es dada por la relación negativa entre el peso y el número de granos cuando se comparan los cultivares con un amplio rango de partición entre los órganos vegetativos y reproductivos (Waddington *et al.*, 1986; Slafer y Andrade 1989; Abbate *et al.*, 1995; Sherman *et al.*, 2004).

Se han realizado diversos estudios para suponer los distintos efectos de factores bióticos y abióticos durante el llenado de los granos mediante manipulaciones en la relación fuente: destino obteniendo distintas respuestas en el peso de los granos y en algunas investigaciones se han realizado análisis en el contenido de proteína. Estudios realizados por Calderini *et al.*, (2006) y Zhang *et al.*, (2012) aumentando la fuerza de la fuente mediante el desespiguillado encontraron como respuesta un aumento en el peso de los granos, esta misma respuesta se dio en experimentos realizados por Borghi *et al.*, (1986) obteniendo además como resultado un aumento en el contenido de proteínas, encontrando valores más altos en el contenido de carbohidratos que en el de proteínas. Por otro lado, manipulaciones en la fuente como tratamientos de sombreado y defoliaciones mostraron en ambos casos disminuciones en el peso de los granos, sin embargo, tratamiento con sombreado mostró aumentos en el contenido de proteína y el tratamiento con defoliaciones mostró disminuciones en contenido de proteínas (Zhang *et al.*, 2012) coincidiendo con los resultados de experimentos de defoliaciones totales realizados por Borghi *et al.*, (1986).

Por la razón antes descrita, es posible especular que una disminución en la oferta de recursos como resultado de la presencia de enfermedades foliares, puede limitar en gran medida la fuente fotosintética, lo que resulta en un mayor efecto negativo en el rendimiento de los cultivares modernos con respecto a los cultivares antiguos con una mayor relación fuente: destino y este efecto negativo en el rendimiento del grano y particularmente en el peso del grano podría interactuar en la calidad y las propiedades viscoelásticas de la masa. Asimismo, si las enfermedades foliares se presentan durante la última etapa del período crítico y/o el llenado del grano en el ciclo del cultivo podrían disminuir el peso hectolítrico y el porcentaje de extracción, modificándose la concentración de nitrógeno por la interferencia en la acumulación de carbohidratos o nitrógeno. Estos efectos pueden ser mayores en cultivares con una menor relación fuente: destino y menor capacidad de retranslocación de reservas; esta interferencia en la

acumulación de las reservas podría modificar las propiedades viscoelásticas, como consecuencia de un efecto indirecto de las enfermedades foliares a través de cambios en la proporción de carbono y nitrógeno en los granos. En este capítulo se abordará el primer objetivo planteado y la hipótesis (i) propuesta en el Capítulo 2.

### 3.2 Materiales y métodos

En los años 2013 y 2014 se condujeron ensayos en el campo experimental del Departamento de Producción vegetal de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (34° 35'S, 58° 29'O, 26 msnm) combinando genotipos y tratamientos de enfermedad. El diseño experimental fue en parcelas divididas en bloques completos con tres repeticiones, cuyo factor principal fueron los cuatro cultivares agrupados en: antiguos (Klein Favorito y Klein Rendidor) liberados antes de 1960 y modernos (Klein Pegaso y Baguette 10) liberados antes del año 2000 y las sub parcelas correspondieron a los diferentes tratamientos de enfermedad: tratamiento Control (C) y Enfermo (E); los detalles de los cultivares y tratamientos se encuentran descritos en el capítulo 2. La siembra de estos materiales se realizó el 6 de junio de 2013 y el 29 de mayo de 2014, utilizando una sembradora de siete surcos distanciados a 17.5 cm, en parcelas con un tamaño de 6.12 m<sup>2</sup> (5 metros de largo y ca. 1.22 metros de ancho) con una densidad final de 250 plantas m<sup>2</sup>. Los cultivares antiguos (de porte alto) fueron sostenidos mediante redes colocadas en las parcelas para impedir el vuelco. Para asegurar que la inoculación con esporas de *P. triticina* fuera exitosa, se construyeron carpas de polietileno de dimensiones superiores al tamaño de las parcelas las que se instalaron durante la noche posterior a las inoculaciones, de tal manera que estas quedaran totalmente cubiertas con la finalidad de proporcionar un ambiente de humedad y temperatura favorables para el inicio de la infección de la enfermedad. Las carpas fueron retiradas a la mañana siguiente al tratamiento de inoculación. Los experimentos se mantuvieron sin restricciones hídricas mediante riego por goteo, y fueron fertilizados con 82 Kg de fosfato diamónico (aplicado a la siembra) y con 150Kg N ha<sup>-1</sup> y 130 Kg N ha<sup>-1</sup> para el año 2013 y 2014 respectivamente (particionados en siembra y macollaje Z.25). Los experimentos se protegieron de otros organismos bióticos mediante aplicaciones controladas de herbicidas e insecticidas. Para tener una aproximación de los cambios en la relación fuente: destino, se realizaron cálculos entre la biomasa en el momento antesis y el número de granos, para ello se realizó un corte de biomasa aérea (a ras de suelo de 50 cm lineales en cinco surcos 0.44 m<sup>2</sup>) en el momento de antesis, el material obtenido fue sometido a secado por un tiempo mínimo de 72 horas a 60 °C, para posteriormente ser pesado en balanza de precisión. Por otro lado, para tener una aproximación de los cambios en la relación fuente: destino se realizaron cálculos entre la radiación absorbida acumulada (RAA) a partir del periodo crítico y el número de granos, para ello con una frecuencia de dos a tres veces por semana en días de pleno sol (al mediodía), a partir del inicio del período crítico y hasta la madurez fisiológica se tomaron mediciones periódicas de la radiación incidente y la interceptada por el cultivo mediante el uso de un ceptómetro lineal de barra (CAVARAD, Cavadevises, Argentina). Los valores de radiación interceptada (Ecuación 3.1) se utilizaron para calcular la radiación absorbida acumulada durante el periodo del llenado de granos (RAA) (Ecuación 3.2).

$$RIA (MJ m^{-2} día^{-1}) = [(Rinc - Rint)] / Rinc \times Rg \times d (día) \quad (Ec.3.1)$$

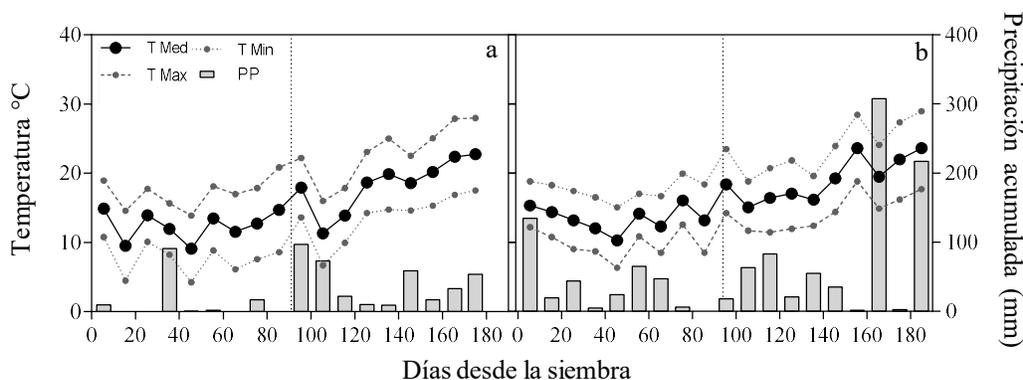
$$RAA (MJ m^{-2} día^{-1}) = RIA \times (1-Severidad) \quad (Ec. 3.2)$$

donde Rinc, Rint y Rg corresponden a la radiación incidente, interceptada y global diaria, respectivamente.

### 3.3 Resultados

#### 3.3.1 Condiciones meteorológicas

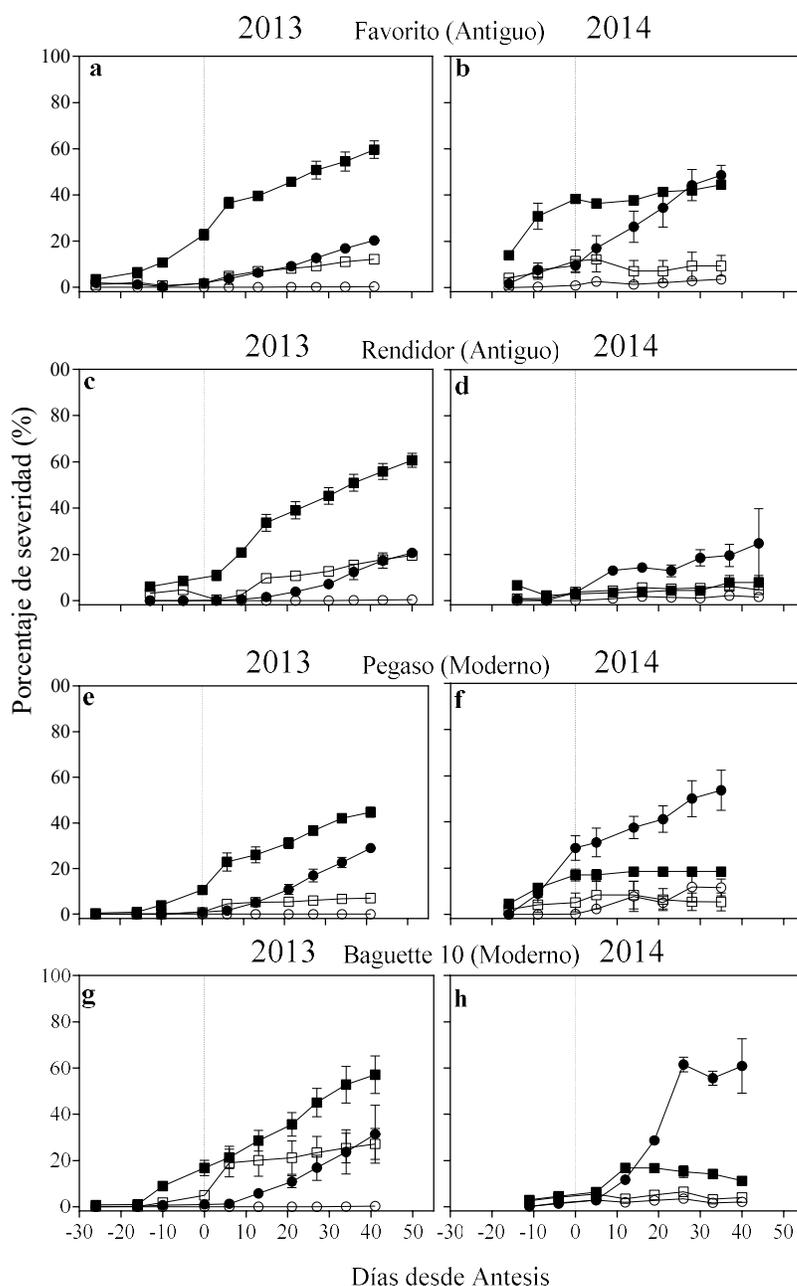
Las temperaturas medias durante todo el ciclo del cultivo fueron de 16 °C para los dos años experimentales; sin embargo, alrededor de antesis en el año 2013 (Figura 3.1a) las temperaturas fluctuaron entre 8 y 15°C, mientras que en el año 2014 (Figura 3.1b) fueron de entre 16 y 18°C. Durante el llenado de los granos en el año 2013 las temperaturas fluctuaron entre 17 y 22°C y en el año 2014 entre 17 y 26°C. Las precipitaciones acumuladas ocurridas durante el llenado de granos fueron de 60 y 165 mm durante los años 2013 y 2014, respectivamente. Por lo tanto, si bien durante los dos años las temperaturas medias se mantuvieron a 16°C, particularmente el año 2013 alrededor de la antesis mostró temperaturas más bajas que el año 2014, este fenómeno también se observó durante el llenado de los granos, a su vez, las precipitaciones a fin de ciclo en el año 2014 fueron superiores al año 2013.



**Figura 3.1** Condiciones meteorológicas de los experimentos realizados en FAUBA durante los años 2013 (a) y 2014 (b). Las barras representan las precipitaciones acumuladas (diez días). Las temperaturas se encuentran representadas como el promedio de diez días de las temperaturas mínimas (---●---), medias (—●—) y máximas (—●—). La línea punteada vertical indica el momento de antesis en cada año experimental.

#### 3.3.2 Evolución de las enfermedades durante el ciclo del cultivo

La dinámica de evolución de las enfermedades foliares para todos los cultivares se muestra en la Figura 3.2. Tal como se observa en la figura el mayor crecimiento de la presencia de enfermedades se observó a partir del momento de la floración (antesis) del cultivo en ambos años experimentales.



**Figura 3.2** Dinámica de la evolución en porcentaje de severidad de las enfermedades roya de la hoja (círculos) y mancha amarilla (cuadrados) para los tratamientos Control (C) símbolos vacíos y Enfermos (E) símbolos llenos, para los cultivares antiguos 2013 (a y c) y 2014 (b y d) y modernos 2013 (e y g) y 2014 (f y h). La línea punteada vertical indica el momento anthesis para todos los cultivares

El ABCPE en el tratamiento enfermo (E) mostró valores superiores al tratamiento control (C) sin embargo, al detallar la predominancia de las enfermedades en este último tratamiento se observa que durante los dos años experimentales la mancha amarilla registró valores superiores de ABCPE respecto de la roya de la hoja (Figura 3.2; Cuadro 3.1) En todas las variables detalladas en el Cuadro 3.1 y durante los dos años, el análisis

de varianza mostró diferencias significativas  $P < 0.05$  en la comparación entre los *tratamientos* control (C) y enfermo (E). En el año 2013 el patógeno predominante fue *Py. tritici* representando el 80 % del total, mientras que *P. triticina* representó un 20 % del total. Contrariamente en el año 2014 la predominancia fue de *P. triticina* con un 60 % del total, mientras que *Py. tritici* representó el 42 %.

**Cuadro 3.1** Medias del ABCPE Biotrófica, ABCPE Necrotrófica y la suma del ABCPE de las dos enfermedades para el grupo de cultivares antiguos y el grupo de cultivares modernos con sus respectivos tratamientos de enfermedad Control (C) y Enfermos (E) y la interacción cultivar por tratamiento *CxT*. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$  \* para *Cultivar*, *Tratamientos* y *Cultivar x Tratamiento (C x T)*.

Comparación de medias	Año 2013			Año 2014		
	ABCPE Total	ABCPE Biotrófica	ABCPE Necrotrófica	ABCPE Total	ABCPE Biotrófica	ABCPE Necrotrófica
<b>Cultivar</b>						
Antiguos	1484 a	204 a	1280 a	1198 b	499 b	699 a
Modernos	1306 b	258 a	1047 b	1312 a	830 a	482 b
<b>Tratamiento</b>						
Control (C)	523 b	2 b	521 b	424 b	122 b	303 b
Enfermo (E)	2267 a	460 a	1806 a	2086 a	1207 a	879 a
<b>Cultivar x Tratamiento</b>						
Antiguo C	480 c	3 c	477 c	408 b	69 c	340 b
Antiguo E	2488 a	405 b	2083 a	1989 a	930 b	1059 a
Moderno C	566 c	1 c	565 c	440 b	174 c	265 b
Moderno E	2046 b	516 a	1530 b	2184 a	1485 a	699 ab
<i>Cultivar (C)</i>	*	n.s.	*	**	**	**
<i>Tratamiento (T)</i>	**	**	**	**	**	**
<i>C x T</i>	*	**	**	n.s.	**	n.s.

Los promedios generales mostraron diferencias significativas en las ABCPE entre los *cultivares* para los dos años, con excepción de roya de la hoja (biotrófica) en el año 2013. En el año 2013 el total de las enfermedades foliares medidas a través del ABCPE Total fue +13 % más alta en los cultivares antiguos (1484) comparado con los cultivares modernos (1306), mientras que, en el año 2014, los valores fueron +9 % más altos en los cultivares modernos (1312) comparado con los cultivares antiguos (1198). La presencia de roya de la hoja (ABCPE biotrófica) fue +26 % más alta en los cultivares modernos (258) respecto de los antiguos (204) en el año 2013, esta misma respuesta se dio en el año 2014 en donde los valores de los cultivares modernos (830) fueron +66 % más altos que los cultivares antiguos (499). Contrariamente, la presencia de mancha amarilla (ABCPE necrotrófica) fue +22 % más alta en los cultivares antiguos (1280) comparado con los cultivares modernos (1047) en el año 2013, al igual que en el año 2014 donde dicha diferencia a favor de la enfermedad necrotrófica fue un +45 % más alta en los cultivares antiguos (699) respecto de los modernos (482). En el año 2013 las interacciones *CxT* fueron significativas para todos los valores ABCPE, mientras que en el año 2014 los valores fueron significativos ( $P < 0.05$ ) en el ABCPE biotrófica.

### 3.3.3 Rendimiento, sus componentes y en la relación fuente: destino: ¿Cómo afectaron las enfermedades?

Las medias de los rendimientos y componentes número, peso de los granos y parámetros indicadores de la relación fuente: destino para cada grupo de cultivares se encuentran en el Cuadro 3.2. En todos los parámetros analizados los *genotipos* mostraron diferencias significativas  $P < 0.05$  durante los dos años. La comparación entre los *tratamientos* control (C) y enfermo (E) para el rendimiento y sus componentes, mostró diferencias significativas  $P < 0.05$  para el rendimiento y el número de granos en el año 2013 (no así para el peso de los granos). En el año 2014 no se observaron diferencias significativas asociadas a las enfermedades para el rendimiento y sus componentes. La variable B/NG (Biomasa/NG), como indicador de la relación fuente: destino no mostró diferencias significativas entre los *tratamientos* durante los dos años. Sin embargo, la RAA/NG (MJ m<sup>2</sup>/grano) (Radiación Absorbida Acumulada / número de granos) otra variable indicadora de la relación Fuente: destino, fue significativamente diferente ( $P < 0.05$ ) en los dos años. No se observaron interacciones *CxT* en ninguno de los dos años.

La comparación de los rendimientos anuales muestra valores +11 % más altos en el año 2013 (469 g/m<sup>2</sup>) respecto del 2014 (386 g/m<sup>2</sup>), con respuestas similares en el número y peso de los granos. Durante los dos años, las disminuciones en el rendimiento debido a las enfermedades fueron de ca. -12 % ocasionados por una disminución en el número de granos de similar magnitud. El peso de los granos no presentó modificaciones ante la presencia de las enfermedades durante los dos años. La relación fuente: destino durante el periodo crítico calculada a través de B/NG mostró tendencias no significativas al aumento del +12 y +22 % en 2013 y 2014 respectivamente; mientras que contrariamente la relación fuente: destino durante el llenado de los granos RAA/ NG disminuyó significativamente en ca -32 % durante los dos años.

Los parámetros indicadores de las respuestas en la relación fuente: destino, mostraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los grupos de *cultivares*. Las variables B/NG y RAA/NG fueron inferiores en los cultivares modernos comparados con los cultivares antiguos. Así, los valores de B/NG fueron -45 y -38 % más bajos en los cultivares modernos respecto de los antiguos en 2013 y 2014, respectivamente. En el caso de RAA/NG los valores fueron -36 y -38% menores en los modernos respecto de los antiguos en los años 2013 y 2014, respectivamente (Cuadro 3.2). La presencia de enfermedades redujo el rendimiento y el número de granos sin afectar el peso de los granos, sin embargo, las diferencias solo fueron significativas en el año 2013 (Cuadro 3.2). El análisis del efecto negativo de las enfermedades cuando se analizaron en conjunto con los cultivares, mostró que las disminuciones en el rendimiento en los cultivares modernos fueron ligeramente inferiores (-10 %) cuando se las comparó con la observada en los cultivares antiguos (-14 %). Sin embargo, los cultivares modernos presentaron rendimientos +66 % más altos dados por un +86 % más de número de granos comparado con los cultivares antiguos.



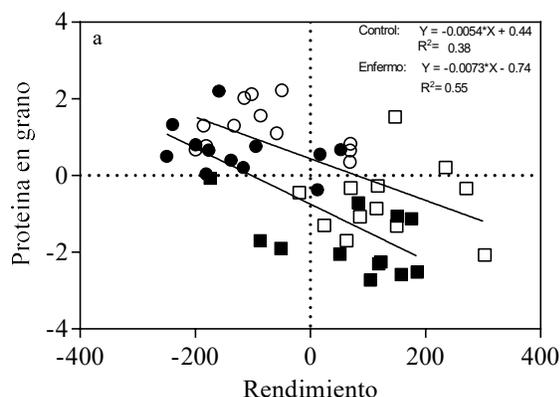
### 3.3.4 Modificaciones en los parámetros de calidad asociados a la presencia de las enfermedades foliares

Los parámetros de calidad comercial Peso hectolítrico PH (hL), Extracción de harina (%), Contenido de proteína en grano CPG (%), Contenido de proteína en harina CPH (%), Gluten húmedo GH (%), Gluten seco GS (%) y Test de sedimentación Zeleny SZ (ml) se presentan en el Cuadro 3.3. Con excepción de PH y EXT en ambos años se observó efectos significativos ( $P < 0.05$ ) en los cultivares, destacándose valores menores en todos los parámetros de calidad comercial en los cultivares modernos respecto de los cultivares antiguos, mostrando diferencias entre -10 a -24 % dependiendo del parámetro considerado (Cuadro 3.3). Las enfermedades redujeron la mayoría de los parámetros de calidad comercial, sin embargo, solo se observaron diferencias significativas en el año 2013 en los parámetros de CPG, CPH, GH, GS y en CPG en el año 2014. Los porcentajes de reducción de los parámetros de calidad comercial asociados a la presencia de enfermedades fueron proporcionalmente mayores en el año 2013 comparados con el año 2014. Las enfermedades causaron disminuciones durante los dos años en el CPG del -10 y -5 % en 2013 y 2014, respectivamente. En el año 2013 el CPH (-7 %), GH y GS (-15 %) fueron reducidos significativamente como consecuencia de las enfermedades foliares, tendencias similares se dieron en SZ (-7 %) pero no fueron significativas. En el año 2014 si bien los parámetros tendieron a disminuir con la presencia de las enfermedades, solo fueron significativas las diferencias para el CPG (-5 %).

No se observaron interacciones  $C \times T$  durante los dos años a excepción del porcentaje de extracción en el año 2013, sin embargo, se destacó un mayor impacto negativo de las enfermedades sobre los parámetros de calidad comercial en los cultivares modernos respecto de los antiguos durante los dos años. Así, en el año 2013 las reducciones en el CPG fueron de -9 % y -12 % para los cultivares antiguos y modernos respectivamente, y reducciones de magnitudes similares en el CPH, el GH fue reducido entre -10 y -19 % para los cultivares antiguos y modernos respectivamente, mostrando reducciones de magnitudes similares en el GS, y SZ. En el año 2014 los cultivares antiguos no presentaron modificaciones en los parámetros de calidad ante la presencia de las enfermedades, sin embargo, se observaron reducciones entre -3 y -9 % en los parámetros anteriormente mencionados de los cultivares modernos, no obstante, estas solo son tendencias que sobresalen en porcentajes de comparación ya que como se mencionó con anterioridad, en estos parámetros no se obtuvo una respuesta significativa en la interacción  $C \times T$ .

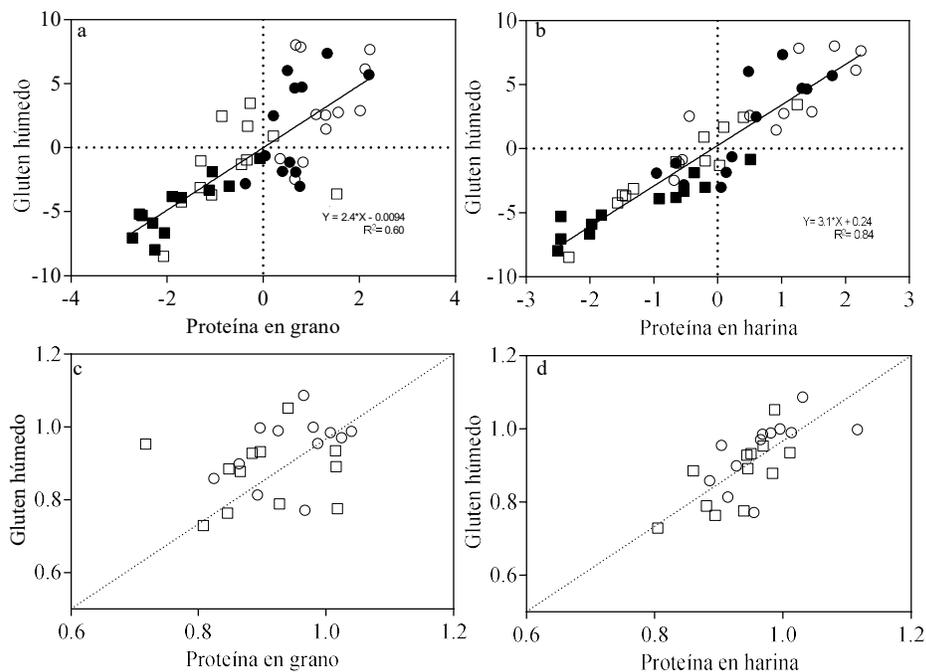


Las relaciones funcionales representadas en desvíos de valores absolutos respecto a la media anual entre el porcentaje de proteína en grano (%) y el rendimiento se presentan en la Figura 3.3. El agrupamiento de los cultivares revela una respuesta lineal negativa con un coeficiente de  $R^2=0.34$  (relación no mostrada en la figura) y al realizar regresiones individuales entre los tratamientos se observan coeficientes diferentes para el tratamiento C ( $R^2=0.38$ ) y para el tratamiento E ( $R^2=0.55$ ). Esto indica que la proteína disminuye a medida que aumenta el rendimiento, y la caída es mayor en el tratamiento E comparado con el tratamiento C, a su vez se destaca que el efecto es más relevante en los cultivares modernos por presentar rendimientos más altos presentando por lo tanto una mayor caída en el porcentaje de proteína respecto de los cultivares antiguos.



**Figura 3.3** Proteína en grano (%) en función del rendimiento (kg/ha) ambos expresados como desvíos de valores absolutos respecto a la media de cada año para el grupo de cultivares antiguos (círculos) y modernos (cuadrados) para los tratamientos enfermo (símbolos llenos) y control (símbolos vacíos) las regresiones lineales corresponden a los tratamientos control y enfermo.

Las relaciones funcionales representadas en desvíos de valores absolutos respecto a la media anual entre el gluten húmedo (%) y el porcentaje de proteína en grano (%) ( $R^2=0.60$ ) y porcentaje de proteína en harina ( $R^2=0.84$ ) se presentan en la Figura 3.4. En ambas relaciones la respuesta es lineal y positiva. La dispersión de los puntos revela rangos similares de variación tanto en el tratamiento C como en el tratamiento E. Sin embargo, se observa una mayor concentración de los puntos correspondientes al tratamiento E por debajo de la media en los cultivares modernos, debido al efecto más acentuado de la presencia de las enfermedades en estos cultivares en ambas relaciones (Figura 3.4 a y b). Por otro lado, los valores relativos del tratamiento E respecto del tratamiento C (Figuras 3.4 c y d) muestra un agrupamiento de la mayoría de los puntos por debajo de la línea 1.1 reforzando la afirmación de que las enfermedades foliares causan disminuciones en los parámetros de proteína y gluten respecto del control en todas las situaciones exploradas.



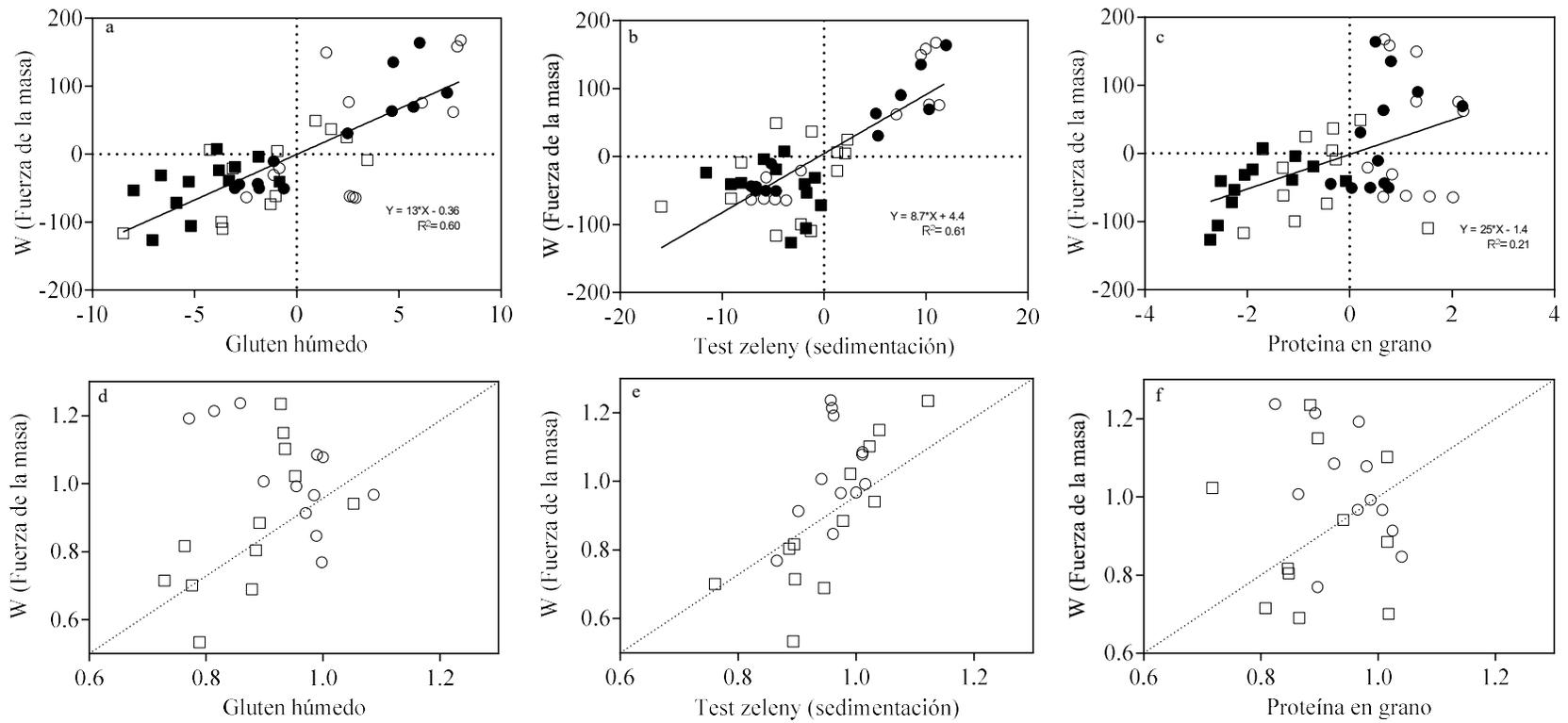
**Figura 3.4** Desvíos de valores absolutos respecto a la media de cada año entre a) Gluten húmedo (%) y Contenido de proteína en grano (%) b) Gluten húmedo (%) y contenido de proteína en harina (%) para el grupo de cultivares antiguos (círculos) y modernos (cuadrados) para los tratamientos enfermo (símbolos llenos) y control (símbolos vacíos). Las sub figuras b y e representan los cambios relativos para las mismas variables de los tratamientos enfermos respecto del control.

### 3.3.5 Modificaciones en los parámetros de calidad industrial ante la presencia de enfermedades foliares

Los parámetros de calidad industrial obtenidos del alveograma: P (mm), L (mm), P/L, W ( $J \times 10^{-4}$ ), Volumen de pan ( $cm^3$ ) y FN (s) se detallan en el cuadro 3.4. En estos parámetros no se observan modificaciones significativas en la comparación entre *tratamientos* por efecto de las enfermedades, aunque se registró una consistente tendencia a reducirse en el caso de los tratamientos enfermos respecto de los controles en el año 2013, aunque dicha tendencia no se registró en el año 2014. El análisis estadístico mostró diferencias entre los *cultivares*, registrando en ambos años los cultivares modernos valores menores respecto de los antiguos en la mayoría de los parámetros de calidad industrial (cuadro 3.4). Con excepción del FN en 2013, no se registraron interacciones significativas  $C \times T$ .



Una asociación lineal y positiva se obtuvo cuando los desvíos de los valores absolutos respecto a la media anual fueron graficados entre W y los parámetros gluten húmedo ( $R^2=0.60$ ), test de Zeleny ( $R^2=0.61$ ) y porcentaje de proteína en grano ( $R^2=0.21$ ) (Figura 3.5 a, b y c, respectivamente). En las dos primeras figuras (Fig. 3.5 a y b), se destaca un agrupamiento de los puntos correspondientes a los cultivares modernos por debajo de la media, que indica una tendencia en la disminución en los parámetros reológicos debido a la presencia de enfermedades. Dicha tendencia no se observa en algunos puntos que corresponden al año 2014 donde no se observa un efecto claro de las enfermedades sobre estos parámetros. En la figura 3.5 c se observa una relación muy débil entre los dos parámetros aunque con patrones similares de agrupamiento de los genotipos. Las Figuras 3.5 d, e y f



**Figura 3.5** Desvíos de valores absolutos respecto a la media de cada año para las relaciones entre a) W Fuerza de la masa y gluten húmedo b) W Fuerza de la masa y Test Zeleny (sedimentación) c) W Fuerza de la masa y contenido de proteína en grano para el grupo de cultivares antiguos (círculos) y modernos (cuadrados) en los tratamientos enfermos (llenos) y el tratamiento control (vacíos). Las sub figuras d, e y f representan los respectivos valores relativos de los tratamientos enfermos respecto de los controles para las mismas variables.

### 3.4 Discusión

#### 3.3.1 Cuantificación de las enfermedades foliares y su impacto sobre el rendimiento y la calidad comercial del cultivo.

En primera instancia y como era de esperarse la presencia de las enfermedades foliares fue de mayor magnitud en el tratamiento que no recibió controles mediante la aplicación de fungicidas, a su vez estas parcelas que fueron denominadas “tratamiento enfermo” no presentaron una alta infección de *P. triticina* en el primer año experimental (2013) debido a las condiciones climáticas que fueron desfavorables para su desarrollo. Sin embargo, patógenos como *Py. tritici* cuyo inóculo se encontraba en el lote experimental prosperó convirtiéndose en el primer año en la enfermedad predominante. Contrariamente en el año 2014 *P. triticina* fue el patógeno predominante, aunque también se registró en simultáneo presencia de *Py. tritici* en magnitudes inferiores. Estas respuestas pueden ser atribuidas a las condiciones climáticas exploradas en cada año y en este sentido autores como Prescott *et al.* (1986); Campbell y Madden (1990) y Wegulo *et al.* (2012) afirman que la presencia, supervivencia y reproducción de las enfermedades en el cultivo de trigo está fuertemente influenciado por las condiciones ambientales que se presentan.

Recientemente Caubel *et al.* (2017), asegura que los aumentos de la epifitia de enfermedades en los últimos años, especialmente en las royas, están fuertemente ligados a las mayores temperaturas que exploran los cultivos de invierno como consecuencia del cambio climático. Las temperaturas promedio a las cuales estuvo expuesto el cultivo durante los dos años fueron de 16°C, sin embargo, durante el periodo crítico en el año 2013 las temperaturas fueron más frescas (entre 8 y 15°C) que en el año 2014 (rangos entre 16 y 18°C). Lo mismo ocurrió durante el llenado de los granos en donde las temperaturas variaron en un rango de 17 a 23°C en el año 2013 y de 17 a 26°C en el año 2014. Los dos años estuvieron acompañados de precipitaciones constantes, con lo cual, los requerimientos de humedad para las dos enfermedades se vieron cubiertos.

En este punto es importante destacar los rangos de temperatura óptimos para cada enfermedad. De los dos patógenos analizados en este capítulo, *P. triticina* es el más exigente en cuanto a requisitos de temperatura óptima que deben estar alrededor de los 20 °C para causar la infección acompañados de periodos de rocío de tres horas o menos, (Chester *et al.*, 1946; Stubbs *et al.*, 1986; Cordo *et al.*, 2014b) cuanto más prolongado sea el periodo de rocío más probabilidades existen de que la tasa de infección aumente. Estos requisitos de temperatura no se presentaron en el año 2013 durante el periodo crítico ya que como se describió en el párrafo anterior las temperaturas oscilaron en rangos inferiores a los requeridos (<16°C), sin embargo, las temperaturas que se presentaron durante el llenado de los granos (< 23°C) permitieron que la roya de la hoja prosperara sin superar la magnitud de las infecciones de mancha amarilla. En este sentido, las temperaturas medias para ocasionar infecciones de *Py. tritici* oscilan entre 15 y 20°C (Summerell *et al.*, 1988; Hosfort *et al.*, 1987), a su vez, presentan un rango más amplio de producción de pseudotecios que se extiende de 10 a 30°C, esta producción de pseudotecios son una de las fuentes principales de inóculo primario, por lo tanto, esta sería la razón por la cual ocurren manifestaciones de mancha amarilla entre campañas, ya que pueden provenir de infecciones de campañas posteriores. Tal como fue indicado anteriormente, las precipitaciones ocurridas en el ciclo cubrieron los requerimientos de 18 horas de rocío (Fernández *et al.*, 1996; Ciuffetti y Tuori 1999), necesarios para el desarrollo de la enfermedad. La temperatura óptima cercana a los 26°C explorada por los cultivos en el año 2014 durante el periodo crítico, permitió un aceleramiento en la tasa de

infección de roya de la hoja durante el llenado de los granos, que superó las infecciones de mancha amarilla.

Si bien, como se concluyó en el párrafo anterior, aunque la predominancia de las enfermedades se dio de acuerdo a las condiciones ambientales exploradas, los cultivares presentaron afinidad a alguno de los patógenos presentes. En este sentido, los cultivares antiguos mostraron un grado de infección de mancha amarilla (ABCPE) mayor que los modernos, a su vez los cultivares modernos mostraron un mayor grado de infección de roya de la hoja independientemente de la predominancia de la enfermedad que se manifestó durante los dos años. Estas respuestas infectivas de mancha amarilla en los cultivares antiguos podrían atribuirse a las condiciones ambientales predisponentes que favorecieron la infección de este patógeno y/o a algún grado diferencial de susceptibilidad a esta enfermedad en este grupo de cultivares.

Como fue reportado en distintos estudios (Shabber y Bokus, 1998; Fernández *et al.*, 2002; Wegulo S, 2012; Cordo *et al.*, 2014 c; Carretero *et al.*, 2009; Sing *et al.*, 2016), las enfermedades foliares en el cultivo de trigo causan un efecto negativo en los rendimientos, en concordancia con las penalizaciones en rendimiento detalladas en el presente capítulo con disminuciones en los rendimientos de hasta -12 % durante los dos años. Esta disminución en el rendimiento se atribuyó exclusivamente al detrimento en el número de granos, ya que el peso de los granos no presentó modificaciones de importancia ante la presencia de enfermedades, aun cuando gran parte de las infecciones se produjeron durante el periodo de llenado de los granos. Cuando el patógeno predominante fue *Py. tritici* el número de granos presentó caídas de hasta un -14 %, mientras que cuando el patógeno predominante fue *P. triticina* las caídas fueron de hasta un -12 %. Estos valores son inferiores a las disminuciones en el rendimiento reportadas por varios autores ante la presencia de estas enfermedades que superan el -22 % (Rees *et al.*, 1982; Carmona *et al.*, 1998; Serrago *et al.*, 2010; Wegulo *et al.*, 2012; Serrago y Miralles., 2014; Fleitas *et al.*, 2018). Sin embargo, otras evidencias descritas en la literatura como por ejemplo Fleitas *et al.* (2017b), infectando el cultivo mediante inoculaciones artificiales de baja concentración de inóculo mostraron que las mermas en el rendimiento fueron de -14 % cuando el cultivo estuvo infectado con *P. triticina* y de 16 % cuando el patógeno predominante fue *Py. tritici*. Del mismo modo, Evans *et al.*, (1999) mostró similares valores de merma en el rendimiento en el cultivo de trigo con inoculaciones de *Py. tritici*.

Esta caída de los rendimientos dada por el detrimento en el número de granos podría estar asociada con la presencia de las enfermedades durante la última etapa del periodo crítico de generación de número de granos (Simón *et al.*, 2002). Si bien, como fue descrito anteriormente (Figura. 3.2) la mayor infección de los patógenos se produjo durante el periodo de llenado, las parcelas correspondientes al tratamiento enfermo se infectaron desde pre anthesis (i.e. periodo crítico) pudiendo determinar reducciones en el número de los granos debido a fallas en el cuaje de las flores previamente formadas. En este sentido Shabeer y Bockus (1988); Castro *et al.* (2016) y Simón *et al.* (2011) reportaron disminuciones en el componente número de granos ante infecciones de patógenos hemibiotróficos y necrotróficos como *Z. tritici* y *Py. tritici* durante el periodo crítico. Es importante remarcar que el cultivo de trigo durante el periodo crítico está limitado por fuente de modo que una restricción en la fuente fotosintética durante dicho periodo afectará el crecimiento de las espigas y como consecuencia reducirá el número de granos establecidos (Fischer, 1985). En el set experimental detallado en este capítulo, no se observaron penalizaciones en el peso de los granos debido a la presencia de las

enfermedades, aun cuando estas aparecieron desde el periodo crítico y continuaron durante el periodo de llenado de granos. Es posible especular que la caída observada en el número de granos (cercana al -16%) producto de la enfermedad haya compensado la demanda de los destinos durante el llenado de los granos no generando cambios en el peso de los mismos, aun cuando el RAA/NG fuera reducido en cerca de un 30% en los tratamientos enfermos respecto de los sanos.

Dentro de los parámetros indicadores de la relación fuente: destino analizados en este capítulo se encuentran la relación entre la biomasa por unidad de área en el momento antes y el número de granos (B/NG), la que no mostró diferencias significativas ante la presencia de las enfermedades. Incluso, se observó una ligera tendencia a aumentar en los cultivos enfermos debido a que la biomasa en el momento antes (fuente) no se redujo ante la presencia de las enfermedades durante el periodo crítico, aunque si se presentaron disminuciones en el número de granos (destinos). Por ello, aun cuando el impacto de las enfermedades en el periodo crítico fue menor que durante el llenado en términos de área bajo la curva, estas pudieron haber afectado el cuaje de los granos y/o la supervivencia de flores fértiles (Miralles *et al.*, 1998) así como de algunas espigas de macollos de órdenes menores que no han logrado sobrevivir como consecuencia de la presencia de enfermedades (Alzueta *et al.*, 2012).

Tal como fue comentado anteriormente, la otra variable utilizada para establecer la relación fuente: destino es la relación RAA/NG, la que en ambos años fue reducida debido a la presencia de enfermedades, aunque el peso de los granos no fue afectado ante la presencia de enfermedades. En este sentido, diversos autores han demostrado que el cultivo de trigo durante el llenado de granos está limitado principalmente por destinos o levemente co-limitado por fuente y por destinos (Borrás *et al.*, 2004) (a diferencia de lo que ocurre durante el periodo crítico), lo que explicaría la falta de respuesta observada en los cultivos enfermos en el peso de los granos. Sin embargo, algunos trabajos en los cuales se provocaron aumentos en la relación fuente: destino mediante el desespiguillado (similar a la disminución del número de granos en este capítulo) durante el llenado de los granos, el peso de los granos aumentó entre el 6 al 15% (Cartelle *et al.*, 2006; Álvaro *et al.*, 2008; Rharrabti *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2010; González *et al.*, 2014), sugiriendo que el cultivo de trigo también está limitado por fuente en algunas situaciones aunque en un grado de magnitud menor que el efecto modificador de la relación fuente: destino.

En el marco de los resultados de esta tesis, la falta de respuesta en el peso de los granos debido a la presencia de enfermedades durante el llenado de granos sugieren que en este set experimental los materiales de trigo utilizados tanto antiguos como modernos están limitados por destinos más que por fuente, aun cuando los cultivares modernos presentaron una relación fuente: destino significativamente menor en comparación con los cultivares antiguos en línea con lo descrito por Álvaro *et al.* (2008). Por otro lado, es importante remarcar que debido a que la presencia de enfermedades redujo el número de granos por unidad de área, dicha reducción pudo haber compensado la falta de respuesta en el peso de los granos. Asimismo, parte de esta compensación pudo estar dada por un aumento en la capacidad fotosintética de otros órganos como espigas y/o pedúnculos que continúan aportando al llenado de los granos cuando los cultivos son afectados por enfermedades foliares, ya que en condiciones donde se ve comprometido el suministro de asimilados el aporte fotosintético de estos tejidos podría aumentar, al igual que en otros tejidos de la planta (Serrago *et al.*, 2011; Carretero *et al.*, 2011; Maydup *et al.*, 2014; Sanchez Bragado *et al.*, 2014).

Las enfermedades afectaron diferencialmente los distintos parámetros de la calidad de los granos. Dado que el peso de los granos no se vio afectado con la presencia de las enfermedades, es esperable que el peso hectolítrico y por ende el porcentaje de extracción presentaran las mismas respuestas ya que ambas variables están vinculadas con el tamaño y la forma de los granos (Dexter *et al.*, 1987; Gooding y Davies, 1997; Posner y Hibbs, 2005; Manley *et al.*, 2009). Sin embargo, la presencia de enfermedades redujo consistentemente en ambos años el contenido de proteína en granos, así como el gluten, de hecho, existe una estrecha asociación entre gluten y proteína (Ralcewicz *et al.*, 2009; Miskelly y Suter, 2017), por lo tanto, es esperable que ante exposiciones a distintos factores que estimulen un cambio en alguno de los parámetros se observen tendencias similares en el otro parámetro (al menos dentro de un mismo genotipo). Los resultados observados en el presente capítulo concuerdan con lo reportado por Matzel *et al.* (2019) quienes observaron reducciones en el contenido de gluten y proteína en los granos de trigo debido a la presencia de enfermedades foliares.

Esta reducción en el contenido de proteína podría estar vinculada al aumento en la tasa de senescencia durante el llenado asociada a la presencia de las enfermedades que redujeron el RAA/NG. De hecho, aun cuando las enfermedades redujeron el denominador de dicha relación (NG), la RAA fue más que proporcionalmente afectada por la presencia de las enfermedades que el NG reduciendo el valor de RAA/NG. Una caída en la RAA/NG sugiere que las enfermedades indujeron a una rápida senescencia foliar del área fotosintéticamente activa afectando negativamente la capacidad de intercepción de radiación absorbida por el área verde y por lo tanto la retranslocación del nitrógeno foliar hacia los granos. De este modo, aun cuando el número de destinos fue reducido, la cantidad de nitrógeno disponible dentro del cultivo para ser translocada a los granos fue insuficiente para poder mantener el status nitrogenado en los granos, ya que existe una estrecha vinculación entre el nitrógeno almacenado en las plantas y la senescencia (Sinclair y De Wit, 1975; Masclaux *et al.*, 2001; Uauy *et al.*, 2006). En este sentido, Carretero *et al.* (2009) y Gooding *et al.* (2000) afirman que las enfermedades necrotóficas causan importantes reducciones en el aparato fotosintético debido a la senescencia de las hojas causada por la necrosis en el tejido foliar. Más aun, en tejidos afectados por enfermedades causadas por patógenos biotróficos, la actividad fotosintética del área sana de hojas infectadas se ve afectada disminuyendo la producción de fotoasimilados (Carretero *et al.*, 2011). Así, la presencia de patógenos biotróficos como *P. triticina* no solo afectan la captura de radiación, sino que también afectan negativamente la eficiencia en el uso de la radiación por el consumo de asimilados.

Pese a que estadísticamente no hubo interacción  $C \times T$ , se observaron reducciones en el contenido de proteína y gluten en los cultivares modernos por el efecto de las enfermedades, que fue mayor a la registrada en los cultivares antiguos en línea con una mayor cantidad de destinos que determinó que la cantidad de nitrógeno disponible por grano fuese menor a medida que se incrementa el número de destinos. De hecho, tal como se indicó en la Figura 3.3 del presente capítulo, se observó una relación negativa entre el contenido de proteína y el rendimiento del cultivo, en línea con lo reportado por Kibite y Evans, (1984); Simmonds, (1995) y Matzen *et al.* (2019), de hecho esta Figura, muestra una relación negativa con un coeficiente más alto  $R^2=0.55$  en los tratamientos afectados por las enfermedades, comparado con el coeficiente de los tratamientos controlados mediante la aplicación de fungicidas  $R^2=0.38$ .

Así el mayor rendimiento en los cultivares modernos determinó una reducción en el contenido de proteína y de gluten que fue mayor que en los materiales antiguos. Por lo

tanto, la reducción en promedio de ambos parámetros en términos proporcionales fue mayor en los cultivares modernos (-15 %) respecto de los antiguos (-9 %) ante la presencia de enfermedades (Tabla 3.3) asociado posiblemente a la mayor cantidad de destinos establecida que determinan un efecto de dilución del contenido de nitrógeno retranslocado a los granos durante el llenado. De este modo, como fue establecido previamente, una rápida senescencia foliar asociada a las enfermedades implica una rápida pérdida de nitrógeno reduciendo la translocación hacia los granos, así, a medida que aumenta la cantidad de destinos (granos) cada uno de ellos recibe una menor cantidad de nitrógeno. De hecho, en la Fig. 3.3 puede verse que para el mismo rango de rendimiento los puntos correspondientes al tratamiento enfermo se ubican por debajo respecto de los correspondientes al control. Distintos estudios muestran que la calidad en los cultivares modernos ha sido reducida cuando se los compara con materiales denominados antiguos. En un estudio realizado en 316 cultivares alemanes liberados entre 1983 y 2014 se muestra que la ganancia genética ha traído consigo aumentos en los rendimientos *ca.* 24 %, sin embargo, estos aumentos dados por el mejoramiento han traído consigo reducciones en el CPG de hasta 8 % (Laidig *et al.*, 2017).

La presencia de distintos tipos de enfermedades foliares puede afectar diferencialmente el contenido de proteína y de gluten. En el presente estudio, la predominancia de mancha amarilla durante el llenado de los granos redujo de manera similar los parámetros de contenido de proteína en harina, parámetros del gluten húmedo y seco e índice de sedimentación Zeleny presentando disminuciones entre -7 y -15 %. Sin embargo, cuando la enfermedad predominante fue roya de la hoja las disminuciones se dieron únicamente en el contenido de proteína en grano disminuyendo *ca.* -5 %, en los demás parámetros que acompañaron la calidad comercial en este experimento no se presentaron modificaciones.

Estos resultados se asemejan a ensayos con inoculaciones de *P. triticina* realizados por Fleitas *et al.* (2018) en donde el CPG mostró valores más bajos *ca.* 9.6 % en parcelas que no fueron tratadas con fungicidas, comparado con los valores que se dieron en parcelas controladas con dos tipos de fungicidas que fueron *ca.* 9.9 y 10.7 %, a su vez, estas respuestas variaron de acuerdo a las distintas dosis de fertilizante que se evaluaron en su interacción con el patógeno. Contrariamente, en cultivares infectados con patógenos hemibiotróficos como *Z. tritici*, y biotróficos como *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* (Syn. *Erisiphe graminis* f. sp. *tritici*), agente causal de oídio del trigo y *P. striiformis* el CPG mostró disminuciones leves pero significativas cuando se aplicaron fungicidas, pasando el CPG de 10.6 % en parcelas controladas a 10.2 % en parcelas infectadas (Matzen *et al.*, 2019). La oferta nitrogenada también modifica la respuesta a las infecciones foliares. Las evidencias de Castro *et al.* (2018) muestran que, en cultivos con limitaciones de nitrógeno, el CPG aumenta cuando se presentan infecciones con *Z. tritici*.

Al realizar correlaciones entre los parámetros de calidad obtenidos se evidenció una relación positiva entre el gluten húmedo y la proteína en grano ( $R^2=0.60$ ) y la relación mostró un coeficiente de correlación más alto ( $R^2=0.84$ ) cuando se relacionaron el gluten húmedo y la proteína en harina. En este sentido, autores como Carson y Ewards, (2009) afirman que tanto el contenido de proteína, como el gluten son factores principales que influyen las propiedades reológicas y de panificación, ya que están estrechamente relacionados entre sí y a su vez se relacionan con parámetros como el índice de sedimentación, el volumen del pan y el tiempo de mezclado obtenido por el mixógrafo (Baik *et al.*, 1994; Yun *et al.*, 1996; Park *et al.*, 2003).

### 3.3.2 Variación de las propiedades viscoelásticas debido a la presencia de enfermedades foliares y genotipos antiguos y modernos.

Las propiedades viscoelásticas han tomado una gran relevancia en los últimos años y se consideran importantes para determinar la aptitud de las harinas y la apertura y mantenimiento de los mercados exigentes (Carson y Edwards 2009; Ktenioudaki *et al.*, 2010). A su vez se ha mostrado un mayor interés no solo en la respuesta de los cultivares a factores abióticos, sino que recientemente se ha enfocado en los factores bióticos (Laidig *et al.*, 2017; Fleitas *et al.*, 2018a, b; Matzen *et al.*, 2019). En términos generales no se presentaron modificaciones estadísticamente significativas en las propiedades viscoelásticas obtenidas de los parámetros del alveograma en los dos años experimentales ante la presencia de las enfermedades foliares. Sin embargo, se destacaron algunas tendencias no significativas: en el año con predominancia de *Py. tritici* se observan tendencias de disminución de *ca.* -8 % en la extensibilidad L (mm) y -16 % en la fuerza del gluten W ( $J \times 10^{-4}$ ). Contrariamente, en el año con predominancia de *P. triticina* no se observan modificaciones destacables ni en los parámetros de calidad comercial ni en los de calidad industrial.

Estos resultados son consecuentes con ensayos realizados por Mc Kendry *et al.* (1995) en cultivos infectados con *Py. tritici*, ya que dicha enfermedad causó reducciones significativas en la calidad de todos los cultivares estudiados siendo más importantes a medida que se registraban aumentos en la severidad, aunque el efecto fue más marcado en los parámetros de calidad comercial que en los parámetros de calidad industrial. Los trabajos de Miranda *et al.*, (2015) mostraron que ante la presencia de patógenos hemibiotróficos como *Magnaphorthe orizae* (anamorfo *Pyricularia orizae*), parámetros del alveograma como la extensibilidad (L) presentan aumentos, mientras que el CPG y el volumen del pan no se vieron afectados, aun ante aumentos de la severidad de esta enfermedad, contrariamente, Martínez *et al.*, (2018) encontraron que el CPG aumento ante infecciones de esta enfermedad. Fleitas *et al.* (2018) trabajando con inoculaciones de *P. triticina* muestran reducciones de parámetros de calidad comercial como CPG y Gluten húmedo, así como de parámetros de calidad industrial alveográficos, farinográficos y de panificación. Castro *et al.* (2016), trabajando con inoculaciones de *Z. tritici* observaron respuestas contradictorias entre parámetros de calidad comercial e industrial. Esta enfermedad causó un aumento en el CPG y esta misma respuesta se dio en parámetros alveográficos como extensibilidad (L) y la fuerza de la masa (W), sin embargo, la tenacidad (P) y la relación P/L de las masas se vio reducida, ante aumentos en la presión de inóculo de esta enfermedad.

Si bien los cultivares modernos mostraron valores más bajos en los parámetros de calidad comercial (e.g. CPG, Gluten) durante los dos años, en los parámetros de calidad industrial los resultados son variables entre grupos de cultivares, aunque se destaca que tanto la elasticidad (L) y la fuerza de la masa (W) mostraron valores inferiores en los cultivares modernos respecto de los antiguos, aunque la tendencia de la fuerza de la masa (W) en el año 2013 no fue significativa. En línea con las respuestas de las propiedades viscoelásticas, no se presentaron modificaciones en el volumen del pan ni ante la presencia de las enfermedades ni entre grupo de cultivares. Sin embargo, entre años se observaron diferencias en los parámetros reológicos siendo el año 2013 de calidad inferior desde el punto de vista reológico que el 2014. A diferencia de lo observado en los resultados de esta tesis, Laidig *et al.* (2017) demuestra que el mejoramiento genético si bien aumentó el rendimiento, redujo la concentración de proteína 8 %, así como el volumen de pan que disminuyó 8.5 %, mientras que parámetros como el Falling number

mostraron aportes en el mejoramiento de la calidad demostrando un aumento de 5.8 % lo que indicaría que la calidad de los almidones aumentó durante los años de liberación. Los estudios de Laidig *et al.* (2017) también demuestran que el mejoramiento incrementó parámetros como el test de sedimentación (8 %), la dureza (13.4 %), la absorción del agua (1.2 %) y el porcentaje de extracción de las harinas (2.4 %). Desde el punto de vista del efecto de las enfermedades foliares otras evidencias de la literatura conduciendo ensayos con inoculaciones de *Z. tritici* (Castro *et al.*, 2016) y *P. triticina* (Fleitas *et al.*, 2018) mostraron que la presencia de las enfermedades foliares redujo el volumen del pan en línea con las reducciones observadas en la fuerza de la masa.

Si bien los resultados de este capítulo demuestran los efectos negativos de las enfermedades foliares sobre los parámetros de calidad comercial (e.g. CPG), éstos no se correlacionan con similares efectos sobre la calidad industrial. De cualquier modo, los resultados de esta tesis demuestran, en línea con otras evidencias de la literatura (Laidig *et al.*, 2017; Matzen *et al.*, 2019), relaciones funcionales positivas y robustas entre los parámetros de calidad comercial e industrial como fuerza de la masa y el gluten húmedo ( $R^2= 0.60$ ), fuerza de la masa e índice de sedimentación ( $R^2= 0.61$ ) y en menor grado fuerza de la masa y el CPG ( $R^2= 0.21$ ). De este modo se puede afirmar que el gluten húmedo y el índice de sedimentación son mejores predictores de las propiedades viscoelásticas de las masas que el CPG. En este sentido, Payne *et al.* (1987), afirman que la calidad panadera del trigo depende de la concentración de proteínas y de la calidad de estas proteínas, a su vez el gluten que está fuertemente asociado al contenido de proteína es considerado el parámetro más influyente en la calidad panadera. Las respuestas de estos parámetros están influenciadas principalmente por el genotipo, aunque también se ha demostrado una fuerte influencia de los factores ambientales (Fullington *et al.*, 1987; Graybosch *et al.*, 1996; Wieser y Seilmeier 1998; Seling, 2010; *et al.*, 2011, Vazquez *et al.*, 2012). En una revisión bibliográfica realizada por Williams *et al.* (2008) se afirma que la concentración de proteínas está más influenciada por el ambiente y la interacción genotipo por ambiente que la calidad de las proteínas, reología de las masas y características del almidón, en donde el efecto del genotipo es el más importante.

En resumen, el efecto de las enfermedades foliares causa reducciones importantes en el rendimiento atribuidas a caídas en el número de granos cuando las enfermedades se presentan en el periodo crítico. El peso de los granos en este experimento no presentó modificaciones, aunque la relación fuente: destino disminuyó ante la presencia de las enfermedades durante el llenado de granos, el peso de los granos pudo haberse mantenido por un efecto compensatorio en la fuente fotosintética por órganos como espigas y/o pedúnculos. A su vez se observó una menor relación fuente: destino en los cultivares modernos comparado con los cultivares antiguos. En cuanto a la calidad comercial, solo se observaron disminuciones en el contenido de proteína en grano, contenido de proteína en harina, gluten húmedo y seco, así como en el test de sedimentación zeleny en el año 2013 donde se manifestaron predominancias durante el llenado de los granos del patógeno *Py. tritici*, en tanto que en el año 2014 cuando el patógeno predominante fue *P. triticina*, el único parámetro que mostró disminuciones significativas fue el contenido de proteína en grano. Los parámetros de los cultivares modernos presentaron mayores tendencias de disminución que los cultivares antiguos ante la presencia de las enfermedades foliares. La calidad industrial analizada mediante las propiedades viscoelásticas del alveograma no presentó modificaciones ante la presencia de las enfermedades foliares, sin embargo, una tendencia a disminuir se observó en la extensibilidad y fuerza de la masa en el año 2013 cuando el patógeno predominante fue *Py. tritici*. La panificación y el índice de caída

no mostraron modificaciones ante la presencia de las enfermedades y no se presentaron diferencias destacables entre cultivares en la calidad industrial.

**Cambios en la calidad comercial e industrial del trigo pan (*Triticum aestivum* L)  
expuesto a condiciones ambientales contrastantes ante la presencia de  
enfermedades biotróficas (Roya del tallo) y hemibiotróficas (Septoriosis de la hoja)**

## 4.1 Introducción

En capítulos anteriores se detalló la necesidad de reducir la brecha entre el rendimiento potencial y el alcanzable para mejorar la productividad, sin embargo, la presencia de factores bióticos como las enfermedades foliares reducen la posibilidad de alcanzar el rendimiento objetivo (Rabbinge, 1993). Por otra parte, el aumento de los rendimientos debido a mejoras genéticas en el potencial de rendimiento ha traído en algunos casos mejoras en la tolerancia a enfermedades foliares (Reynolds y Borlaug, 2006), sin embargo, algunos de los cultivares comerciales utilizados actualmente en Argentina con buenos potenciales de rendimiento, presentan alta susceptibilidad a distintas enfermedades, causadas por patógenos biotróficos como *P. graminis* y hemibiotróficos como *Z. tritici* (Imvinkelried., 2014; Alberione *et al.*, 2015). Por ello, si bien los cultivares modernos utilizados actualmente en Argentina pueden alcanzar rendimientos importantes, la presencia de las enfermedades debido a la susceptibilidad y el acompañamiento de condiciones ambientales que estimulen el proceso de infecciones disminuyen la posibilidad de alcanzar estos rendimientos.

Dentro de los cultivares utilizados actualmente por los productores en Argentina, se encuentra el cultivar Baguette 601. Estudios recientes realizados por el instituto nacional de tecnología agropecuaria INTA sede Marcos Juárez, mostraron un promedio de la producción del año 2018 en diferentes localidades de 4871 kg/ha, llegando a alcanzar hasta 6228 kg/ha en una de estas localidades. Además, este cultivar responde positivamente a la fertilización nitrogenada alcanzando altos potenciales de rendimiento y manteniendo una estabilidad en el contenido de proteína en grano expresando hasta un 13% en óptimas condiciones (Fraschina *et al.*, 2018). Este cultivar se encuentra clasificado dentro del grupo 2, por lo tanto, es apto para panificación tradicional con más de 8 horas de fermentación, esta clasificación se ha mantenido desde su liberación al mercado argentino hasta la fecha (INASE, 2019). Sin embargo, su potencialidad se ve perjudicada debido a la susceptibilidad que presenta a las enfermedades foliares. La información sanitaria de las últimas campañas (2016-2017) revela una importante susceptibilidad a *P. graminis*, *P. triticina* y *P. striiformis*, mostrando una moderada susceptibilidad a *Py. tritici* y una moderada resistencia a *Z. tritici* y *F. graminearum* (Bainotti *et al.*, 2018), no obstante, estas clasificaciones de susceptibilidad y resistencia en el cultivar Baguette 601 han mostrado variaciones entre las últimas campañas (Alberione *et al.*, 2015; Bainotti *et al.*, 2018), sin embargo, entre todos los años registrados se mantiene destacada una alta susceptibilidad a *P. graminis*.

La roya negra o roya del tallo causada por el patógeno *P. graminis* es una enfermedad con hábito nutricional biotrófico catalogada como una de las enfermedades más destructivas a nivel mundial (Gilligan *et al.*, 2018) causando un gran impacto económico por disminuciones en los rendimientos de hasta un 70 %, dependiendo de la susceptibilidad del cultivar y del ambiente. Enfermedades causadas por patógenos necrotrofos como *Z. tritici* se extienden particularmente en las provincias de Córdoba y Buenos Aires, causando disminuciones entre un 17 y 50 %, dependiendo del estado fenológico y el grado de ataque en el que ocurre la infección (Cordo *et al.*, 2014 c). En el Informe institucional de la calidad de trigo argentino campañas 2016-2017 y Hovmøller *et al.*, (2018) informan que se registraron epifitias de roya del tallo en el sur de Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos y norte y sur de Buenos Aires y durante los años 2016 y 2017. Pese a que esta enfermedad se mantuvo constante durante los dos años, la enfermedad protagonista durante el año 2017 fue roya amarilla, con lo cual las condiciones

ambientales sumado a el uso de cultivares susceptibles han mostrado un favorecimiento al desarrollo de estas enfermedades.

Diversos estudios han confirmado que estas enfermedades producen alteraciones en el contenido de proteína, en este sentido, enfermedades causadas por patógenos biotróficos como las royas y dentro de ellas *P. graminis* han causado disminuciones en el contenido de proteína (Petturson y Newton, 1939; Greaney, 1941; Keed y White, 1971; Park *et al.*, 1988; Simón *et al.*, 2012; Devadas *et al.*, 2014; Fleitas *et al.*, 2018b). Contrariamente la roya amarilla, presentó resultados contradictorios en donde la enfermedad aumenta el contenido de proteína (Aktaş y Zercirci, 2016) o no presenta modificaciones (Buendía-Ayala *et al.*, 2019), los aumentos en el contenido de proteína también se han registrado ante la presencia de *Z. tritici* (Rees *et al.*, 1982; Clare *et al.*, 1993; Gooding *et al.*, 1994; Ruske *et al.*, 2001; Blandino y Beynery 2009; Castro y Simón, 2017). En cuanto a las propiedades viscoelásticas de las masas, no se han encontrado estudios acerca de las modificaciones que ocasionan patógenos como *P. graminis*, sin embargo, recientemente investigadores como Fleitas *et al.*, 2018b han demostrado que patógenos biotróficos como *P. triticina* ocasionan disminuciones en todos los parámetros alveográficos incluyendo el volumen del pan. Por otro lado, se han estudiado las respuestas en los parámetros alveográficos y farinográficos que han mostrado respuestas ambivalentes en estos parámetros, destacándose aumentos en la fuerza de la masa y en el volumen del pan (Fleitas *et al.*, 2017; Castro y Simón 2017; Castro *et al.*, 2018).

En este capítulo se tratará de dilucidar la dinámica de las enfermedades en distintos ambientes y como éstas afectan los rendimientos y los parámetros de calidad comercial y calidad industrial mediante análisis de propiedades viscoelásticas o reológicas de las masas de acuerdo al grado de infección que presente durante el llenado de los granos en un cultivar utilizado actualmente en Argentina con un alto potencial de rendimiento clasificado como grupo de calidad 2.

## 4.2 Materiales y Métodos

Se realizaron experimentos en los años 2016 y 2017 en el campo experimental del Departamento de Producción Vegetal de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (34°35'S, 58°29'O). Los cultivos se establecieron bajo condiciones potenciales de riego y fertilización ya que se realizó la adaptación de un sistema de riego por goteo y se cubrieron los requerimientos de fertilización que fueron realizados en dos momentos del ciclo del cultivo con las siguientes dosis: 80 Kg de fosfato diamónico en la siembra y 100 Kg N ha<sup>-1</sup> en el estado de macollaje (Z 25) (Zadoks *et al.*, 1974), las parcelas fueron protegidas de otros factores bióticos mediante aplicaciones de plaguicidas para el control de plagas y malezas. Con el objetivo de explorar el comportamiento de roya del tallo en distintos ambientes se realizaron en el año 2016 cuatro fechas de siembra: 2 de mayo, 2 de junio (Fechas tempranas) y 11 de agosto y 26 de septiembre (Fechas tardías). En las fechas de siembra tempranas las condiciones ambientales fueron predisponentes para promover septoriosis debido al inóculo existente de campañas anteriores. Si bien se intentaron promover infecciones *P. graminis* mediante inoculaciones acompañadas de periodos de rocío artificial las condiciones ambientales (bajas temperaturas) no permitieron la evolución de la enfermedad en el cultivo. En el año 2017 se realizaron dos fechas de siembra tardías el 20 de julio y el 18 de agosto con el objetivo de promover la infección de *P. graminis*.

A lo largo de este capítulo los resultados se presentarán indicando las fechas de siembra de la siguiente manera: Temprana I y Temprana II correspondiente a la fecha de

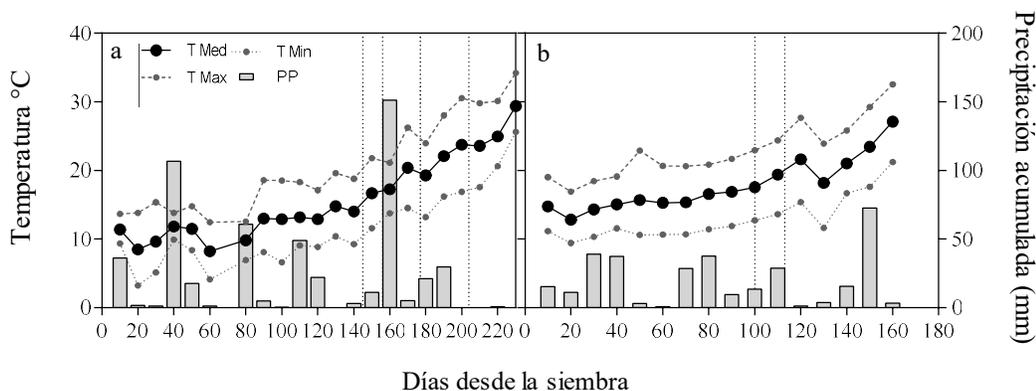
siembra realizada en mayo y junio de 2016 Las fechas de siembra tardías se denominarán: Tardía I para fechas de agosto de 2016 y julio de 2017 y Tardía II para fechas de septiembre de 2016 y agosto de 2017. Dentro de cada fecha de siembra el diseño experimental fue completamente aleatorizado (DCA) conformado por dos tratamientos: tratamiento control (C) y tratamiento enfermo (E) con distintas repeticiones por tratamiento correspondiente a cada fecha de siembra. Se seleccionó para este experimento el cultivar Baguette 601 ya que actualmente es uno de los materiales más utilizados por los productores en la Argentina, debido a los altos rendimientos que posee, a su vez, se clasifica dentro del grupo de calidad 2: este grupo de calidad es el que Argentina produce en la actualidad (<https://www.trigoargentino.com.ar>, “Mapa de calidad”) y presenta una alta susceptibilidad a *P. graminis* y media o baja susceptibilidad a otras enfermedades.

Las parcelas fueron sembradas con sembradora experimental de conos de 7 surcos, con un distanciamiento entre hileras de 17.5 cm, y una densidad de siembra de 300 semillas/m<sup>2</sup>. A lo largo del ciclo del cultivo se siguió la dinámica de las enfermedades tanto en hojas como en tallo (Ver Capítulo 2) caracterizando la severidad y la incidencia, así como el área bajo la curva de la enfermedad. A comparación de los experimentos detallados en los capítulos 3 y 5, en este experimento se realizó un seguimiento más detallado de las enfermedades ya que se seleccionaron siete vástagos principales dentro de cada parcela enferma que fueron identificados previo a la primera inoculación, esta identificación permitió observar con detalle la evolución de cada enfermedad, de tal manera que se pudo cuantificar las predominancias a nivel foliar, la infección a nivel del tallo y las infecciones a nivel de espiga. Durante el llenado de los granos se tomaron muestreos de 50 cm lineales de biomasa del tallo en tres momentos: 10 días después de antesis, 25 días después de antesis, y madurez fisiológica, estas muestras fueron pesadas y molidas para determinación de carbohidratos solubles mediante el método de (Yemm y Willys, 1954), no obstante, en la fecha de siembra tardía II-2016 se exceptuó el muestreo a los 25 días después de antesis. La descripción de los tratamientos, el seguimiento de las enfermedades y metodologías de exploración del ambiente se encuentran en el Capítulo 2.

## **4.3 Resultados**

### **4.3.1 Condiciones meteorológicas**

Las condiciones meteorológicas exploradas durante los dos años experimentales 2016 y 2017 para las distintas fechas de siembra se encuentran detalladas en la Figura 4.1. En ésta se observa que las temperaturas medias alrededor de antesis (Figura 4.1 a) en las fechas de siembra tempranas durante 2016 fluctuaron entre 13 y 16°C, y en las fechas de siembra tardías se exploraron rangos más altos de temperatura entre 17 y 25°C. Durante el llenado de granos las temperaturas ascendieron entre 25 y 30°C. En el año 2017 (Figura 4.1 b) las temperaturas alrededor de antesis para las dos fechas de siembra fluctuaron entre 15 y 23°C mientras que, durante el llenado se exploraron temperaturas similares a las registradas en el año 2016 es decir de entre 20 y 28°C.



**Figura 4.1** Condiciones meteorológicas de los experimentos realizados en FAUBA durante los años 2016 (a) y 2017 (b). Las barras representan las precipitaciones acumuladas (diez días). Las temperaturas se encuentran representadas como el promedio de diez días de las temperaturas mínimas (---●---), medias (---●---) y máximas (---●---). Las líneas punteadas verticales indican el momento anthesis en cada fecha de siembra, particularmente para el experimento realizado en el año 2016 las dos primeras líneas hacen referencia al momento anthesis de las fechas de siembra tempranas y las dos últimas líneas al momento anthesis de las fechas tardías.

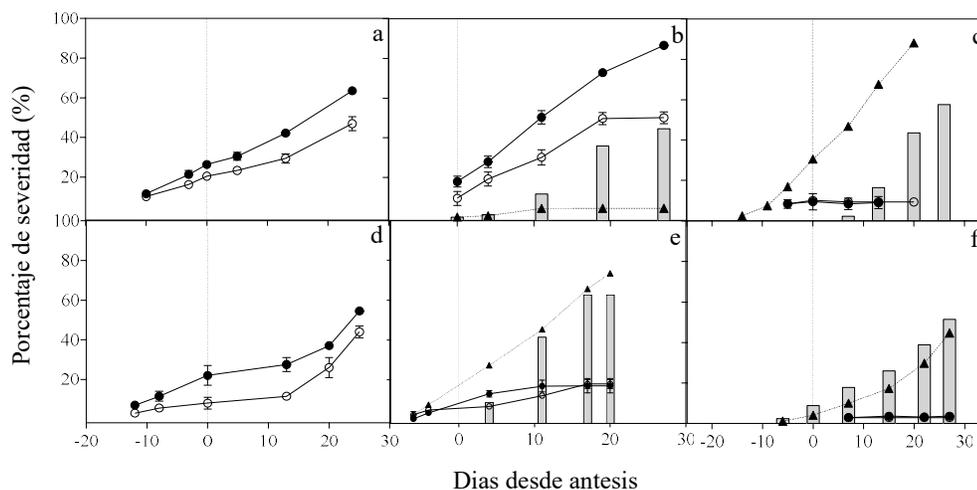
En relación a las precipitaciones, el año 2016 fue más húmedo en el momento de ocurrencia de la anthesis ya que se registraron precipitaciones diarias de ca 30 mm mientras que el 2017 fue un año más seco con menores precipitaciones alrededor de la floración, de cualquier manera, es importante remarcar que ambos ensayos fueron conducidos bajo condiciones de riego.

#### 4.3.2 Evolución de las enfermedades durante el llenado de los granos

La dinámica de la evolución de las enfermedades fue diferente para cada fecha de siembra expresándose de acuerdo a los niveles de infección de cada una de las enfermedades y se encuentra detallada en la Figura 4.2. Los valores resultantes de esta dinámica expresados mediante el ABCPE se detallan en el Cuadro 4.1 y particularmente para el caso de *P. graminis* se detalla el ABCPE no solo a nivel foliar sino también en los tallos. Pese a las inoculaciones realizadas con esporas de *P. graminis* en las fechas de siembra tempranas, la enfermedad no pudo progresar debido a las condiciones ambientales que no fueron predisponentes para la infección. Sin embargo, las condiciones ambientales favorecieron el progreso de patógenos como *Z. tritici*, que como se mencionó con anterioridad el inóculo se encontraba en el lote experimental. Las temperaturas registradas en las fechas tempranas oscilaron entre 13 y 16° C acompañadas de precipitaciones constantes que alcanzaron los 150 mm, favoreciendo las condiciones ambientales para la infección de esta enfermedad hemibiotrófica (Figura 4.2 a y d).

Durante los dos años en el tratamiento C de todas las fechas de siembra se dieron infecciones de *Z. tritici*, sin embargo, se presentaron en menores magnitudes en comparación al tratamiento E. En las fechas de siembra tempranas I y II-2016 el tratamiento E mostró valores de ABCPE +55 y +63 % respectivamente, más altos que el tratamiento C (Cuadro 4.1), en donde solo hubo presencia de *Z. tritici*. La presencia de *P. graminis* se vio favorecida en las fechas tardías durante los dos años, debido a las condiciones ambientales predisponentes ya que durante estas fechas se exploraron temperaturas medias de hasta 25°C durante el llenado de los granos (Tardía I) y en etapas

previas al llenado de los granos (Tardía II) las que fueron acompañados de precipitaciones intermitentes que alcanzaron hasta 40 mm.



**Figura 4.2** Dinámica de la evolución de enfermedades durante el ciclo del cultivo en el cultivar Baguette 601 para los tratamientos: enfermo (E) símbolos llenos y Control (C) símbolos vacíos. Los círculos representan a *Zymoseptoria tritici*, los triángulos representan a *Puccinia graminis* en órganos foliares y las barras a *P. graminis* en el tallo. Las fechas de siembra tempranas del año 2016 sembradas en mayo (Temprana I) y en junio (Temprana II) corresponden a las figuras a y d respectivamente, las fechas de siembra tardías del año 2016 sembradas en agosto (Tardía I) y septiembre (Tardía II) corresponden a las figuras b y e respectivamente. Las fechas de siembra tardías del año 2017 sembradas en julio (Tardía I) y agosto (Tardía II) corresponden a las figuras c y f respectivamente.

La dinámica de las enfermedades fue variable, presentándose en distintas magnitudes y momentos durante el ciclo del cultivo, en el caso de la fecha de siembra Tardía I-2016 (Figura 4.2 b), septoriosis de la hoja manifestó más tempranamente que *P. graminis* abarcando un 96 % del total de las enfermedades en el tratamiento E. En las demás fechas de siembra tardías (II-2016 y las del año 2017), la predominancia a nivel foliar en este tratamiento fue para roya del tallo ya que de la totalidad de las enfermedades abarcó entre un 77 y 90 %.

**Cuadro 4.1** Medias del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) cuantificada para órganos foliares y el tallo para septoriosis (Hemi) y roya del tallo (Bio) en el cultivar Baguette 601 correspondiente a las fechas de siembra: Temprana I (Mayo 2016), Temprana II (Junio 2016), Tardía I (Agosto 2016 y Julio 2017), Tardía II (Septiembre 2016 y Agosto 2017) para los *Tratamientos* de enfermedad Control (C) y Enfermos (E). Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$  \*.

Comparación de medias	Año 2016					Año 2017				
	ABCPE Hemi foliar	ABCPE Bio foliar	ABCPE foliar total	ABCPE Bio en tallo	ABCPE foliar total + Bio tallo	ABCPE Hemi foliar	ABCPE Bio foliar	ABCPE foliar total	ABCPE Bio en tallo	ABCPE foliar total + Bio tallo
<b>Siembra temprana I</b>										
Control (C)	771 b	-	771 b	-	-	-	-	-	-	-
Enfermo (E)	1199 a	-	1199 a	-	-	-	-	-	-	-
<b>Siembra temprana II</b>										
Control (C)	889 b	-	889 b	-	-	-	-	-	-	-
Enfermo (E)	1447 a	-	1447 a	-	-	-	-	-	-	-
<b>Siembra tardía I</b>										
Control (C)	550 b	0 b	550 b	0 b	550 b	65 b	0 b	65 b	0 b	65 b
Enfermo (E)	1497 a	51 a	1548 a	524 a	2072 a	160 a	1352 a	1512 a	571 a	2083 a
<b>Siembra tardía II</b>										
Control (C)	209 a	0 b	209 b	0 b	209 b	60 a	0 b	60 b	0 b	60 b
Enfermo (E)	275 a	944 a	1219 a	487 a	1706 a	67 a	526 a	593 a	757 a	1350 a
<i>Siembra temprana I</i>	**	-	**	-	-	-	-	-	-	-
<i>Siembra temprana II</i>	**	-	**	-	-	-	-	-	-	-
<i>Siembra tardía I</i>	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
<i>Siembra tardía II</i>	n.s.	**	**	**	**	n.s.	**	**	**	**

Durante los dos años para todas las fechas de siembra, las enfermedades tanto a nivel foliar como del tallo detalladas en el cuadro 4.1 muestran diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con excepciones en el ABCPE hemibiotrófica a nivel foliar en la siembra tardía II que no mostró diferencias significativas en ambos años. En el tratamiento C la enfermedad que estuvo presente fue septoriosis, aunque en magnitudes inferiores a las presentadas en el tratamiento E, sin embargo, a medida que transcurren las fechas de siembra la presencia de esta enfermedad es mucho menor, pasando de valores de ABCPE de 889 (temprana I-2016) a valores de 60 (tardía II-2017). Como se mencionó anteriormente, en la fecha de siembra tardía II-2016 y las dos tardías del 2017 (I y II-2017) la predominancia de las enfermedades a nivel foliar fue para roya del tallo, en el caso específico de la fecha de siembra tardía II-2017, la predominancia de roya del tallo fue más alta a nivel de tallo (+57 %) que el conjunto de enfermedades a nivel foliar (+43 %). La fecha que presentó mayor ABCPE de enfermedades (ABCPE foliar total + bio tallo) cuando ocurrieron infecciones de *P. graminis* fue la fecha tardía I-2017 (2083) seguida de la tardía I-2016 (2072) y la que mostró el valor más bajo fue la fecha tardía II-2017 (1350), sin embargo, dentro de todas las fechas, la fecha de siembra temprana I fue la que registró los valores más bajos (1199) que manifestó infecciones de *Z. tritici*.

Las infecciones de *P. graminis* fueron variables en las distintas fechas de siembra (Figura 4.2) modificando su interacción con el hospedante iniciando infecciones a nivel foliar y/o a nivel del tallo. Cuando las infecciones de *Z. tritici* se manifestaron tempranamente en el cultivo (tardía I-2016), *P. graminis* inició infecciones a nivel foliar

más tardíamente durante el llenado de los granos que no superaron el 20 % de severidad durante todo el ciclo del cultivo, a los 20 días después de antesis alcanzó porcentajes de infección en el tallo cercanos al 40 % mientras que *Z. tritici* por su parte alcanzó las infecciones predominantes cercanas al 90 %. En la fecha tardía II-2016 *P. graminis* inició sus infecciones a nivel foliar en etapas previas a la antesis superando el 40 % de severidad luego de los 10 días después de antesis, a partir de este momento la infección transcurrió de la misma manera a nivel foliar y en el tallo alcanzando niveles de infección cercanos al 80 %. En la fecha de siembra tardía I-2017 la manifestación de *P. graminis* fue muy importante a nivel foliar ya que inició infecciones en estos órganos previo al inicio del periodo crítico superando el 40 % de severidad a los 10 días después de antesis llegando a porcentajes cercanos al 90 % de severidad a los 20 días después de antesis y superando el 40 % de severidad en el tallo. Finalmente, la fecha de siembra tardía II-2017 inició infecciones en el tallo y simultáneamente se dispersó en las hojas superando el 40 % de severidad a los 20 días después de antesis y la infección se dio de manera explosiva en los dos órganos después de su infección en los tallos.

#### **4.3.3 Distribución de las enfermedades en el canopeo, en el tallo y las espigas**

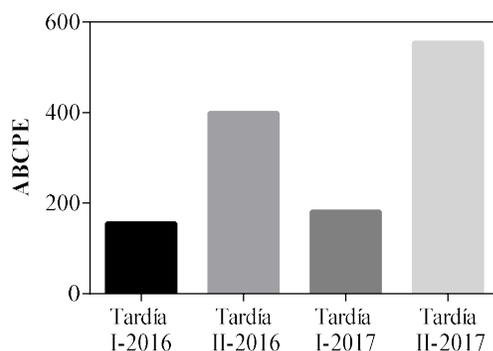
La distribución de las enfermedades a nivel de estratos foliares y del tallo representada en promedios de ABCPE se detallan en la figura 4.3. Las fechas de siembra que mostraron infecciones de septoriosis, presentaron una distribución ascendente en donde las mayores infecciones ocurrieron en los estratos inferiores a partir de la HB-3 que alcanzó valores de ABCPE entre 1321 y 1921 en las fechas de siembra temprana I y II -2016 respectivamente (Figura 4.3 a y b), los valores fueron reduciéndose en los estratos superiores, esta tendencia se observó en todas las fechas de siembra donde hubo presencia de esta enfermedad mostrando los valores más altos en la HB-2 y HB-3. Esta misma distribución se observó en la fecha de siembra tardía I-2016 (Figura 4.3 c y d) en donde la enfermedad predominante a nivel foliar fue septoriosis, sin embargo, se detalla que la distribución de roya del tallo dependió en gran parte del área foliar remanente después de la infección de septoriosis ya que en esta fecha de siembra las infecciones de *P. graminis*, se iniciaron tardíamente durante el llenado de los granos y por lo tanto *Z. tritici* que mostró una infección temprana registró valores de ABCPE de 2348 en la HB-3, manteniendo valores altos en los estratos superiores entre 1068 a 1389 en donde la presencia de roya del tallo fue prácticamente nula. Sin embargo, cuando la roya del tallo fue predominante con infecciones más tempranas a partir del periodo crítico la distribución fue uniforme en todos los estratos (Figura 4.3 g). Similar respuesta se observó en septoriosis, pero con valores inferiores (Figura 4.3 f).



**Figura 4.3** Distribución de las enfermedades en el tratamiento (E) en las fechas de siembra temprana I y II-2016 (a y b) Tardía I-2016 (c, d, e), Tardía II-2016 (f, g, h), Tardía I-2017 (i, j, k), Tardía II-2017 (l, m, n) para roya del tallo en los estratos superior, medio e inferior del tallo (ABCPE biotrófica tallo) y la distribución a nivel foliar en hoja bandera HB, segunda hoja HB-1, tercer hoja HB -2 y cuarta hoja HB-3 para roya del tallo (ABCPE foliar biotrófica) y septoriosis (ABCPE foliar hemibiotrófica)

Las fechas de siembra tardías del año 2017 mostraron distinto patrón de distribución (Figura 4.3 n y m) ya que en la fecha tardía I-2017 las mayores infecciones de roya del tallo, se presentaron en los estratos inferiores disminuyendo a medida que ascendía hasta presentar valores más bajos en la HB (716) (Figura 4.3 j). mientras que septoriosis mostró un patrón uniforme de distribución de la enfermedad a lo largo de los estratos (Figura 4.3 i), esto debido a la disponibilidad de área foliar remanente luego de la infección y dispersión de roya del tallo. En la fecha de siembra II-2017 la distribución de roya del

tallo fue similar en todos los estratos a nivel foliar, al igual que septoria que mostró valores sustancialmente menores (Figura 4.3 l y m). De acuerdo a lo observado en campo, en esta fecha de siembra las infecciones de roya del tallo iniciaron a nivel foliar, primero infectando los estratos medios del tallo y distribuyéndose rápidamente a los estratos superiores en donde las infecciones aumentaron rápidamente, por esta razón los resultados muestran valores superiores en estos dos estratos comparado con las demás fechas de siembra (Figura 4.3 “ABCPE biotrófica tallo”).



**Figura 4.4** ABCPE de roya del tallo en la espiga del tratamiento (E) en las fechas de siembra tardía I-2016, tardía II-2016, tardía I-2017 y tardía II-2017, el tratamiento (C) no presentó infecciones de esta enfermedad, por lo tanto no se encuentra representado gráficamente.

La dinámica obtenida del porcentaje de infección de roya del tallo en las espigas fue cuantificada mediante el ABCPE (Figura 4.4), en las parcelas del tratamiento (E), ya que como anteriormente se describió esta enfermedad no se manifestó en el tratamiento (C) y por esta razón las diferencias entre estos dos tratamientos fueron significativas ( $P < 0.05$ ) (datos no mostrados). La roya del tallo, logró causar infecciones en las espigas de todas las fechas de siembra tardías, sin embargo, las infecciones fueron más altas cuando las condiciones ambientales mostraron mayores temperaturas (i.e. Tardía II en ambos años) (Fig. 4.4).

#### 4.3.4 Efecto de las enfermedades foliares y del tallo en el rendimiento y sus componentes

El efecto de las enfermedades foliares en el rendimiento y sus componentes que se presentaron en cada una de las fechas de siembra durante los dos años, se encuentran en el Cuadro 4.2. Las respuestas de los rendimientos y componentes ante la presencia individual de *Z. tritici* no mostraron diferencias significativas en la fecha de siembra temprana I-2016, sin embargo, en la fecha de siembra temprana II-2016 se observan reducciones significativas ( $P < 0.10$ ) en el número de granos (-13 %) que causaron disminuciones de hasta un -16 % en el rendimiento, que no mostró diferencias significativas, ya que el componente peso de los granos no presentó diferencias significativas en ninguna de las dos fechas de siembra.

En las fechas de siembra donde hubo presencia de *P. graminis*, se observan disminuciones en el rendimiento que van desde un -23 % a un -66 % respecto del tratamiento C. La fecha de siembra tardía II-2016 fue la que presentó mayores reducciones significativas ( $P < 0.05$ ) en el rendimiento (-66 %) debido a una caída fundamentalmente en el número de granos (-46 %) acompañada de disminuciones en el peso de los granos (-27 %). La fecha de siembra tardía II-2017 también mostró disminuciones significativas en el rendimiento (-50 %) aunque asociadas principalmente

a disminuciones significativas en el peso de los granos (-33 %) y en menor medida en el número de granos (-14 %) que no mostró diferencias significativas. La fecha de siembra tardía I-2016 con presencia de *P. graminis* y predominancia a nivel foliar de *Z. tritici* mostró menores reducciones en los rendimientos (-23 %), comparadas con las fechas de siembra tardías anteriormente detalladas, y fueron atribuidas a tanto caídas en el número como en el peso de los granos ya que ambos fueron reducidos *ca* -13 % aunque solo el peso promedio de los granos registro una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en términos estadísticos (Cuadro 4.2).

**Cuadro 4.2** Medias de los rendimientos y componentes del cultivar Baguette 601, correspondiente a las fechas de siembra: Temprana I (Mayo 2016), Temprana II (Junio 2016), Tardía I (Agosto 2016 y Julio 2017), Tardía II (Septiembre 2016 y Agosto 2017) para los *Tratamientos* de enfermedad Control (C) y Enfermos (E). Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$  \*.

Comparación de medias	Año 2016			Año 2017		
	Rn (gm <sup>-2</sup> )	NG (m <sup>-2</sup> )	PG (mg)	Rn (gm <sup>-2</sup> )	NG (m <sup>-2</sup> )	PG (mg)
<i>Temprana I</i>						
Control (C)	712 a	18269 a	38,4 a	-	-	-
Enfermo (E)	657 a	17299 a	39,0 a	-	-	-
<i>Temprana II</i>						
Control (C)	815 a	20723 a	39,2 a	-	-	-
Enfermo (E)	687 a	18061 b	38,0 a	-	-	-
<i>Tardía I</i>						
Control (C)	690 a	19100 a	36,3 a	880 a	23158 a	38,0 a
Enfermo (E)	533 b	16867 a	31,5 b	495 b	18975 b	26,2 b
<i>Tardía II</i>						
Control (C)	457 a	16806 a	23,3 a	703 a	21164 a	33,2 a
Enfermo (E)	153 b	9077 b	17,1 b	403 b	18245 a	22,2 b
<i>Diferencias significativas</i>						
<i>Siembra temprana I</i>	n.s.	n.s.	n.s.	-	-	-
<i>Siembra temprana II</i>	n.s.	*	n.s.	-	-	-
<i>Siembra tardía I</i>	*	n.s.	**	**	**	**
<i>Siembra tardía II</i>	**	**	**	**	n.s.	**

#### 4.3.5 Acumulación de Carbohidratos solubles en tallo durante el ciclo del cultivo ante la presencia de *Z. tritici* y *P. graminis*

La acumulación de CHOs solubles en tallo se encuentra detallada en el cuadro 4.3. tomada en tres momentos durante el ciclo de llenado de granos: a los diez días después de anthesis (Ant+10), veinticinco días después de anthesis (Ant+25) y Madurez fisiológica (Mad) para los tratamientos control y enfermo.

**Cuadro 4.3** Medias de CHOs ( $\text{g/m}^2$ ) en tres momentos durante el ciclo del cultivo: diez días después de Antesis (Ant+10), veinticinco días después de Antesis (Ant+25) y madurez fisiológica (Mad) del cultivar Baguette 601, correspondiente a las fechas de siembra: Temprana I (Mayo 2016), Temprana II (Junio 2016), Tardía I (Agosto 2016 y Julio 2017), Tardía II (Septiembre 2016 y Agosto 2017) para los *Tratamientos* de enfermedad Control (C) y Enfermos (E). Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$  \*.

Comparación de medias	Año 2016			Año 2017		
	CHOS A+10	CHOS A+25	CHOS Madurez	CHOS A+10	CHOS A+25	CHOS Madurez
<i>Siembra temprana I</i>						
Control (C)	59,0 a	65,6 a	7,8 a	-	-	-
Enfermo (E)	53,5 a	67,2 a	7,1 a	-	-	-
<i>Siembra temprana II</i>						
Control (C)	93,8 a	84,6 a	5,11 a	-	-	-
Enfermo (E)	148,0 a	81,0 a	5,8 a	-	-	-
<i>Siembra tardía I</i>						
Control (C)	60,5 a	76,6 a	7,7 a	83,8 a	80,9 a	14,1 a
Enfermo (E)	62,0 a	71,5 a	5,1 a	82,9 a	36,9 b	12,0 a
<i>Siembra tardía II</i>						
Control (C)	41,7 a	-	5,7 a	62,5 a	57,7 a	12,5 a
Enfermo (E)	29,6 b	-	2,4 b	27,4 b	20,0 b	7,1 b
<i>Diferencias significativas</i>						
<i>Siembra temprana I</i>	n.s.	n.s.	n.s.	-	-	-
<i>Siembra temprana II</i>	n.s.	n.s.	n.s.	-	-	-
<i>Siembra tardía I</i>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.
<i>Siembra tardía II</i>	**	-	**	**	**	**

Las fechas de siembra tempranas con presencia de *Z. tritici* no presentaron diferencias significativas, sin embargo, se observan tendencias con porcentajes destacables de disminución de CHOs, a los 10 días después de antesis (Ant+10) en la fecha temprana II-2016 se presentaron reducciones del -15 % (Cuadro 4.3). Las fechas de siembra tardías con presencia de *P. graminis* muestran diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el contenido de CHOs en distintos momentos durante el llenado de los granos, excepto en la fecha de siembra tardía I-2016 que no mostró diferencias significativas y tardía I-2017 que no mostró diferencias significativas en la acumulación de CHOs a los diez días después de antesis y madurez fisiológica. No obstante, en la fecha de siembra (tardía I-2016), con predominancia a nivel foliar de *Z. tritici* y presencia de *P. graminis* en momentos más tardíos durante el llenado de los granos, se observaron tendencias de disminución de -7 % a los veinticinco días después de antesis y de -33 % en la madurez fisiológica, mientras

que, la fecha de siembra tardía I-2017 (con predominancia de *P. graminis*) mostró diferencias significativas a los veinticinco días después de antesis con disminuciones del -54 %.

Las fechas de siembra tardía II con predominancia de *P. graminis* (Cuadro 4.3), presentaron reducciones significativas ( $P < 0.05$ ), en el caso de la fecha de siembra tardía II-2016 las disminuciones de CHOs fueron de -29 % a los 10 días después de antesis y de -58 % en madurez fisiológica en ambos años y para la fecha de siembra tardía II-2017 las disminuciones se dieron entre -43 a -65 % mostrando las más altas disminuciones a los veinticinco días después de antesis (-65 %).

#### 4.3.6 Modificaciones en los parámetros de calidad comercial ante la presencia de enfermedades foliares y del tallo

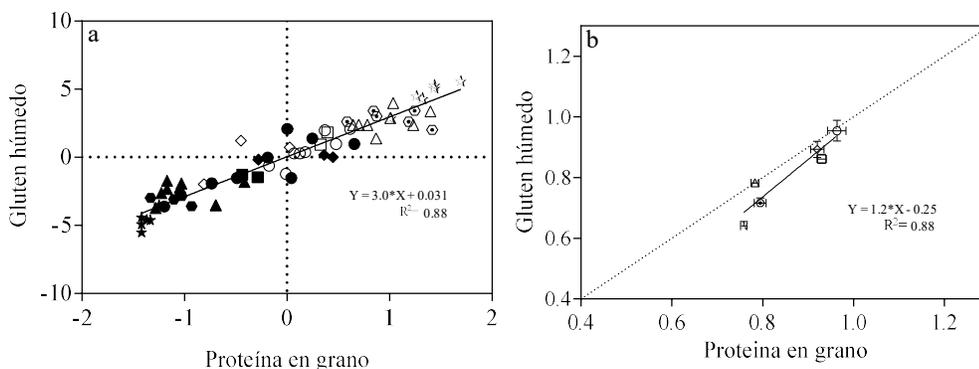
Las respuestas que presentaron los parámetros de calidad comercial peso hectolítrico PH (%), porcentaje de extracción de la harina EXT (%), contenido de proteína en grano CPG (%) y en harina CPH (%), gluten húmedo GH (%) y seco GS (%) en los tratamientos control (C) y enfermo (E) se presentan en el cuadro 4.4. La comparación de tratamientos para las fechas de siembra tempranas-2016 con presencia de *Z. tritici* no mostraron una tendencia consistente. La siembra temprana I-2016 no mostró diferencias significativas en los parámetros excepto en el CPG, sin embargo, en la siembra temprana II-2016 las diferencias fueron significativas ( $P < 0.05$ ,  $P < 0.10$ ) para todos los parámetros excepto para el PH (Cuadro 4.4).

En aquellas fechas en las que se observó la presencia de *P. graminis* se produjo una reducción significativa ( $P < 0.05$ ) de todos los parámetros reológicos excepto para el PH en la siembra tardía I-2016. Así, el PH mostró disminuciones importantes ante la presencia de *P. graminis* que fueron entre un -5 % (Tardía II-2017) y -46 % (Tardía II-2016), siendo esta última fecha en la cual se presentó la disminución más importante (Cuadro 4.4). Para los dos años las disminuciones en el CPG se dieron en todas las fechas de siembra, es decir, que ante la presencia individual de *Z. tritici* (fechas de siembra tempranas) y de *P. graminis* (fechas de siembra tardías) en el cultivo, el CPG mostró disminuciones en distintos porcentajes. En el año 2016 las disminuciones ocasionadas en el CPG por *Z. tritici* fueron entre -4 % (temprana I) y -8 % (temprana II) mientras que la presencia de *P. graminis* redujo dicho atributo entre -11 (tardía II) y -16 % (tardía I). En el año 2017 las dos fechas de siembra presentaron mayores disminuciones en el CPG entre -21 % (tardía II-2017) y -24 % (tardía I-2017) como consecuencia de la presencia y predominancia de *P. graminis*. Similares respuestas fueron observadas los dos años en el CPH.

El EXT disminuyó significativamente ( $P < 0.05$ ) ante la presencia individual de *Z. tritici* ca - 4 % (siembra temprana II-2016) y entre 4 % (tardía I-2016) y -16 % (tardía I-2017) ante la presencia de *P. graminis* (Cuadro 4.4). Los parámetros del gluten GH y GS mostraron disminuciones significativas ( $p < 0.05$ ) muy similares durante todas las fechas de siembra ante la presencia individual de *Z. tritici* (-14 %) en la fecha de siembra temprana II-2016 y ante la presencia de *P. graminis* desde un -11 % (tardía II-2016) hasta -36 % (tardía I-2017).

Las relaciones funcionales entre las variables de calidad expresadas en desvíos de valores absolutos respecto a la media de cada fecha de siembra mostraron una respuesta lineal positiva ( $R = 0.87$ ) para las variables de gluten húmedo y proteína en grano (Figura 4.5 a).





**Figura 4.5** a) Gluten húmedo vs proteína en grano calculados como valores absolutos respecto a la media de cada fecha de siembra y como b) valores relativos del tratamiento E respecto al C para cada fecha de siembra: temprana I (círculo), temprana II (cuadrado), tardía I-2016 (triángulo), tardía II-2016 (diamante), tardía I-2017 (estrella) y tardía II-2017 (octágono) del cultivar 601 para los tratamientos: enfermo (E) símbolos llenos y Control (C) símbolos vacíos.

En la figura 4.5 a, los valores correspondientes al tratamiento E se agrupan por debajo de la media de los parámetros gluten húmedo y proteína en grano, mientras que los valores correspondientes al tratamiento C se ubican sobre la media de los dos parámetros. Los valores relativos del tratamiento E respecto al tratamiento C para cada fecha de siembra (Figura 4.5 b) muestran una relación positiva ( $R^2 = 0.88$ ) distribuyéndose ligeramente por debajo de la línea 1.1 lo que indica que los cambios relativos en ambas variables fueron similarmente afectados por la presencia de las enfermedades

#### 4.4 Modificaciones en los parámetros de calidad industrial ante la presencia de enfermedades foliares y del tallo

Las respuestas en los parámetros de calidad industrial relacionados con las propiedades viscoelásticas de las masas se encuentran detalladas en el Cuadro 4.5. Las propiedades viscoelásticas no mostraron diferencias estadísticamente significativas en fechas de siembra con presencia individual de *Z. tritici*, sin embargo, se observaron algunas tendencias con porcentajes destacados de disminución en algunos parámetros asociados a esta enfermedad. Así, en la fecha de siembra temprana II el parámetro P se redujo -16 % mientras que el L presentó una tendencia a aumentar en un +16 %, disminuyendo la relación entre estos dos parámetros en un -28 %. Las tendencias en el W para las dos fechas de siembra con presencia individual de *Z. tritici* mostraron respuestas leves y ambivalentes ya que en la fecha temprana I-2016 tendió a aumentar un +7 % y en la fecha temprana II-2016 a disminuir -4 % (Cuadro 4.5).

En las fechas de siembra tardías donde hubo presencia de *P. graminis* las propiedades viscoelásticas de las masas proporcionadas por el alveograma mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0.05$ ) para los dos años, con excepción de la relación P/L en el año 2017 (Cuadro 4.5). Para las fechas de siembra tardías P disminuyó entre un -13 % (tardía I-2016) y un -30 % (tardía I-2017), L por su parte mostró en general disminuciones ante la presencia de *P. graminis* entre un -24 % (tardía I-2016) y un -34 % (tardía I-2017) excepto en la fecha de siembra tardía II-2016 donde la respuesta fue de un aumento significativo del +49 %. La relación entre los dos parámetros P/L mostró distintas respuestas al igual que L, ya que tendió a aumentar entre +15 (tardía II-2017) y +18 % (tardía I-2016), pero en otros ambientes se observaron reducciones de este parámetro entre -4 (tardía I-2017) y -56 % (tardía II-2016). El W en todas las fechas de

siembra con presencia de *P. graminis* presentó disminuciones significativas de un -21 % (tardía II-2016) y -50 % (tardía I-2017).

El volumen de pan mostró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en las fechas de siembra donde hubo presencia de *Z. tritici* (temprana I) aumentando un +12 %, mientras que en las fechas de siembra donde hubo presencia de *P. graminis* (tardía I-2017) disminuyó -10 % (Cuadro 4.5), sin embargo esta tendencia no es tan general ya que en la fecha de siembra tardía II (2017) el volumen tendió a aumentar hasta un +12 %. El FN mostró aumentos significativos +11 % en la fecha de siembra tardía II-2016, en las demás fechas de siembra con presencia de *P. graminis* se observaron las mismas tendencias con porcentajes menores.

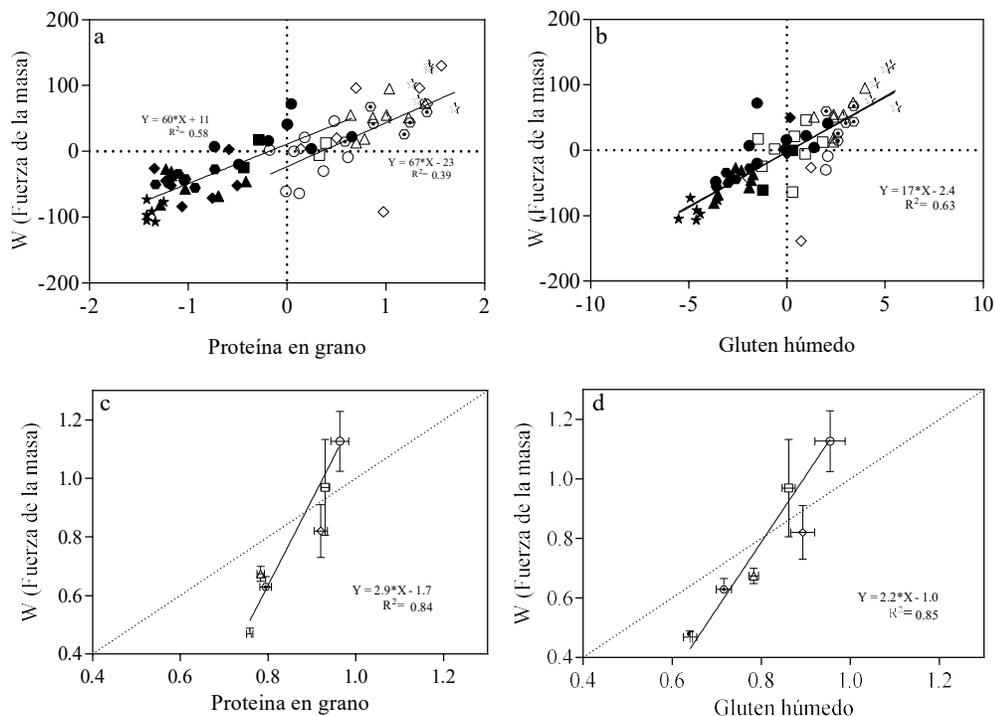
Las relaciones funcionales de valores absolutos respecto a la media de cada fecha de siembra entre la fuerza de la masa W y la proteína en grano (Figura 4.6 a) evidenciaron un agrupamiento de los valores correspondientes a las medias del tratamiento E conformando una relación positiva ( $R^2 = 0.57$ ) al igual que los valores correspondientes al tratamiento C ( $R^2 = 0.38$ ). Aunque la relación entre los dos parámetros es positiva, la pendiente del tratamiento C fue ligeramente mayor respecto de la del tratamiento E.

Por otro lado, las relaciones funcionales de valores absolutos respecto a la media de cada fecha de siembra entre la fuerza de la masa W y el gluten húmedo (Figura 4.6 b) muestra una sola tendencia lineal positiva ( $R^2 = 0.63$ ), en la cual los valores correspondientes al tratamiento E (con infecciones de *P. graminis*) se encuentran por debajo de la media, excepto los valores del tratamiento E con presencia individual de *Z. tritici*. Los valores relativos del tratamiento E respecto al tratamiento C muestran una relación positiva ( $R^2 = 0.84$ ) entre la fuerza de la masa W y la proteína en grano en todas las fechas de siembra (Figura 4.6 c), con pendientes mayores.

Las relaciones funcionales de valores absolutos respecto a la media de cada fecha de siembra entre la fuerza de la masa W y la proteína en grano (Figura 4.6 a) evidenciaron un agrupamiento de los valores correspondientes a las medias del tratamiento E conformando una relación positiva ( $R^2 = 0.57$ ) al igual que los valores correspondientes al tratamiento C ( $R^2 = 0.38$ ). Aunque la relación entre los dos parámetros es positiva, la pendiente del tratamiento C fue ligeramente mayor respecto de la del tratamiento E. Similar respuesta ( $R^2 = 0.85$ ) se observó en la relación relativa entre la fuerza de la masa W y el gluten húmedo cuando el tratamiento E se comparó con el C (Figura 4.6 d) mostrando que el parámetro W se afecta en una proporción mayor que la proteína y el gluten como consecuencia de la presencia de las enfermedades.

**Cuadro 4.5** Medias de los parámetros de calidad Industrial, propiedades viscoelásticas de las masas parámetros alveográficos: Tenacidad P (mm), Extensibilidad L (mm), relación entre los dos parámetros P/L y Fuerza de la masa W ( $J \times 10^{-4}$ ). Índice de caída de las  $\alpha$ -amilasas FN (s) del cultivar Baguette 601, correspondiente a las fechas de siembra: Temprana I (mayo 2016), Temprana II (junio 2016), Tardía I (agosto 2016 y Julio 2017), Tardía II (septiembre 2016 y agosto 2017) para los *Tratamientos* de enfermedad Control (C) y Enfermos (E). Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD P <0.05 \*\* y P<0.10\*.

Comparación de medias	Año 2016						Año 2017					
	P (mm)	L (mm)	P/L	W ( $J \times 10^{-4}$ )	Volumen ( $cm^3$ )	FN (s)	P (mm)	L (mm)	P/L	W ( $J \times 10^{-4}$ )	Volumen ( $cm^3$ )	FN (s)
<i>Siembra temprana I</i>												
Control (C)	135 a	44 a	3.1 a	252 a	408 b	294 a	-	-	-	-	-	-
Enfermo (E)	131 a	46 a	2.9 a	270 a	459 a	309 a	-	-	-	-	-	-
<i>Siembra temprana II</i>												
Control (C)	134 a	30 a	4.6 a	182 a	380 a	292 a	-	-	-	-	-	-
Enfermo (E)	112 a	35 a	3.3 a	175 a	407 a	307 a	-	-	-	-	-	-
<i>Siembra tardía I</i>												
Control (C)	113 a	67 a	1.7 b	315 a	458 a	319 a	138 a	62 a	2.4 a	344 a	436 a	379 a
Enfermo (E)	98 b	51 b	2 a	211 b	479 a	334 a	96 b	41 b	2.3 a	171 b	391 b	387 a
<i>Siembra tardía II</i>												
Control (C)	122 a	83 b	1.6 a	437 a	458 b	358 b	102 a	53 a	2 a	225 a	408 a	388 a
Enfermo (E)	83 b	124 a	0.7 b	343 b	517 a	397 a	88 b	38 b	2.3 a	144 b	409 a	400 a
<i>Diferencias significativas</i>												
<i>Siembra temprana I</i>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	-	-	-	-	-	-
<i>Siembra temprana II</i>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-	-	-	-	-	-
<i>Siembra tardía I</i>	**	**	**	**	n.s.	n.s.	**	**	n.s.	**	**	n.s.
<i>Siembra tardía II</i>	**	**	**	**	**	*	**	**	n.s.	**	n.s.	n.s.



**Figura 4.6.** Relaciones funcionales de parámetros de calidad presentada en valores absolutos respecto a la media de cada fecha de siembra: a) W (fuerza de la masa) y Proteína en grano y b) W (fuerza de la masa) y Gluten húmedo. Los valores presentados en las figuras c y d, corresponden a las relaciones funcionales en valores relativos tratamiento (E) respecto al (C) para cada fecha de siembra: temprana I (círculo), temprana II (cuadrado), tardía I-2016 (triángulo), tardía II-2016 (diamante), tardía I-2017 (estrella) y tardía II-2017 (octágono) del cultivar 601 para los tratamientos: enfermo (E) símbolos llenos y Control (C) símbolos vacíos.

## 4.5 Discusión

Los objetivos de este capítulo se plantearon con el fin de analizar los cambios que ocurren en el rendimiento y los componentes número y peso de los granos, así como en los parámetros de calidad de un cultivar susceptible a las enfermedades con un alto potencial de rendimiento y grupo de calidad 2 utilizado actualmente en la producción argentina.

### 4.5.1 Cuantificación de las enfermedades foliares y su impacto sobre el rendimiento y la acumulación de carbohidratos solubles en tallo.

Similar a lo ocurrido en el capítulo 3, la presencia de las enfermedades foliares estuvo fuertemente influenciada por las condiciones ambientales predisponentes (Prescott *et al.*, 1986; Campbell y Madden, 1990., Wegulo *et al.*, 2012; Fones *et al.*, 2015; Schierenbeck *et al.*, 2016; Castro y Simón, 2016). La presencia y predominancia de la enfermedad hemibiotrófica septoriosis fue favorecida en el cultivo no solo por la cantidad importante de rastrojo en el campo experimental, cuyo cultivo de trigo antecesor presentó infecciones de este patógeno, sino también por el estímulo de las condiciones ambientales que son menos exigentes en requisitos de temperatura que las condiciones de patógenos biotróficos como *P. graminis*. En este sentido Carmona *et al.* (1999) aseguran que las

condiciones de temperatura óptimas para la infección de *Z. tritici* están en un rango entre 15 a 20°C que son temperaturas más bajas que las que requiere *P. graminis* que oscilan entre un rango de 18 a 25°C (Cordo *et al.*, 2014 b), estas temperaturas deben estar acompañadas de periodos de mojado que van entre 6 y 8 horas para *P. graminis* y entre 72 a 96 horas para *Z. tritici* (Roelfs *et al.*, 1992). Estas afirmaciones concuerdan con los registros meteorológicos obtenidos en los distintos momentos del ciclo del cultivo ya que durante el periodo crítico en las fechas de siembra tempranas la temperatura media más alta fue de 16°C la cual fue más favorable para las infecciones de *Z. tritici*, así mismo durante este periodo las precipitaciones acumuladas fueron constantes y alcanzaron 150 mm favoreciendo la reproducción de este patógeno. Contrariamente las fechas de siembra tardías mostraron temperaturas durante el periodo crítico que alcanzaron hasta 25°C lo que favoreció la presencia de *P. graminis* que sumado al acompañamiento de periodos de rocío en cada inoculación lograron infecciones exitosas. Durante el llenado de los granos las temperaturas fueron superiores a los 25°C en todas las fechas de siembra tardías, en las fechas de siembra tempranas estas temperaturas se exploraron mucho más tardíamente durante el llenado de los granos por lo cual las infecciones *P. graminis* no pudieron establecerse.

En línea con los resultados del capítulo anterior, las enfermedades foliares mostraron un mayor ABCPE en el tratamiento E en todas las fechas de siembra, así mismo, la presencia de *P. graminis* a nivel foliar y del tallo se dio únicamente en este tratamiento ya que la presencia de enfermedades en el tratamiento C fue exclusivamente de septoriosis debido a que la aplicación de fungicidas (compuestos por triazoles, carboxamidas y estrobirulinas) mostró una mayor eficacia en el control de *P. graminis* anulando su presencia en estas parcelas controladas, en este sentido, se ha reportado que ante infecciones con *P. graminis* la aplicación de fungicidas con base de triazoles, controlan eficazmente las esporas de este patógeno disminuyendo efectivamente su inóculo o inhibiendo su germinación anulando la presencia en el cultivo ante aplicaciones semanales (Loughman *et al.*, 2005; Tadesse *et al.*, 2010; Ashenafi *et al.*, 2018).

El patrón de infección a nivel foliar de las enfermedades estudiadas en este capítulo mostró distintas tendencias. Mientras que la enfermedad hemibiotrófica septoriosis inició la infección en los estratos foliares inferiores de la planta como ocurre con patógenos necrotróficos como mancha amarilla (Rabbinge *et al.*, 1985), la enfermedad biotrófica roya del tallo presentó patrones diferentes a nivel foliar, que mostraron distintas respuestas dentro de cada fecha de siembra, contrario a lo que sucede con enfermedades causadas por patógenos biotróficos como *P. triticina* que se destacan por ocasionar infecciones en los estratos superiores de la planta (Rabbinge *et al.*, 1985; Bigham *et al.*, 2009 y Pangga *et al.*, 2011). Generalmente las infecciones de *P. graminis* se iniciaron a nivel foliar en todas las fechas de siembra tardías y posteriormente se distribuyeron hacia el tallo durante el llenado de los granos (Fotografía II Anexo). Sin embargo, cuando las condiciones predisponentes para esta la roya del tallo son muy favorables para una rápida infección (e.g. fecha de siembra tardía II-2017) las pústulas de la enfermedad fueron identificadas inicialmente en el tallo y posteriormente aparecieron pústulas a nivel foliar (Fotografía III Anexo) las cuales progresaron coordinadamente en toda la planta, durante el llenado de los granos. En este sentido, pocas investigaciones han puesto de manifiesto la colonización de esta enfermedad en los distintos tejidos y su posterior dispersión a otros dentro de la planta, ya que en la bibliografía se detalla principalmente la capacidad de esta enfermedad en lograr infecciones generalizadas en los diversos tejidos de la planta a través de la producción de uredinios que infectan la superficie de las hojas, tallos, vainas foliares, espigas, glumas, aristas y granos (Roelfs *et al.*, 1992; Cordo *et al.*, 2014). En

concordancia con las afirmaciones de estos autores, *P. graminis* progresó su colonización en la planta hasta lograr infecciones en las espigas de todas las fechas de siembra tardías, aunque con distintas magnitudes de infección. En este sentido, las fechas de siembra tardías I, que fueron sembradas en los meses de agosto del 2016 y julio de 2017, las magnitudes de infección a nivel de la espiga fueron inferiores a las que se manifestaron en las fechas tardías II de los meses de septiembre de 2016 y agosto de 2017. Estas infecciones en las espigas y su magnitud pueden estar relacionadas con las altas infecciones que se registraron en los estratos superiores tanto a nivel foliar como de tallo detalladas en la Figura 4.3.

En el capítulo 3 en donde se presentaron infecciones con enfermedades foliares causadas por patógenos necrotróficos como *Py. tritici* y biotróficos como *P. triticina*, las reducciones en el rendimiento fueron ca. -12%, dadas principalmente por un efecto en el número de granos. Estos valores se asemejan a las tendencias de caída en el rendimiento de las fechas de siembra infectadas con patógenos hemibiotróficos como *Z. tritici* en donde se presentaron reducciones de hasta -16 % dadas fundamentalmente por una caída en el número de granos (-13 %) muy cercanas a las caídas en el número de granos ante las enfermedades protagonistas del capítulo 3, a su vez tal y como ocurrió con estas enfermedades el peso de los granos no presentó modificaciones ante infecciones de *Z. tritici*. En este sentido diversos autores afirman que la presencia de *Z. tritici* en los cultivos causa disminuciones significativas del rendimiento que van entre 17 y 54 % (Eyal *et al.*, 1983;1987; Annone *et al.*, 1991), estas disminuciones son causadas por el efecto en sus componentes número y peso de los granos como ocurrió en ensayos con cultivares argentinos con distinto grado de calidad (Castro y Simón, 2016). En ensayos realizados por Simón *et al.* (1996; 2002) con inoculaciones de *Z. tritici* se presentaron disminuciones en peso de mil granos de hasta 21.6 % cuando la enfermedad se manifestó durante el llenado de los granos. A su vez esta enfermedad causa pérdidas económicas no solo por el efecto en el rendimiento y sus componentes sino también por el costo importante de fungicidas para su control debido a la resistencia que se viene presentando en los patógenos ante el uso de fungicidas convencionales (Fraaije *et al.*, 2005; Torriani *et al.*, 2009; Fones *et al.*, 2015).

Como se describió en la sección de resultados de este capítulo (4.3.2), si bien en todas las fechas de siembra tardías se presentaron infecciones de *P. graminis*, particularmente en la fecha de siembra tardía I-2016 la predominancia se dio para *Z. tritici* que estuvo presente en magnitudes superiores durante el periodo crítico y posteriormente durante el llenado de los granos, sin embargo, la presencia importante de *P. graminis* se presentó durante el llenado de los granos (Figura 4.2 b). Esto es importante desde el punto de vista comparativo del daño ocasionado por la presencia de los distintos tipos de enfermedades que se presentaron durante el periodo crítico, ya que de todas las fechas de siembra en donde se presentaron infecciones de *P. graminis* esta fecha fue la que presentó las menores reducciones del rendimiento (-23 %) dado que en ese momento del ciclo del cultivo solamente se presenciaron infecciones en magnitudes más altas de *Z. tritici*,

Las respuestas en el rendimiento y sus componentes en las demás fechas de siembra tardías fueron más impactantes debido a la presencia y predominancia de *P. graminis* que se dio a partir del periodo crítico, causando reducciones importantes de hasta -66 % en los rendimientos y hasta -46 % de caídas en el número de granos. El peso de los granos también se vio reducido de manera importante, de hecho, en las fechas de siembra tardías del año 2017 las disminuciones en el rendimiento estuvieron asociadas en mayor medida a la caída en el peso de los granos que alcanzó hasta -33 %. La reducción más importante

en el rendimiento y número de granos descrita, se dio en la fecha de siembra tardía II-2016, estas respuestas fueron ocasionadas principalmente por la predominancia de *P. graminis* durante el periodo crítico a nivel foliar. Como se mencionó con anterioridad, la caída en el peso de los granos de las fechas de siembra del año 2017 fueron las causantes de las disminuciones en el rendimiento ya que el número de granos disminuyó en proporciones inferiores. Particularmente en la primera fecha de siembra (tardía I-2017) la predominancia a nivel foliar de *P. graminis* alcanzó los porcentajes más altos de todas las fechas en las que se presentó esta enfermedad y posteriormente se distribuyó en tallo a partir de los diez días después de anthesis. Así mismo, en la fecha de siembra (tardía II-2017) *P. graminis* se manifestó en los dos órganos de la planta, es decir, en el tallo inicialmente e inmediatamente transcurrió la infección a nivel foliar en porcentajes similares durante todo el ciclo del cultivo. Pese a que se dieron las infecciones a partir de anthesis el número de granos no se vio tan afectado como el peso de los granos, sin embargo, esta fecha es una de las que muestra las mayores caídas en el rendimiento.

Estas respuestas del efecto *P. graminis* en el rendimiento, se asemejan a las de ensayos realizados por Macharia *et al.* (2019), utilizando cultivares etíopes en donde se reportan pérdidas de los rendimientos en parcelas que no fueron controladas con fungicidas que van de 6 a 66 %, similares a las reportadas por Loughman *et al.* (2005) con cultivares australianos. Wanyera *et al.* (2009), atribuyen esta disminución en los rendimientos al impacto de esta enfermedad en el peso de los granos que se redujo hasta un 42 % cuando la enfermedad se manifestó durante el llenado de los granos. Soko *et al.* (2018) afirman que las disminuciones en el rendimiento causadas por este patógeno varían de 4.9 a 49.2 % dependiendo de la susceptibilidad del cultivar a determinadas razas, a su vez resaltan que las pérdidas fueron ocasionadas por un impacto importante en el peso de mil granos en donde se dieron reducciones desde 11.6 a 48.7 %. En Argentina se han reportado pérdidas en el rendimiento de alrededor del 20 % (Antonelli, 2000; Campos *et al.*, 2014), sin embargo, ensayos realizados en la provincia de Santa Fe por Brach y Cracogna, (2016) utilizando el cultivar Baguette 601 muestra pérdidas en el rendimiento superiores al 80 % a causa de *P. graminis* en parcelas que no fueron controladas, coincidiendo con daños causados con cultivares susceptibles en Etiopía, donde las pérdidas fueron del 100% (Newcomb *et al.*, 2013).

Durante el llenado de los granos la fotosíntesis actual constituye la base de provisión de asimilados para el llenado de los granos. Sin embargo, antes condiciones de daño en el aparato fotosintético (e.g. presencia de enfermedades foliares) es fundamental la disponibilidad de carbohidratos solubles acumulados en el tallo (CHOs) para que actúen como buffer (Serrago *et al.*, 2011 y Serrago *et al.*, 2019). En las fechas de siembra tempranas donde se presentó *Z. tritici* de manera individual se observaron tendencias leves no significativas de disminución de CHOs, estas tendencias no repercutieron en el peso de los granos el que no se vio modificado ante la presencia de esta enfermedad. En este sentido, Zilberstein *et al.* (1985) afirma que en algunos cultivares tolerantes bajo epidemias de *Z. tritici* no presentaron cambios en el peso de los granos, y atribuyó esta respuesta a un posible mecanismo de compensación de suministro de carbohidratos desde los tejidos sanos. Sin embargo, en las fechas de siembra tardías con presencia de *P. graminis* se presentaron disminuciones de los CHOs de hasta 65 % respecto del tratamiento controlado. De este modo, la presencia de *P. graminis*, reduciendo el área fotosintéticamente activa de los tejidos foliares y luego del área del pedúnculo determinó un importante consumo de CHOs posiblemente para compensar la demanda de los granos en crecimiento durante el llenado de los granos (Serrago *et al.*, 2011).

Serrago *et al.* (2011) mostró que el peso de los granos se afecta drásticamente por infecciones de enfermedades foliares causadas por patógenos biotróficos, hemibiotróficos y necrotroóficos en el cultivo de trigo durante el llenado de los granos, asociadas a caídas en los CHOs sugiriendo que la presencia de las enfermedades foliares causa una limitación importante de la fuente (i.e. fotosíntesis de hojas) que obliga al cultivo a utilizar las reservas de carbohidratos almacenadas en los tallos. En el mismo sentido, autores como Cornish *et al.* (1990); Gaunt y Wright, (1992) y Bancal *et al.* (2007) afirman que la presencia de las enfermedades foliares induce a la planta a utilizar las reservas de CHOs almacenadas en el tallo durante el llenado de los granos. Otro aspecto que debe considerarse es que patógenos como *P. triticina* no solo causan daños en el tejido fotosintético como generalmente lo hacen patógenos como *Py. tritici*, sino que también consumen directamente los asimilados de la planta (Carretero *et al.*, 2009; Serrago *et al.*, 2010) y Schierenbeck *et al.*, 2016), por lo tanto, la presencia de *P. graminis* durante el llenado de los granos pudo haber causado reducciones importantes de los CHOs ocasionados por el consumo directo de asimilados por este patógeno biotrófico.

#### **4.5.2 Modificaciones en la calidad comercial y las propiedades viscoelásticas debido a la presencia de enfermedades foliares y del tallo.**

El impacto de *P. graminis* no solo repercute en el rendimiento y sus componentes por causa de detrimentos en la acumulación de CHOs en el tallo, sino que también causa disminuciones en el peso hectolítrico, esta respuesta está en línea con las disminuciones que se presentan en el peso de los granos ante esta enfermedad ya que como se mencionó en el capítulo 3, el peso hectolítrico se encuentra asociado a las variaciones en el tamaño de los granos y tiene una estrecha relación con el rendimiento (Dexter *et al.*, 1987; Gooding y Davies, 1997; Posner y Hibbs, 2005; Manley *et al.*, 2009). El peso hectolítrico disminuyó sustancialmente cuando la roya del tallo fue la enfermedad predominante durante el periodo de llenado generando reducciones de hasta 46 %, concordando con investigaciones realizadas por Lougman *et al.* (2015) y Soko *et al.* (2018) en donde *P. graminis* causó reducciones en el peso hectolítrico entre 13 y 30%. En ambientes donde predominó la infección con *Z. tritici* (i.e. fechas de siembra tempranas) no se presentaron modificaciones en el peso hectolítrico debido a que tampoco se afectó significativamente el peso de los granos. El porcentaje de extracción de harina fue afectado por la presencia de ambas enfermedades con disminuciones de hasta un 14 %. Estos resultados son opuestos a los encontrados en el capítulo 3 donde ante infecciones de *P. triticina* y *P. tritici* estas no modificaron el peso de los granos, peso hectolítrico y porcentaje de extracción.

El contenido de proteína en grano y en harina mostró reducciones significativas ante la presencia y predominancia de las dos enfermedades estudiadas, similar a las respuestas obtenidas en el capítulo 3 ante infecciones de *Py. tritici* y *P. triticina*. Estas reducciones se dieron en todas las fechas de siembra, observándose las mayores reducciones en las fechas de siembra tardías durante los dos años que presentaron infecciones de *P. graminis*. Las disminuciones en contenido de gluten húmedo y seco mostraron las mismas respuestas que los parámetros de proteína ante la presencia de las dos enfermedades, sin embargo, los porcentajes de caída fueron levemente superiores a los que se presentaron en el contenido de proteína. En este sentido, la correlación entre gluten húmedo y proteína en grano en este capítulo fue fuertemente positiva ( $R^2= 0.88$ ), muy similar a las correlaciones obtenidas en el capítulo 3 entre el contenido de gluten húmedo y la proteína en harina ( $R^2= 0.84$ ) y el gluten húmedo y la proteína en grano ( $R^2=0.60$ ). Estos resultados están en línea con muchas otras evidencias de la literatura (ejemplo Matzen *et al.*, 2019)

en donde el gluten húmedo y la proteína en grano se correlacionan positivamente. Sin embargo, Matzen *et al.* (2019), describen respuestas diferentes a las obtenidas en esta tesis en parcelas infectadas con enfermedades foliares causadas por patógenos biotróficos como *Blumeria graminis*, *P. striiformis* y *P. graminis* en donde se evidenció un aumento en el contenido de proteína en grano y gluten húmedo. Diversos estudios con infecciones de patógenos hemibiotróficos como *Z. tritici* y necrotrotróficos como *Py. tritici* evidenciaron igualmente aumentos en estos parámetros de calidad (Ishikawa *et al.*, 2001; Ruske *et al.*, 2001; Dimmock y Gooding 2002a; Blandino y Beynery 2009; Schierenbeck *et al.*, 2014; Castro y Simón 2017; 2018 y Fleitas *et al.*, 2018a). Contrariamente y en concordancia con los resultados obtenidos en este capítulo, ensayos realizados por Rees *et al.* (1982) mostraron que *Py. tritici* causó disminuciones en el contenido de proteína, al igual que ante inoculaciones artificiales con esporas de *P. triticina* (Fleitas *et al.*, 2018b) en donde la proteína en grano y el gluten húmedo se redujeron significativamente, estas respuestas negativas también se dieron en cultivos infectados con *P. graminis* y *P. striiformis* (Petturson y Newton, 1939; Greaney, 1941; Keed y White, 1971; Park *et al.*, 1988; Simón *et al.*, 2012; Aktaş y Zercirci, 2016). Sin embargo, otros trabajos en donde se presentaron distintas enfermedades causadas por patógenos biotróficos realizados con aplicaciones de fungicidas durante el llenado de los granos (Dimmock y Gooding, 2002b; Matzen *et al.*, 2019) mostraron aumentos en el contenido de proteína en las parcelas enfermas respecto de las sanas ante la aplicación de fungicidas. Estas evidencias contradictorias en la literatura pueden estar explicadas por el impacto que las enfermedades foliares tengan sobre el área foliar verde remanente ante una infección y la capacidad buffer de los CHOs en los tallos. Por ejemplo, si la evolución de la infección de una enfermedad (biotrófica o necrotrotrófica) es tal que destruye rápidamente el área foliar verde durante el llenado de granos y el cultivo mantiene una capacidad de retranslocación de asimilados de reserva (e.g. CHOs) el peso de grano pueden no verse afectado (o reducirse ligeramente) pero la retranslocación de nitrógeno desde las hojas hacia los granos puede verse fuertemente afectado reduciendo la concentración de nitrógeno en los granos. Del mismo modo, aun cuando la reducción en el peso de los granos sea importante si el aparato fotosintético se ve dañado severamente desde el inicio del llenado de granos es muy probable que el peso se vea afectado, pero también la retranslocación de nitrógeno hacia los granos como ha ocurrido en esta tesis ante infecciones severas de *P. graminis* en fechas de siembra tardías.

Las caídas más importantes en los parámetros de calidad comercial, carbohidratos solubles en tallo y peso de los granos que afectaron el rendimiento se dieron en las parcelas infectadas con *P. graminis* a partir del periodo crítico. Por lo tanto, es posible especular que esta enfermedad de hábito nutricional biotrófico haya interferido en la producción de asimilados a nivel foliar y su posterior almacenamiento en el tallo convirtiéndose en un destino secundario (Walters, 1989) interrumpiendo el normal funcionamiento del ciclo del llenado de los granos. La removilización de N en grano acumulado previo a la antesis explica la mayor parte del N final en los granos (Simpson *et al.*, 1983; Gajú *et al.*, 2014) ya que aproximadamente un 60 a 95 % del N depositado en los granos proviene de la removilización del N acumulado (Palta y Fillery, 1995), por lo tanto, el patógeno no solo pudo haber consumido parte de la reserva de CHOs sino que también afectó de alguna manera la removilización del nitrógeno disponible para los granos (Bancal *et al.*, 2008), ya sea por consumo por parte del patógeno o por interrupción debido a la ruptura y desecamiento importante que se producen en los tallos (Antonelli *et al.*, 2000).

La mayoría de parámetros de calidad industrial obtenidos de análisis alveográficos, presentaron respuestas estadísticamente significativas en las fechas de siembra infectadas

con *P. graminis*, contrario a las fechas de siembra tempranas infectadas con *Z. tritici*. Sin embargo, las presencias de las dos enfermedades causaron disminuciones en la tenacidad de las masas (P) y en la fuerza de las masas (W), presentándose las disminuciones más altas en las fechas de siembra con infecciones de *P. graminis*. Estas respuestas coinciden con investigaciones recientes realizadas por Fleitas *et al.* (2018 a, b) en donde la tenacidad y fuerza de la masa disminuyen ante la presencia de *P. triticina* y *Py. tritici*, por otro lado, Castro y Simón (2017) encontraron respuestas ambivalentes entre la tenacidad y la fuerza de las masas ya que la tenacidad disminuyó ante la presencia de *Z. tritici*, mientras que la fuerza de las masas aumentó. Contrariamente, Fleitas *et al.* (2017) en parcelas infectadas con *Z. tritici* encontraron aumentos tanto en la tenacidad como en la fuerza de las masas. Por lo tanto, no es posible determinar una tendencia uniforme de los parámetros de calidad industrial ante la presencia de las distintas enfermedades que se presentan en el cultivo debido a este tipo de variaciones.

La extensibilidad de las masas (L) mostró tendencias destacables de aumento (16 %) ante infecciones de *Z. tritici*, las cuales se vieron incrementadas de manera significativa (46 %) ante infecciones de *P. graminis* en fechas de siembra tardía (e.g. Tardía II-2016). En este sentido, distintas evidencias mostraron que ante la presencia de patógenos como *Py. tritici*, *Z. tritici* y *P. triticina*, la extensibilidad de las masas se afecta negativamente (Fleitas *et al.*, 2017;2018 a y b), mientras que por el contrario ante infecciones de *Z. tritici* Castro y Simón (2017) detectó aumentos en este parámetro.

El índice de caída o Falling number mostró aumentos significativos ante infecciones de *P. graminis* en la fecha de siembra tardía II-2016, sin embargo, las tendencias de aumento ante la presencia de las enfermedades se dio en todas las fechas de siembra en porcentajes inferiores. Por lo tanto, es posible especular que la presencia de estas enfermedades podría inhibir la acción de las alfa-amilasas al presentar valores superiores a los del tratamiento control ya que cuando se presentan valores cercanos a los 400 segundos las harinas presentan características indeseables como diferencias en el color, migas pegajosas y efectos adversos en el volumen (Cauvain, 2017). Respecto al volumen del pan, las fechas de siembra tempranas con infecciones de *Z. tritici* mostraron aumentos significativos cerca del 12 % en el volumen del pan, estas tendencias también se manifestaron en las fechas de siembra tardías del año 2016 con infecciones de *P. graminis* aunque estos aumentos no fueron significativos. Contrariamente en las fechas de siembra del año 2017 con infecciones de *P. graminis* a partir del periodo crítico se observaron disminuciones significativas de hasta 10 % en el volumen del pan, específicamente en la fecha de siembra tardía I. En este sentido, pocos han sido los estudios que exploran las respuestas del volumen del pan ante presencia de enfermedades foliares y muchos de ellos con contradictorios. Fleitas *et al.* (2018 a, b) concluyeron que el volumen del pan presenta disminuciones ante la presencia de *Py. tritici* y *P. triticina*. Contrariamente Castro y Simón (2017) encontraron aumentos en el volumen del pan ante infecciones de *Z. tritici* en línea con las evidencias observadas en esta tesis ante las infecciones de este patógeno. Asimismo, en los experimentos llevados a cabo por los autores mencionados se destacó que en todos los casos estos aumentos estuvieron asociados a las respuestas en la fuerza de las masas. Los resultados de la presente tesis no muestran una consistencia del impacto de las enfermedades sobre el volumen de pan ya que éste pudo no ser afectado significativamente por la presencia de enfermedades, o fue reducido o aumentado, independientemente de los valores observados en la fuerza de la masa. Estos resultados sugieren que las enfermedades pudieron afectar otros atributos más allá del contenido de proteína y gluten (e incluso el W) como por ejemplo la proporción de gliadinas y

gluteninas ya que el volumen de pan no mostró consistencia con estos parámetros reológicos.

En resumen, en línea con el capítulo anterior, el rendimiento y sus componentes presentaron disminuciones ante la presencia de las enfermedades estudiadas. Las reducciones en el rendimiento ante la presencia de *Z. tritici* fueron menores a las que se observaron ante infecciones de *P. graminis*, siendo el componente número de granos el que se afectó en todas las fechas de siembra ante la presencia de las dos enfermedades foliares, destacándose caídas importantes en el peso de los granos ante las infecciones de *P. graminis*. Los parámetros de calidad comercial como el peso hectolítrico mostraron reducciones importantes ante la presencia de *P. graminis*, sin embargo, este parámetro no presentó modificaciones ante la presencia de *Z. tritici*. Los parámetros como porcentaje de extracción de las harinas, proteína en grano y en harina y gluten húmedo y seco mostraron reducciones en todas las fechas de siembra, aunque las reducciones ante la presencia de *P. graminis* fueron significativamente más altas que ante la presencia de *Z. tritici*. Los parámetros de calidad industrial obtenidos por el alveograma, mostraron disminuciones en la tenacidad y la fuerza de la masa ante infecciones de los dos patógenos en términos generales. El volumen del pan no mostró un comportamiento consistente ante la presencia de las enfermedades ni a lo largo de los distintos ambientes. De hecho, no fue asociado con la fuerza de la masa (siendo este uno de los parámetros reológicos más importantes de la calidad panadera) sugiriendo que las enfermedades afectan otros parámetros (e.g. proporción de gliadinas y gluteninas) que podrían alterar las propiedades.

**El rol de las reservas de carbohidratos solubles en tallo para mitigar los cambios en los rendimientos y la calidad del trigo ante la presencia de enfermedades foliares**

## 5.1 Introducción

### 5.1.1 Respuesta de los carbohidratos ante estreses ambientales

En el capítulo 1, se describió la importancia del nitrógeno y los carbohidratos solubles (CHOs) y su rol como promotores de la síntesis de ácidos orgánicos, aminoácidos y lípidos esenciales en la acumulación de biomasa (Geigenberger *et al.*, 2005). Los CHOs representan cerca del 40 % del total de la masa seca del tallo cuando estos llegan a su máxima acumulación durante la primera parte del inicio del llenado de los granos (Kiniry, 1993; Reynolds *et al.*, 2009). La translocación de estos asimilados durante el periodo de llenado de granos puede ser interferida por distintos factores bióticos y/o abióticos que limiten dicha translocación, por esta razón distintas investigaciones muestran respuestas ambivalentes en cuanto al aporte de los carbohidratos solubles acumulados en tallo (CHOs) en el rendimiento. En el Capítulo 3 fue demostrado como se vio afectada la RAA/NG como consecuencia de las enfermedades. Teniendo en cuenta que el llenado de granos se sustenta sobre la base de la fotosíntesis actual y que esta se ve severamente afectada por la presencia de enfermedades foliares la acumulación de CHOs puede constituir una reserva clave para poder sostener el llenado de los granos ante situaciones de falta de fuente. En este sentido, algunos autores han demostrado relaciones positivas entre los CHOs y el rendimiento (Foulkes *et al.*, 2007) y otros han reportado relaciones no significativas o negativas (Zhang *et al.*, 2015; del Pozo *et al.*, 2016). Estas respuestas contradictorias pueden atribuirse a que la acumulación de CHOs en los granos está más influenciada por las condiciones ambientales en el periodo de llenado del grano y por la actividad fotosintética en esta etapa (Stone y Savín, 1999), mientras que la utilización y/o translocación de los CHOs almacenados está vinculada a la demanda que ejerzan los destinos y del balance entre la fuente y los destinos por lo que una mayor relación fuente: destino podría reducir el uso de los CHOs almacenados mientras que por el contrario una menor relación fuente: destino promovería la translocación de estos asimilados (Serrago *et al.*, 2011). Distintas evidencias demuestran que la fotosíntesis y la asimilación de carbono se inhiben bajo estreses hídricos desencadenando una movilización de reservas en el tallo mucho mayor (22 y 60 %) comparados con cultivos sin estrés (5 y 20 %) (Blum *et al.*, 1998; Gebbing y Schnyder, 1999; Plaut *et al.*, 2004; Dreccer *et al.*, 2009; Dreccer *et al.*, 2014).

Distintos componentes de los CHOs como la fructosa, sacarosa, glucosa y fructanos reaccionan individualmente ante estreses (e.g. hídricos), las respuestas de estos componentes varían entre genotipos tolerantes o susceptibles al estrés (Yáñez *et al.*, 2017). Esta variación en los componentes de los CHOs fue documentada por la presencia de factores bióticos en trigos con infecciones altas de *P. graminis*, ya que el patógeno utiliza parte de dichos componentes (Mitchell, 1978; Maclean, 1982). De cualquier manera, se han reportado respuestas contradictorias en el consumo de componentes individuales de los CHOs como la sacarosa en genotipos infectados con *P. graminis* y *P. striiformis* debido a que esta respuesta se asocia a la susceptibilidad del genotipo (Heisterüber *et al.*, 1994; Chang *et al.*, 2013). Desde el punto de vista del peso de los granos (acumulación de carbono) algunos autores sostienen que el peso de los granos estaría co-limitado por fuente y por destino (Calderini y Reynolds, 2000), mientras que el contenido absoluto de proteínas en el grano está mayormente limitado por fuente nitrogenada (Martre *et al.*, 2003). En este marco, estreses ocasionados por la presencia de enfermedades foliares podría afectar diferencialmente la deposición de CHOs y nitrógeno (N). Por ejemplo, la presencia de patógenos que consumen N como las royas podrían afectar la translocación de N a los granos y/o generar reducciones en el área foliar

drásticas, acelerando la senescencia foliar reduciendo no solo la capacidad retranslocación de N de las hojas a los granos sino también la acumulación de CHOs debido a la imposibilidad de generar fotosíntesis actual. En ese contexto tanto el N como los CHOs almacenados en los granos se afectarían diferencialmente dependiendo de que atributo se afecte en mayor medida, obteniendo como consecuencia mayores o menores contenidos de proteína en los granos. Esta aproximación explicaría en parte las contradicciones que se observan frecuentemente en la literatura en los parámetros de calidad, por ejemplo, si el patógeno consume N de los tejidos y a su vez reduce severamente el área foliar en mayor proporción que el consumo de N, la consecuencia sería una reducción en el peso de los granos y un aumento en el contenido de proteína en granos, afectándose el peso hectolítrico, y la extracción de las harinas. Si existe una afinidad del patógeno por algún componente de los CHOs, podría causar alteraciones indirectas en la composición de almidones modificando los atributos de las harinas y por ende el uso final.

El mejoramiento de genotipos basado en la característica de un mayor almacenamiento de CHOs en el tallo y mayor removilización de los mismos, podría hacer más eficiente el llenado de los granos cuando la fuente resulta afectada limitando el proceso del llenado de los granos como en el caso de la presencia de enfermedades foliares. Si bien en condiciones donde el cultivo de trigo no presente enfermedades o reducciones en el área foliar durante el llenado de granos puede considerarse que una mayor reserva de CHOs no sería un atributo relevante ya que el cultivo de trigo puede considerarse como no limitado por fuente durante el llenado de granos (Borrás *et al.*, 1984), ante situaciones de daño en el área foliar activa como por ejemplo enfermedades foliares la fuente los CHOs almacenados en tallo pueden ser relevantes para completar el llenado de granos. Un ejemplo en este sentido ha sido la obtención de líneas endocriadas recombinantes provenientes de una serie de cruces de genotipos emparentados de una población de Seri (S) y Babax (B) que han mostrado acumulación diferencial de CHOs en el tallo en el momento de antesis que luego durante el periodo de llenado de los granos pueden ser particionados a los destinos (Reynolds *et al.*, 2000; Olivares-Villegas *et al.*, 2007; Dreccer *et al.*, 2009). Es posible especular en este contexto que ante la presencia de enfermedades foliares que se instalen en el cultivo a partir del periodo crítico en líneas recombinantes con mayor contenido de reservas en el tallo en el periodo a antesis, presenten una mayor tolerancia a la presencia de patógenos que reducen el área foliar durante el llenado de granos en relación a aquellas líneas con baja reserva de CHOs. Sin embargo, también podría especularse que la mayor compensación en el peso de los granos en las líneas con mayor contenido de CHOs determine un efecto de dilución del nitrógeno absorbido reduciendo en consecuencia el contenido de proteína en los granos y por ende la calidad del cultivo. Ambas hipótesis serán puestas a prueba en este capítulo utilizando líneas diseñadas para preservar distintos contenidos de CHOs en tallos durante el llenado de los granos.

## 5.2 Materiales y Métodos

El contenido de este capítulo abarca los resultados de dos experimentos realizados en los años 2016 y 2017, conducidos en la estación experimental J. Hirschorn, de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad nacional de La Plata, Los Hornos (34° 52' LS; 57° 58' LO).

Durante los dos años los cultivos fueron manejados bajo secano y los requerimientos de fertilización fueron cubiertos mediante aplicación de fertilizante en dos momentos del ciclo: siembra 50 Kg N (Urea)+ 50 Kg (Superfosfato triple) y macollaje 50 Kg N (Urea)

para los dos años. A su vez el cultivo fue protegido contra malezas y plagas mediante aplicación de plaguicidas. La siembra se llevó a cabo el 22 de Julio de 2016 y el 30 de junio del 2017 utilizando una sembradora experimental de 7 surcos, con un distanciamiento de 20 cm, y una densidad de siembra de 250 semillas/m<sup>2</sup>. Se realizó un diseño experimental en parcelas divididas en bloques al azar con tres repeticiones siendo la parcela principal los tratamientos: Enfermo (E) (que fue sometido a inoculaciones de *P. triticina*) y Control (C) y la sub parcela los cultivares de Seri (S) y Babax (B): SB003, SB010, SB084 y SB146, reclasificados de acuerdo a la respuesta del contenido de CHOs del ambiente explorado en el presente experimento (Cuadro 3.1). Las parcelas fueron de 5.50 metros de largo y 1.40 metros de ancho con una superficie total por parcela de 7.7 m<sup>2</sup>, entre las subparcelas se realizaron intersiembras de (7.7 m<sup>2</sup>) de avena para disminuir el traspaso del inóculo evitando a su vez el efecto bordura. La descripción de los tratamientos, genotipos, seguimiento de las enfermedades y generalidades del ambiente se detallan el Capítulo 2. A las subparcelas con fungicida se les aplicó una triple mezcla: fluxapyroxad 50 g/l (carboxamida), epoxiconazole 50 g/l (triazol) y pyraclostrobin 81 g/l (1,2 l/ha) (estrobilurina) para asegurar un testigo con baja infección en cuatro estadios: 2-3 hojas, encañazón (EC31), hoja bandera desplegada (EC39) y antesis (EC60).

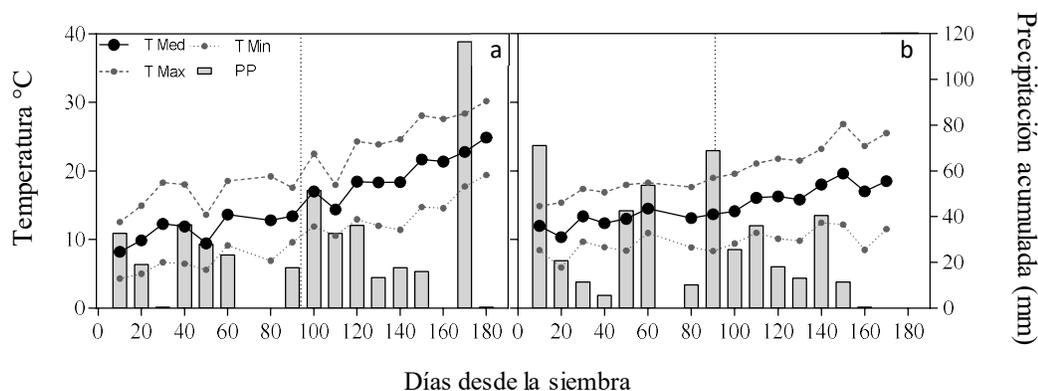
El procedimiento para la obtención de CHOs en tallos se realizó mediante muestreos de un metro lineal correspondiente a cada genotipo a partir de antesis (10 y 25 días después de antesis y madurez). Luego de la cosecha los tallos fueron secados, molidos y llevados a laboratorio para ser analizados mediante el método de estimación de carbohidratos en plantas (Yemm y Willis, 1954) (para los años 2016 y 2017), de estas mismas muestras se realizaron análisis de nitrógeno en tallo mediante el método Kjeldahl únicamente para el año 2017. Se realizaron mediciones de índice de área foliar (IAF) durante el llenado de granos calculándose la duración del área foliar total (DAFT) y la duración del área foliar verde (DAFV). Estas mediciones se realizaron en tres momentos durante el ciclo de llenado de granos: (i) al final del periodo crítico (10 DDA), (ii) grano pastoso (25 DDA) y (iii) madurez a cosecha, tomándose siete plantas por parcela a las cuales se realizaron mediciones de la superficie de todas las hojas (largo x ancho) del vástago principal y macollos, el IAF se calculó utilizando un factor de conversión de 0.835 (Miralles y Slafer, 1990). La DAFV se calculó afectando el IAFT con el porcentaje de severidad. La dinámica de las enfermedades obtenida de la cuantificación del porcentaje de severidad, fue tomada a partir de diez días después de la antesis y hasta la madurez fisiológica. A cosecha se obtuvo el rendimiento y sus componentes de acuerdo a lo detallado en el Capítulo 2.

## 5.3 Resultados

### 5.3.1 Condiciones meteorológicas

Los registros meteorológicos en este experimento conducido en UNLP (en condiciones de secano) fueron tomados del boletín agrometeorológico mensual de la estación experimental Ing. Agr. Hirschhorn (Pardi *et al.*, 2018), en este se destacó que las temperaturas medias alrededor del periodo de antesis (en el cual se efectuaron las inoculaciones) fluctuaron entre 12 y 18°C, mientras que, durante el llenado de los granos la fluctuación se dio entre 18 y 23°C observándose una tendencia de aumento de temperaturas en el año 2016 (Figura 5.1 a) comparado con el año 2017 (Figura 5.1 b). Las precipitaciones acumuladas (mm) para el total del ciclo fueron de 422 mm y 429 mm para los años 2016 y 2017, respectivamente (es importante resaltar que el experimento fue conducido en condiciones de secano). Como se aprecia en la Figura 5.1 alrededor de la

antesis (línea punteada vertical) las precipitaciones acumuladas fueron un tanto superiores en el año 2017, alcanzando hasta 80 mm, comparado con las precipitaciones en ese momento en el año 2016 que llegaron hasta *ca.* 60 mm, y se destacó que a final del llenado de los granos ocurrieron precipitaciones de hasta 120 mm.



**Figura 5.1.** Condiciones meteorológicas de los experimentos realizados en UNLP durante los años 2016 (a) y 2017 (b). Las barras representan las precipitaciones acumuladas (diez días). Las temperaturas se encuentran representadas como el promedio de diez días de las temperaturas mínimas (---●---), medias (---●---) y máximas (---●---). La línea punteada vertical indica el momento antesis en cada año experimental.

### 5.3.2 Clasificación de genotipos de acuerdo al contenido máximo de carbohidratos solubles en tallo.

Como se detalló en el capítulo 2, los genotipos fueron seleccionados de acuerdo a la expresión del contenido de CHOs en ambientes australianos, clasificados inicialmente como genotipos de bajo (SB003 y SB010) y alto (SB084 y SB146) contenido de carbohidratos solubles almacenados en tallos (CHOs). Sin embargo, los genotipos presentaron distintas respuestas en el CHOs, respecto de los resultados en Australia, cuando se los evaluó en el ambiente explorado en este experimento, por lo que se realizó una reclasificación de acuerdo al punto máximo de CHOs (mg/g) detallada en el Cuadro 5.1. Sobre la base de esta clasificación los genotipos se caracterizaron como de bajo (SB003), medio (SB010 y SB084) y alto (SB146) contenido de CHOs en tallos.

**Cuadro 5.1** Clasificación de cultivares de acuerdo al punto máximo de porcentaje de carbohidratos acumulados en el tallo (CHOs). Comparación de medias LSD  $P < 0.05$ . La clasificación de los materiales fue de: bajo contenido de carbohidratos (BCHOs), medio contenido de CHOs (MCHOs) y alto contenido de carbohidratos (ACHOs).

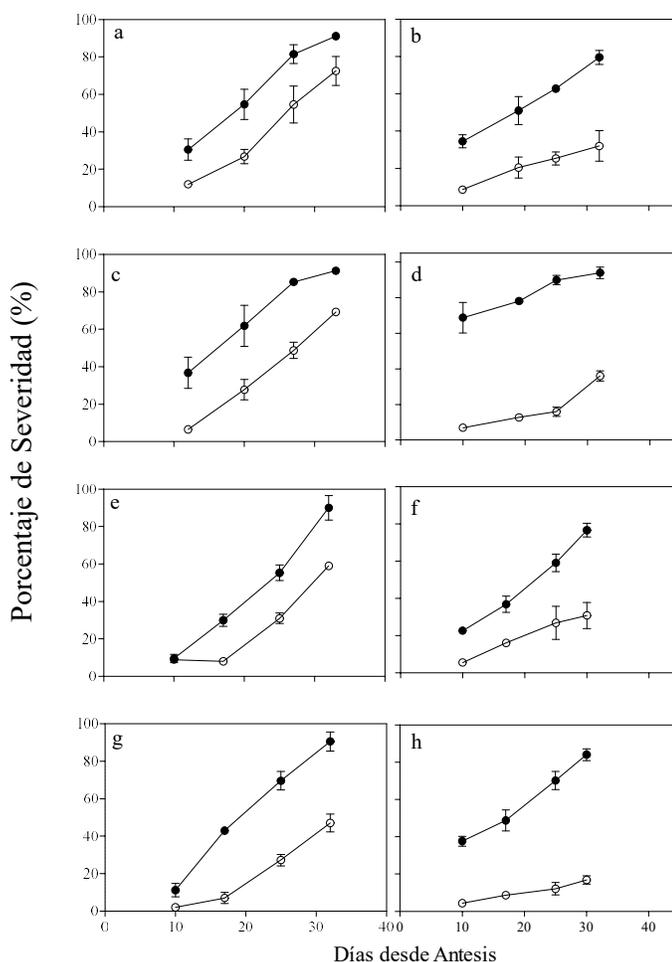
Comparación de medias	2016	2017	Clasificación
	CHOs (mg/g)	CHOs (mg/g)	
SB003	253 b	131 c	BCHOs
SB010	282 ab	182 bc	MCHOs
SB084	276 ab	199 ab	MCHOs
SB146	322 a	251 a	ACHOs

Por otro lado, si bien la fenología fue muy similar entre los materiales, se presentó una leve precocidad en los cultivares SB084 (MCHOs) y SB146 (ACHOs) comparados con

la fenología de los cultivares SB003 (BCHOs) y SB010 (MCHOs) que alcanzaron más tardíamente el momento antesis (6 a 8 días), este leve desfasaje se tuvo en cuenta para los distintos momentos fenológicos correspondientes a cada genotipo.

### 5.3.3 Evolución de las enfermedades durante el llenado de granos

La dinámica de enfermedades (Figura 5.2) presentó un mayor porcentaje de severidad, como era esperable, en el tratamiento enfermo (E) comparado con el tratamiento control (C) en el que, si bien hubo presencia de las enfermedades, estas fueron en magnitudes menores debido al control con fungicidas, los cuales de cualquier manera no pudieron controlar en forma total las enfermedades. El tratamiento (C) tuvo mayor (+39 %) porcentaje de severidad en 2016 comparado con 2017. Estos valores en el ABCPE superiores en el año 2016 se dieron por mayores aumentos de la temperatura media (23 °C) durante el llenado de los granos, comparado con el año 2017 que presentó temperaturas medias por debajo de los 20°C, sumado a las precipitaciones acumuladas que se presentaron a fin del llenado de los granos en el año 2016.



**Figura 5.2.** Dinámica del porcentaje de severidad de las enfermedades foliares durante el llenado de los granos, cada punto representa el promedio de las tres repeticiones para el tratamiento control (símbolos vacíos) y el tratamiento enfermo (símbolos llenos). Las figuras agrupadas a la izquierda corresponden al año 2016 y las figuras agrupadas a la derecha corresponden al año 2017 para los genotipos SB003 BCHOs (a y b), SB010 MCHOs (c y d), SB084 MCHOs (e y f) y SB146 BCHOs (g y h).

La presencia de las enfermedades foliares varió entre los dos años, aunque siempre se destacó la predominancia de roya de la hoja. En el año 2016 la predominancia de roya de la hoja estuvo acompañada de infecciones de inóculo en el lote experimental de *Py. tritici*, mientras que en el año 2017 se evidenció la presencia de enfermedades hemibiotróficas (septoriosis), necrotróficas (mancha amarilla) y biotróficas (mancha amarilla (durante el llenado) y roya del tallo (a fin del llenado)) en las parcelas enfermas. Las dinámicas y ABCPE se describen en la Figura 5.2.

El área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) tomada de las dinámicas de severidad durante el llenado de los granos, permitió detallar las diferencias entre los tratamientos (Cuadro 5.2). Los resultados del análisis de varianza del ABCPE, mostraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los *Genotipos (G)* y *Tratamientos (T)* para los dos años experimentales, así como interacciones entre *Genotipos y Tratamientos (G x T)* significativas ( $P < 0.05$ ) en el año 2017. Las medias del ABCPE del tratamiento enfermo (E) fueron mayores comparadas con el tratamiento control (C) y esta respuesta se dio generalmente en todos los genotipos. Sin embargo, las proporciones entre los tratamientos E y C variaron entre años. En el año 2017, el ABCPE del tratamiento E fue 3.5 veces mayor que el tratamiento C, mientras que en el año 2016 la diferencia fue 1.9 veces mayor en el tratamiento E respecto del C. Los valores de ABCPE en el tratamiento E durante los dos años mostraron valores similares en los distintos genotipos excepto en el genotipo SB010 en donde el ABCPE en el año 2017 fue +31 % más alto que en el año 2016. Por otro lado, los valores de ABCPE del tratamiento C mostraron valores más altos en el año 2016 comparado con el año 2017. Al realizar comparaciones dentro de cada genotipo entre los tratamientos, el genotipo SB146 (ACHOs) fue el que mostró el menor valor de ABCPE durante los dos años, contrariamente el genotipo SB003 (BCHOs) fue el que registró el mayor valor de severidad para las dos campañas experimentales. Los genotipos SB010 y SB084 (MCHOs) mostraron distintas respuestas durante los dos años. En el año 2016 ambos genotipos evidenciaron aumentos similares de ABCPE en el tratamiento E (ca. 2 veces) con respecto al tratamiento C, mientras que en el año 2017 ambos genotipos SB010 y SB084, mostraron aumentos de 5 a 2 órdenes de magnitud, respectivamente; cuando se comparó el tratamiento E respecto del C. Los promedios totales de los *Genotipos* mostraron valores más altos de ABCPE durante los dos años para los genotipos SB003 (BCHOs) y SB010 (MCHOs) comparados con genotipos SB084 (MCHOs) y SB146 (ACHOs) (Cuadro 5.2).

**Cuadro 5.2** Medias de área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), correspondiente a los Genotipos SB003 (BCHOs), SB010 (MCHOs), SB084 (MCHOs) y SB146 (ACHOs) con los respectivos Tratamientos de enfermedad Control (C) y Enfermo (E) y la interacción Genotipos x Tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$  \* para Genotipos, Tratamientos y Genotipos x Tratamientos (GxT).

Comparación de medias		Año 2016	Año 2017	
		ABCPE	ABCPE	
<b>Genotipos</b>				
SB003	BCHOs	1048 a	881 b	
SB010	MCHOs	1066 a	1100 a	
SB084	MCHOs	759 b	671 c	
SB146	ACHOs	815 b	729 bc	
<b>Tratamientos</b>				
Control	(C)	626 b	379 b	
Enfermo	(E)	1218 a	1310 a	
<b>Genotipos x Tratamientos</b>				
SB003	BCHOs	C	803 cd	508 d
		E	1294 a	1253 b
SB010	MCHOs	C	742 de	372 de
		E	1390 a	1827 a
SB084	MCHOs	C	531 ef	421 de
		E	988 bc	921 c
SB146	ACHOs	C	430 f	216 e
		E	1201 ab	1241 b
<b>Genotipos (G)</b>		**	**	
<b>Tratamientos (T)</b>		**	**	
<b>G x T</b>		n.s.	**	

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

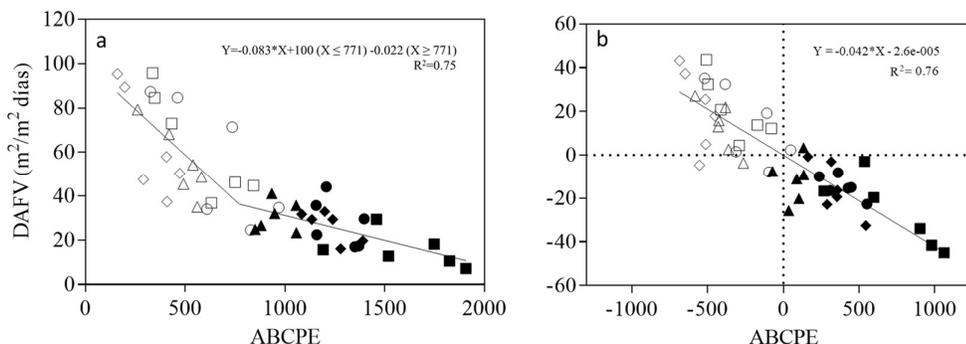
La duración de área foliar total DAFT ( $\text{m}^2/\text{m}^2$  días) promedio anual fue más alta (+32 %) en el año 2017 ( $75 \text{ m}^2/\text{m}^2$  días) con respecto al año 2016 ( $51 \text{ m}^2/\text{m}^2$  días), esta misma tendencia se observó en la duración de área foliar verde DAFV ( $\text{m}^2/\text{m}^2$  días) que también fue más alta (+52 %) en el año 2017 ( $52 \text{ m}^2/\text{m}^2$  días) respecto del año 2016 ( $32 \text{ m}^2/\text{m}^2$  días) (Cuadro 5.3). Ambos parámetros de área foliar presentaron disminuciones significativas ( $P < 0.05$  y  $P < 0.10$  en 2016 y 2017, respectivamente), en el *tratamiento* E respecto del *tratamiento* C (Cuadro 5.3).

**Cuadro 5.3** Medias de la duración de área foliar total DAFT y duración de área foliar verde DAFV, correspondientes a los Genotipos SB003 (BCHOs), SB010 (MCHOs), SB084 (MCHOs) y SB146 (ACHOs), con los respectivos Tratamientos de enfermedad Control (C) y Enfermos (E) y la interacción Genotipos x Tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$  \* para Genotipos, Tratamientos y Genotipos x Tratamientos (GxT) para los años 2016 y 2017.

Comparación de medias	Año 2016		Año 2017		
	DAFT (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> días)	DAFV (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> días)	DAFT (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> días)	DAFV (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> días)	
<b>Genotipos</b>					
SB003 BCHOs	47,2 a	25,1 b	87,1 a	60,4 a	
SB010 MCHOs	54,4 a	31 a	78,2 a	48,5 a	
SB084 MCHOs	50,4 a	36,5 a	67,2 a	47,3 a	
SB146 ACHOs	52,8 a	37,2 a	68,8 a	50,2 a	
<b>Tratamiento</b>					
Control (C)	57,9 a	41,8 a	96,1 a	77,7 a	
Enfermo (E)	44,5 b	23 b	54,5 b	25,6 b	
<b>Genotipo x Tratamiento</b>					
SB003 BCHOs	C	49,7 abc	31,1 ab	113,8 c	87,3 a
	E	44,6 ab	19 a	60,4 ab	33,6 b
SB010 MCHOs	C	61,3 bc	42,6 bc	101,8 c	84,4 a
	E	47,6 abc	19,3 a	54,6 ab	12,6 b
SB084 MCHOs	C	56,8 abc	45 c	82,6 abc	63,1 a
	E	44,1 a	28 a	51,9 a	31,5 b
SB146 ACHOs	C	63,7 c	48,6 c	86,3 bc	75,8 a
	E	41,9 a	25,8 a	51,2 a	24,6 b
<i>Genotipos (G)</i>	n.s.	*	n.s.	n.s.	
<i>Tratamientos (T)</i>	*	**	**	**	
<i>G x T</i>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	

Al realizar una comparación entre los dos parámetros se observó que el tratamiento E mostró mayores reducciones en la DAFV comparados con la DAFT, en ambos años. A su vez, si bien estas reducciones fueron observadas en todos los genotipos durante los dos años, la respuesta varió entre años. En este sentido, en el año 2016 uno de los genotipos con mayores reducciones tanto en la DAFT (-34 %) como en la DAFV (-47 %) fue SB146 (ACHOs), aunque la mayor reducción en la DAFV (-55 %) debido a las enfermedades se registró en el genotipo SB010 (MCHOs). Para este mismo año, el genotipo que presentó las menores reducciones en la DAFT (-10 %) y en la DAFV (-38 %) fue SB003 (BCHOs).

Las diferencias entre *Genotipos* fueron estadísticamente significativas ( $P < 0.10$ ) solamente para la DAFV en el año 2016, siendo el genotipo SB003 (BCHOs) el que registró los menores valores promedio en las dos variables: DAFT (47.2 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> días) y DAFV (25.1 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> días). Es importante recordar que este genotipo junto con el SB010 mostró los mayores valores de ABCPE. Las interacciones *GxT* no fueron significativas para los dos años.



**Figura 5.3** Relaciones funcionales presentadas en valores absolutos entre a) DAFV ( $\text{m}^2/\text{m}^2$  días), y el ABCPE b) y el correspondiente desvío respecto a la media de cada año. Cada punto representa repeticiones de los genotipos SB003 (círculo), SB010 (cuadrado), SB084 (triángulo) y SB146 (diamante) correspondientes a el tratamiento control (símbolos vacíos) y el tratamiento enfermo (símbolos llenos).

La relación entre la DAFV ( $\text{m}^2/\text{m}^2$  días) y el ABCPE durante los dos años fue bilineal negativa ( $R^2 = 0.74$ ) (Figura 5.3). Así, a medida que se incrementó la presencia de enfermedades, la DAFV presentó disminuciones a una tasa menor pasando de una tasa de  $-0.0083 \text{ m}^2/\text{m}^2$  días hasta valores de 771 de ABCPE, a una tasa de reducción sustancialmente menor ( $-0.022 \text{ m}^2/\text{m}^2$  días), luego del valor mencionado de ABCPE (Figura 5.3 a). Sin embargo, cuando los ajustes se realizaron para cada uno de los genotipos, estos mostraron respuestas lineales (SB003 y SB084) y bilineales (SB010 y SB146) (Cuadro 5.4). En los genotipos SB003 (BCHOs) y SB084 (MCHOs) las respuestas fueron lineales negativas, no mostrando diferencias significativas ni en las ordenadas al origen ( $a = 94.62$  y  $81.3$  para los materiales SB003 y SB084, respectivamente) ni en las pendientes ( $b = -0.05$  en ambos genotipos). En el caso de los genotipos SB010 (MCHOs) y SB146 (ACHOs) la relación entre DAFV y ABCPE fue bilineal negativa mostrando diferencias significativas en el punto de inflexión siendo mucho más bajo en el material SB146 (291) respecto del SB010 (938). Las pendientes que reflejan las reducciones en el DAFV por cada punto de aumento en el ABCPE previo al punto de inflexión fue más negativa en el genotipo SB149 (ACHOs) ( $-0.36 \text{ m}^2/\text{m}^2$  días) respecto de SB010 (MCHOs) ( $-0.10 \text{ m}^2/\text{m}^2$  días). Las pendientes posteriores al punto de inflexión no mostraron diferencias entre ambos materiales (Cuadro 5.4).

**Cuadro 5.4** Parámetros de la función bilineal ajustada y el error estándar correspondiente a la relación funcional entre la duración de área foliar verde DAFV y área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) para los genotipos SB003 (BCHOs), SB010 (MCHOs), SB084 (MCHOs) y SB146 (ACHOs).

DAFV vs ABCPE					
Genotipo	Parámetros				
	a	b	C	D	$r^2$
SB003	$94.62 \pm 13.36$	$-0.05 \pm 0.01$			0.64
SB010	$119.8 \pm 12.35$	$-0.10 \pm 0.02$	$937.5 \pm 172.5$	$-0.01 \pm 0.01$	0.91
SB084	$81.83 \pm 8.48$	$-0.05 \pm 0.01$			0.70
SB146	$156 \pm 24.49$	$-0.36 \pm 0.12$	$290.8 \pm 47.35$	$-0.02 \pm 0.06$	0.94

La DAFV en función de ABPCE tomadas en desvíos respecto a la media anual fueron relacionadas negativamente, pero en forma lineal con respuestas similares entre genotipos a las detalladas en los valores absolutos, pero con respuestas lineales (Figura 5.3 b).

### 5.3.5 Incidencia de las enfermedades foliares en el rendimiento y sus componentes

Los rendimientos promedios anuales ( $\text{g/m}^2$ ) mostraron valores más altos (+19 %) en el año 2017 ( $620 \text{ g/m}^2$ ) respecto al año 2016 ( $522.5 \text{ g/m}^2$ ) esto se dio por valores más bajos del rendimiento del tratamiento control (C) en el año 2016 ( $608 \text{ g/m}^2$ ) comparado con el año 2017 ( $786 \text{ g/m}^2$ ) ya que los valores en el rendimiento en el tratamiento enfermo fueron similares entre años:  $497 \text{ g/m}^2$  (2016) y  $454 \text{ g/m}^2$  (2017) (Cuadro 5.5).

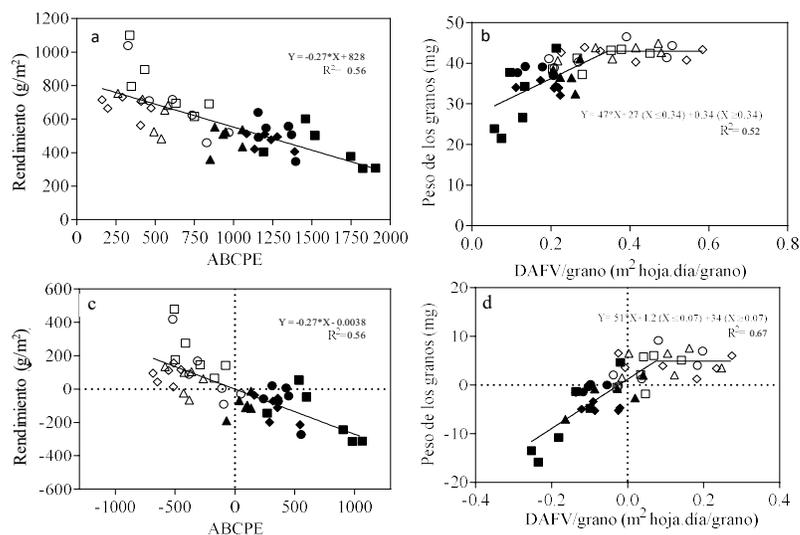
Similar respuesta se dio en el número de granos que fue mayor (+16 %) en el año 2017 ( $16282 \text{ m}^2$ ) respecto al año 2016 ( $14040 \text{ m}^2$ ), el que al igual que los rendimientos fue dado por valores más bajos del número de granos del tratamiento control (C) en el año 2016 ( $14975 \text{ m}^2$ ) comparado con el año 2017 ( $18063 \text{ m}^2$ ) (Cuadro 5.5), ya que los valores en el número de granos en el tratamiento enfermo (E) fueron similares:  $13105 \text{ m}^2$  (2016) y  $14501 \text{ m}^2$  (2017). Contrariamente, el peso de los granos fue mayor (+5 %) en el año 2016 ( $39.5 \text{ mg}$ ) respecto al año 2017 ( $37.5 \text{ mg}$ ).

**Cuadro 5.5** Medias de los rendimientos Rn ( $\text{g/m}^2$ ), Número de granos NG ( $\text{m}^2$ ), Peso de los granos PG (mg) correspondiente a los *Genotipos* SB003 (BCHOs), SB010 (MCHOs), SB084 (MCHOs) y SB146 (ACHOs) con los respectivos *Tratamientos* de enfermedad Control (C) y Enfermos (E) y la interacción *Genotipos x Tratamientos*. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$  \* para *Genotipos*, *Tratamientos* y *Genotipos x Tratamientos* (GxT).

Comparación de medias	Año 2016			Año 2017			
	Rn ( $\text{g/m}^2$ )	NG ( $\text{m}^2$ )	PG (mg)	Rn ( $\text{g/m}^2$ )	NG ( $\text{m}^2$ )	PG (mg)	
<b>Genotipos</b>							
SB003 BCHOs	542 a	13742 ab	39 a	652 a	16421 a	39 a	
SB010 MCHOs	585 a	15029 a	39 a	631 a	17693 a	34 b	
SB084 MCHOs	499 a	12421 b	40 a	624 a	16176 a	39 a	
SB146 ACHOs	576 a	14842 a	39 a	575 a	14838 a	38 a	
<b>Tratamientos</b>							
Control (C)	608 a	14975 a	41 a	786 a	18063 a	44 a	
Enfermo (E)	497 b	13105 b	38 b	454 b	14501 b	31 b	
<b>Genotipos x Tratamientos</b>							
SB003 BCHOs	C	566 abc	14052 bc	40 a	791 ab	17862 ab	44 a
	E	519 bc	13432 bc	39 a	512 cd	14981 bc	34 b
SB010 MCHOs	C	668 a	17103 a	39 a	931 a	21616 a	43 a
	E	503 c	12955 c	39 a	331 d	13770 bc	24 c
SB084 MCHOs	C	554 abc	13413 bc	41 a	719 ab	16236 bc	44 a
	E	444 c	11429 c	39 a	529 cd	16088 bc	33 b
SB146 ACHOs	C	645 ab	15334 ab	42 a	704 bc	16512 bc	43 a
	E	521 c	14602 ab	35 b	446 c	13164 c	34 b
<i>Genotipos (G)</i>	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	**	
<i>Tratamientos (T)</i>	**	**	*	**	*	**	
<i>G x T</i>	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	**	

Los *tratamientos* de enfermedad fueron estadísticamente significativos para rendimiento, número de granos y peso de los granos ( $P < 0.05$  y  $P < 0.10$ , dependiendo del componente) (Cuadro 5.5). Las enfermedades afectaron diferencialmente el rendimiento y sus componentes en ambos años. En el año 2016 las disminuciones en el rendimiento producto de la enfermedad (-18 %), se asociaron a disminuciones en el número de granos (-12 %), y en menor medida con el peso de los granos (-7 %). En el año 2017, con mayores rendimientos respecto del 2016, las disminuciones en el rendimiento asociadas a las enfermedades fueron mayores (-42 %) afectando en mayor medida el peso de los granos (-29 %), que el número de los granos (-19 %) (Cuadro 5.5). A su vez, estas respuestas fueron diferentes entre los genotipos y entre años, aunque solo se observó *interacción GxT* en el año 2017. En el año 2016 las menores respuestas en reducción en el rendimiento fueron observadas en el genotipo SB003 (BCHOs) (-8 %) mientras que las mayores se registraron en el genotipo SB010 (MCHOs) (-25 %), los materiales SB084 y SB146 (MCHOs) mostraron respuestas intermedias con una reducción del -20 %.

Particularmente el genotipo SB146 (ACHOs) mostró reducciones en el rendimiento debido principalmente a disminuciones en el peso de los granos (-17 %). En el año 2017 las respuestas de los genotipos a disminuciones en el rendimiento debido a la presencia de enfermedades variaron respecto del año 2016, observándose una *interacción GxT* únicamente en el año 2017, donde las menores reducciones en el rendimiento se registraron en el genotipo SB084 (-26 %) y las mayores en el genotipo SB010 (-64 %) (genotipos con MCHOs) mientras que los materiales SB003 (BCHOs) y SB146 (ACHOs) mostraron respuestas intermedias con reducciones cercanas al -37 %. Si bien hubo efecto significativo en los componentes número y peso de los granos en el año 2017, los mayores porcentajes de reducción se dan en el peso de los granos, en el genotipo SB010 (MCHOs) se observaron reducciones importantes (-36 %) asociadas a la presencia de la enfermedad en el número de granos comparado con las reducciones que presentaron los demás genotipos.



**Figura 5.4** Relaciones funcionales presentadas en valores absolutos entre a) Rendimiento y ABCPE, b) Peso de los granos y DAFV/grano ( $\text{m}^2$  hoja. día/grano), y los desvíos respecto a la media de cada año c y d correspondientes a los parámetros en a y b. Cada punto representa repeticiones de los genotipos SB003 (círculo), SB010 (cuadrado), SB084 (triángulo) y SB146 (diamante) correspondientes a el tratamiento control (símbolos vacíos) y el tratamiento enfermo (símbolos llenos).

Cuando se toma el conjunto de datos, la relación entre el rendimiento ( $\text{g/m}^2$ ) y el ABCPE fue lineal y negativa ( $R^2= 0.56$ ), mostrando que el rendimiento se redujo  $0.27 \text{ g/m}^2$  por cada unidad de aumento en el ABCPE (Figura 5.4 a). En el cuadro 5.6 se detallan las respuestas de esta relación para cada genotipo, mostrando índices de correlación altos en los genotipos SB010 ( $R^2= 0.81$ ) y SB146 ( $R^2= 0.84$ ) mientras que en los genotipos SB003 ( $R^2= 0.61$ ) y SB084 ( $R^2= 0.48$ ) las correlaciones entre ambas variables fueron menores. Similar tendencia mostró los cambios en los valores absolutos respecto de la media de cada año (Figura 5.4 d).

**Cuadro 5.6** Parámetros de la función lineal y el error estándar correspondiente a la relación funcional entre rendimiento y área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) para los genotipos SB003 (BCHOs), SB010 (MCHOs), SB084 (MCHOs) y SB146 (ACHOs).

Genotipo	Rendimientos vs ABCPE		
	Parámetros		
	A	b	$R^2$
SB003	$954.9 \pm 214$	$-0.37 \pm 0.20$	0.61
SB010	$1010.0 \pm 154$	$-0.37 \pm 0.12$	0.81
SB084	$780.4 \pm 170$	$-0.30 \pm 0.22$	0.48
SB146	$746.3 \pm 61$	$-0.22 \pm 0.06$	0.84

El peso de los granos estuvo relacionado en forma positiva con una respuesta bilineal con el DAFV/grano ( $R^2= 0.52$ ) tomando esta última variable como una medida de la fuente disponible por cada grano durante el llenado de los granos (Figura 5.4 b). El tratamiento enfermo registró valores menores (como era esperable) respecto del control. El conjunto de datos muestra una relación lineal positiva hasta el punto de inflexión *ca.*  $0.34 \text{ m}^2 \text{ hoja. día/grano}$ , a partir del cual el peso se mantiene constante (*ca.*  $44 \text{ mg}$ ). Por debajo del punto de inflexión el peso se reduce a una tasa de  $47 \text{ mg/m}^2 \text{ hoja.día/grano}$ . Respuestas similares se observaron, aunque con un mayor grado de correlación ( $R^2=0.67$ ) entre ambas variables cuando los valores absolutos de Peso de granos y DAFV/grano fueron calculados en función de la media de cada año (Figura 5.4 d).

**Cuadro 5.7** Parámetros y error estándar correspondiente a la relación funcional entre peso del grano y la duración de área foliar verde DAFV, para los genotipos SB003 (BCHOs), SB010 (MCHOs), SB084 (MCHOs) y SB146 (ACHOs).

Genotipo	Peso vs DAFV/grano				
	Parámetros				
	a	B	c	d	$R^2$
SB003	$36.40 \pm 1.46$	$15.43 \pm 4.83$			0.55
SB010	$18.21 \pm 4.83$	$106.3 \pm 38.12$	$0.21 \pm 0.06$	$8.24 \pm 26.73$	0.75
SB084	$22.04 \pm 5.31$	$69.14 \pm 23.78$	$0.29 \pm 0.04$	$5.55 \pm 16.06$	0.79
SB146	$26.23 \pm 5.08$	$48.69 \pm 27.30$	$0.32 \pm 0.09$	$0.18 \pm 17.39$	0.54

En el cuadro 5.7 se detallan las respuestas de esta relación para cada genotipo, en donde todos los genotipos comparten la misma tendencia de la relación bilineal excepto el

genotipo SB003 que muestra una relación lineal ( $R^2=0.55$ ). Este índice de correlación es similar a la respuesta bilineal del genotipo SB146 ( $R^2=0.54$ ), obteniéndose correlaciones más altas en los genotipos SB010 ( $R^2=0.75$ ) y SB084 ( $R^2=0.79$ ) MCHOs. En los genotipos con tendencia bilineal se observa una relación lineal hasta el punto de inflexión que va desde los 0.21 hasta los 0.32 m<sup>2</sup> hoja. día/grano (Cuadro 5.7) a partir del cual el peso se mantiene constante (ca. 44 mg). Por debajo del punto de inflexión el peso se reduce a una tasa que va desde los 48.7 (SB146 ACHOs) hasta 106.3 mg/m<sup>2</sup> hoja.día/grano (SB010). El genotipo SB003 (BCHOs) fue el que registró las caídas en el peso de los granos más bajas con valores de 15.4 mg/m<sup>2</sup> hoja.día/grano.

### 5.3.6 Acumulación de los carbohidratos solubles en tallo ante la presencia de las enfermedades foliares

Para analizar el efecto de las enfermedades en la acumulación de carbohidratos solubles en tallo CHOS (g/m<sup>2</sup>) se seleccionó el momento máximo (antesis + 25) y mínimo (madurez fisiológica) de acumulación durante el ciclo del cultivo para los dos años (Cuadro 5.8). Los resultados mostraron un efecto significativo de los *genotipos* en ambos años para los máximos y mínimos valores de CHOs. Similar respuesta fue observada para los *tratamientos* de enfermedad (aunque la excepción fue el nivel mínimo de CHOs en el año 2016 que no registró diferencias significativas. No se observaron interacciones GxT (Cuadro 5.8).

Los niveles de CHOs en tallos tanto máximo como mínimo fueron más altos en el año 2016 respecto del 2017. Esta respuesta se dio por las fuertes reducciones ocasionadas por la enfermedad en los niveles tanto máximos (-59 %) como mínimos (-81 %) de CHOs en el año 2017, comparado con las reducciones ocasionadas por la enfermedad en el año 2016 en los niveles máximos (-10 %) y mínimos (-26 %).

La presencia de enfermedades redujo los valores máximos como mínimos de CHOs en ambos años, aunque en diferentes proporciones. Así, las enfermedades redujeron los máximos CHOs acumulados en un 11 y 60 % en 2016 y 2017, respectivamente cuando se compararon respecto del control. Sin embargo, los valores mínimos de CHOs fueron más afectados por la presencia de enfermedades reduciendo 26 y 85 % en 2016 y 2017, respectivamente cuando se compararon respecto del control (Cuadro 5.8).

El análisis de los genotipos en respuesta a los tratamientos de enfermedades mostró que el genotipo SB010 (MCHOs) registró durante los dos años y para los dos momentos (máximo y mínimo contenido de CHOs) las mayores diferencias cuando se comparó el tratamiento E respecto del C (Cuadro 5.8). Así en el año 2016 las reducciones en el nivel de CHOs (i.e. consumo) debido a la presencia de las enfermedades fueron de -17 y -34 % para los valores máximos y mínimos, respectivamente y en el año 2017 las reducciones en ambos niveles fueron del -72 % y -92 % para el máximo y el mínimo valor de CHOs.

**Cuadro 5.8** Medias de los carbohidratos acumulados en tallo máximos CHOs ( $\text{g/m}^2$ ) Max y mínimos CHOs ( $\text{g/m}^2$ ) min para los años 2016 y 2017, las medias del nitrógeno disponible en el momento máximo N ( $\text{g/m}^2$ ) Max y mínimo N ( $\text{g/m}^2$ ) Min para el año 2017, correspondientes a los *Genotipos* SB003 (BCHOs), SB010 (MCHOs), SB084 (MCHOs) y SB146 (ACHOs), los *Tratamientos* de enfermedad Control (C) y Enfermos (E) y la interacción *Genotipos x Tratamientos*. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD  $P < 0.05$  \*\* y  $P < 0.10$  \* para *Genotipos*, *Tratamientos* y *Genotipos x Tratamientos* (GxT).

Comparación de medias	de	Año 2016		Año 2017			
		CHOs ( $\text{g/m}^2$ ) Max	CHOs ( $\text{g/m}^2$ ) Min	CHOs ( $\text{g/m}^2$ ) Max	CHOs ( $\text{g/m}^2$ ) Min	N ( $\text{g/m}^2$ ) Max	N ( $\text{g/m}^2$ ) Min
<b>Genotipos</b>							
SB003	BCHOs	131,4 b	36,7 b	96,6 b	9,9 ab	4,7 a	1,6 a
SB010	MCHOs	170,1 a	55,3 a	91,8 b	19,2 a	4,7 a	1,7 a
SB084	MCHOs	107,7 b	30,8 b	109,2 b	7,1 b	4,9 a	1,1 b
SB146	ACHOs	165,9 a	46,0 ab	172,3 a	14,0 ab	4,9 a	1,4 ab
<b>Tratamiento</b>							
Control	(C)	151,7 a	48,6 a	166,9 a	21,8 a	4,9 a	1,4 a
Enfermo	(E)	135,9 b	35,8 a	68,0 b	3,3 b	4,6 a	1,5 a
<b>Genotipo x Tratamiento</b>							
SB003	C	135,6 bc	39,6 bc	113,1 bcd	17,0 bc	5,3 a	1,7 ab
	E	127,2 bc	33,8 c	80,0 cde	2,9 d	4,2 b	1,5 abc
SB010	C	186,0 a	66,7 a	143,3 bc	35,5 a	4,9 ab	1,5 abc
	E	154,2 ab	43,9 abc	40,3 e	2,9 d	4,2 ab	1,9 a
SB084	C	111,2 c	29,5 c	158,4 b	12,5 bcd	4,8 ab	1,2 bc
	E	104,1 c	32,1 c	60,0 de	1,8 d	5,2 ab	1,0 c
SB146	C	173,9 a	58,7 ab	252,9 a	22,4 ab	4,7 ab	1,1 bc
	E	158,0 ab	33,4 c	91,7 bcde	5,6 cd	5,2 ab	1,6 abc
<i>Genotipos (G)</i>		**	**	**	*	n.s.	**
<i>Tratamientos (T)</i>		*	n.s.	**	*	n.s.	n.s.
<i>G x T</i>		n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.

El genotipo que mostró menores reducciones en el contenido de CHOs asociado a la presencia de enfermedades durante los dos años fue SB003 (BCHOs). En este genotipo las enfermedades redujeron los valores máximos y mínimos un -6 y -15 % respectivamente en el año 2016 y un -29 y -83 % en el año 2017 (Cuadro 5.8). La comparación del promedio para cada uno de los *genotipos* en cuanto al contenido de CHOs fue estadísticamente significativa al  $P < 0.05$  y  $P < 0.10$  durante los dos años, respectivamente. Los genotipos que registraron valores más altos en el punto de acumulación máximo de CHOs fueron SB010 ( $170.1 \text{ g/m}^2$ ) y SB146 ( $165.9 \text{ g/m}^2$ ) en el año 2016 y la misma respuesta se dio en el genotipo SB146 (ACHOs) en el año 2017 que mostró los valores más altos de CHOs ( $172.3 \text{ g/m}^2$ ) comparado con los demás genotipos.

Durante el año 2017 se realizaron determinaciones de nitrógeno en tallos (Cuadro 5.8), no registrándose diferencias significativas entre *tratamientos* de enfermedades. En cuando a las diferencias entre genotipos, si bien el contenido de nitrógeno en el punto máximo de acumulación de CHOs no mostró diferencias significativas, si se observaron diferencias ( $P < 0.05$ ) en el contenido de nitrógeno correspondiente al valor de acumulación mínima de CHOs en tallos.

### 5.3.7 Modificaciones en la calidad comercial ante la presencia de enfermedades foliares

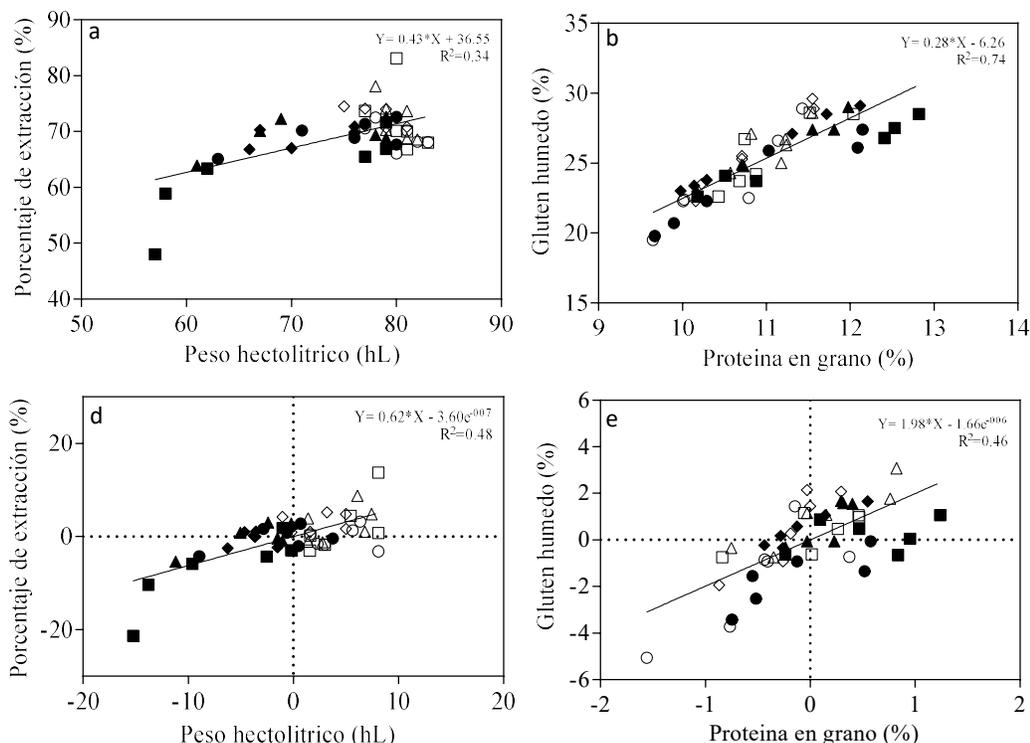
Las medias correspondientes a los parámetros de calidad comercial: peso hectolítrico PH (hL), porcentaje de extracción de la harina EXT (%), contenido de proteína en grano CPG (%), contenido de proteína en harina CPH (%), gluten húmedo GH (%) y gluten seco GS (%) para los dos años se encuentran detalladas en el cuadro 5.9. En términos generales se observaron respuestas significativas  $P < 0.05$  en la mayoría de los parámetros entre los *genotipos* en el año 2016 (con excepción del EXT). Contrariamente los *genotipos* difirieron significativamente en el año 2017 en un solo parámetro (PH) no observándose diferencias significativas en el resto de los parámetros de calidad industrial. Al comparar las medias los *tratamientos*: enfermo (E) respecto al tratamiento control (C), se observan diferencias significativas  $P < 0.05$  y  $P < 0.10$  en los parámetros PH, CPG y GH respectivamente, los demás parámetros no presentaron diferencias significativas en el año 2016.

En el año 2017 se presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en los parámetros de PH, EXT, CPG y CPH (Cuadro 5.9). Sin embargo, las comparaciones entre los *tratamientos* E y C variaron en magnitud y en algunos casos fueron en sentido inverso en ambos años. En el año 2017 las disminuciones fueron mayores comparadas con el año 2016. Si bien, el PH disminuyó en los dos años presentando en el año 2017 las disminuciones fueron mayores (-15 %) comparadas con las del año 2016 (-4 %), mientras que el EXT solamente disminuyó (-11 %) en el año 2017. El CPG en el año 2016 disminuyó un -2 %, mientras que en el año 2017 se incrementó un +7 %, en respuesta a las enfermedades. El GH y GS no presentó respuestas significativas y no se observaron tendencias destacadas. A pesar de estas respuestas contradictorias, no se observaron interacciones  $G \times T$  significativas en los parámetros durante los dos años, excepto en el PH y el EXT que muestran diferencias significativas  $P < 0.05$  en el año 2017.

Cuando se toma el conjunto de datos, la relación entre el porcentaje de extracción de harina (%) y el peso hectolítrico (hL) fue lineal y positiva ( $R^2 = 0.34$ ), mostrando que el porcentaje de extracción aumenta 0.43 % por cada unidad de aumento en el peso hectolítrico (Figura 5.5 a). Los valores menores tanto de E como de PH correspondieron al *tratamiento* enfermo. Similar tendencia mostró los cambios en los valores absolutos respecto de la media de cada año (Figura 5.5 c) con un coeficiente de correlación más alto ( $R^2 = 0.48$ ).

**Cuadro 5.9** Medias de los parámetros de calidad comercial peso hectolítrico PH (hL), porcentaje de extracción de la harina EXT (%), contenido de proteína en grano CPG (%), contenido de proteína en harina CPH (%), gluten húmedo GH (%) y gluten seco GS (%), correspondientes a los Genotipos SB003 (BCHOs), SB010 (MCHOs), SB084 (MCHOs) y SB146 (ACHOs), los Tratamientos de enfermedad Control (C) y Enfermos (E) y la interacción Genotipos x Tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD P <0.05 \*\* y P<0.10 \* para Genotipos, Tratamientos y Genotipos x Tratamientos (GxT) para los años 2016 y 2017.

Comparación de medias	Año 2016						Año 2017					
	PH (hL)	EXT (%)	CPG (%)	CPH (%)	GH (%)	GS (%)	PH (hL)	EXT (%)	CPG (%)	CPH (%)	GH (%)	GS (%)
<b>Genotipos</b>												
SB003 BCHOs	81 a	70 a	10,2 b	9,4 c	21,2 b	7,3 b	74 a	69 a	11,3 a	10,5 a	26,2 a	9,2 a
SB010 MCHOs	80 a	68 a	10,5 ab	9,8 b	23,5 a	8,0 a	69 b	66 a	12,0 a	10,8 a	27,8 a	9,6 a
SB084 MCHOs	80 a	70 a	10,8 a	10,2 a	24,7 a	8,5 a	72 ab	71 a	11,5 a	10,7 a	27,7 a	9,5 a
SB146 ACHOs	78 b	71 a	10,2 b	9,7 bc	23,6 a	8,0 a	72 ab	71 a	11,5 a	10,7 a	28,1 a	9,7 a
<b>Tratamiento</b>												
Control (C)	81 a	70 a	10,5 a	9,8 a	23,5 a	8,0 a	78 a	73 a	11,2 b	10,3 b	27,3 a	9,3 a
Enfermo (E)	78 b	70 a	10,3 b	9,8 a	22,9 b	7,9 a	66 b	65 b	12,0 a	11,0 a	27,6 a	9,7 a
<b>Genotipo x Tratamiento</b>												
SB003 BCHOs	C 82 a	E 69 ab	10,2 bc	9,5 cd	21,4 bc	7,4 bc	78 a	70 a	10,9 c	10,1 b	26,0 a	8,9 a
	E 79 b	C 71 ab	10,0 c	9,3 d	20,9 c	7,3 c	70 c	68 a	11,8 abc	10,9 ab	26,5 a	9,5 a
SB010 MCHOs	C 82 a	E 68 b	10,6 ab	9,7 bcd	23,5 ab	8,0 abc	79 a	76 a	11,4 abc	10,3 b	27,9 a	9,5 a
	E 78 b	C 68 b	10,3 abc	9,9 abc	23,5 ab	8,0 abc	59 b	57 b	12,6 bc	11,3 ab	27,6 a	9,7 a
SB084 MCHOs	C 81 a	E 70 ab	11,0 a	10,3 a	25,2 a	8,7 a	79 a	74 a	11,2 bc	10,5 ab	27,5 a	9,3 a
	E 78 b	C 70 ab	10,5 abc	10,0 ab	24,2 a	8,3 a	66 b	69 a	11,8 ab	10,9 ab	27,9 a	9,7 a
SB146 ACHOs	C 80 b	E 72 a	10,5 abc	9,7 bcd	23,7 a	8,1 abc	76 a	73 a	11,3 bc	10,5 ab	28,0 a	9,6 a
	E 77 c	C 70 ab	10,1 abc	9,8 d	23,2 ab	7,9 abc	68 b	68 a	11,7 abc	10,9 ab	28,2 a	9,9 a
<i>Genotipos (G)</i>	**	n.s.	**	**	**	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Tratamientos (T)</i>	**	n.s.	*	n.s.	**	n.s.	**	**	**	**	n.s.	n.s.
<i>G x T</i>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.



**Figura 5.5** Relaciones funcionales en valores absolutos entre a) Porcentaje de extracción (%) y Peso hectolítrico (hL), b) Gluten húmedo (%) y contenido de proteína en grano (%) con sus respectivos desvíos respecto a la media de cada año d y e. Cada punto representa repeticiones de los genotipos SB003 (círculo), SB010 (cuadrado), SB084 (triángulo) y SB146 (diamante) correspondientes a el tratamiento control (símbolos vacíos) y el tratamiento enfermo (símbolos llenos).

Al relacionar el porcentaje de gluten húmedo (%) y el porcentaje de proteína en grano (%) el conjunto de datos muestra una relación lineal y positiva ( $R^2=0.74$ ), indicando que el porcentaje de gluten húmedo aumenta 2.8 % por cada unidad de aumento en el porcentaje de proteína en grano (Figura 5.5 b). En dicha relación no se observa una clara diferenciación entre los tratamientos enfermos y sanos. Similar tendencia mostró los cambios en los valores absolutos respecto de la media de cada año (Figura 5.5 d) con un coeficiente de correlación más bajo ( $R^2=0.46$ ).

### 5.3.8 Modificaciones en los parámetros de calidad industrial ante la presencia de las enfermedades foliares

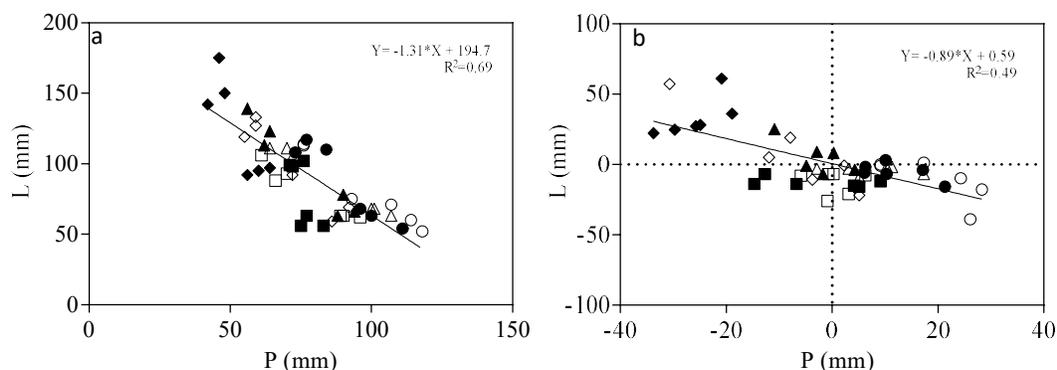
Las medias correspondientes a los parámetros alveográficos tenacidad P (mm), extensibilidad L (mm), la relación entre los dos parámetros P/L y fuerza de la masa W ( $J \times 10^{-4}$ ), el parámetro de panificación determinado por el volumen ( $\text{cm}^3$ ) y el índice de caída “Falling number” FN (s), se encuentran en el cuadro 5.10. Los valores de los parámetros alveográficos promedio durante los dos años mostraron distintas respuestas. En el año 2017 P y la relación P/L mostraron valores promedio más bajos (-25 y -54 %, respectivamente) comparados con el año 2016. Contrariamente L mostró valores más altos en el año 2017 (+65 %, respecto del 2016) y W mostró valores promedio similares. El volumen de pan y FN mostraron valores promedio más altos en el año 2017 +16 % y +22 %, respectivamente, respecto del año 2016.

Las comparaciones de las medias entre *tratamientos* de enfermedades, en el año 2016 con excepción de la extensibilidad, todos los parámetros mostraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) reduciendo los valores ante la presencia de enfermedad, con excepción del FN el cual se incrementó como consecuencia de la presencia de enfermedades. En el año 2017 solo el P y el L mostraron diferencias significativas, aunque en sentidos opuestos ya que las enfermedades redujeron el valor P, pero incrementaron significativamente el valor de L (Cuadro 3.10).

**Cuadro 5.10** Medias de los parámetros alveográficos tenacidad P (mm), extensibilidad L (mm), la relación entre los dos parámetros P/L y fuerza de la masa W ( $J \times 10^{-4}$ ); y el índice de caída “Falling number” FN (s) correspondientes a los *Genotipos* SB003 (BCHOs), SB010 (MCHOs), SB084 (MCHOs) y SB146 (ACHOs), los *Tratamientos* de enfermedad Control (C) y Enfermos (E) y la interacción *Genotipos x Tratamientos*. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, ANOVA LSD P <0.05 \*\* y P<0.10 \* para *Genotipos*, *Tratamientos* y *Genotipos x Tratamientos* (GxT) para los años 2016 y 2017.

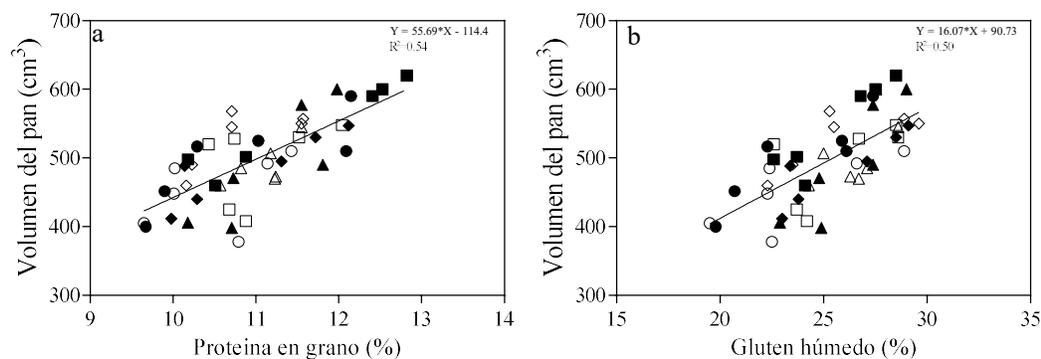
Comparación de medias	Año 2016						Año 2017						
	P (mm)	L (mm)	P/L	W ( $J \times 10^{-4}$ )	Volumen ( $cm^3$ )	FN (s)	P (mm)	L (mm)	P/L	W ( $J \times 10^{-4}$ )	Volumen ( $cm^3$ )	FN (s)	
<b>Genotipos</b>													
SB003 BCHOs	108 a	61 b	1,8 a	249 a	433 a	338 a	80 a	106 bc	0,8 a	272 a	519 a	426 a	
SB010 MCHOs	85 b	61 b	1,4 b	179 b	469 a	348 a	69 b	98 c	0,7 ab	198 c	551 a	410 a	
SB084 MCHOs	97 c	68 b	1,4 b	240 a	453 a	337 a	65 b	117 ab	0,6 bc	221 b	528 a	406 a	
SB146 ACHOs	71 d	87 a	0,9 c	187 b	476 a	344 a	54 c	134 a	0,4 c	174 d	536 a	423 a	
<b>Tratamiento</b>													
Control (C)	97 a	69 a	1,5 a	231 a	462 a	333 b	70 b	105 b	0,7 a	211 a	520 a	405 a	
Enfermo (E)	84 b	69 a	1,3 b	196 b	454 a	351 a	64 a	123 a	0,6 a	222 a	556 a	427 a	
<b>Genotipo x Tratamiento</b>													
SB003 BCHOs	C	113 a	61 bc	1,9 a	263 a	411 c	331 ab	82 a	101 bc	0,9 a	252 b	496 d	407 b
	E	102 ab	62 bc	1,7 ab	235 abc	456 ab	345 ab	78 ab	112 bc	0,7 ab	293 a	542 bc	445 a
SB010 MCHOs	C	92 bc	63 bc	1,5 abc	199 d	451 ab	351 ab	66 cd	96 c	0,7 ab	181 de	536 bcd	402 b
	E	78 d	58 c	1,3 bc	158 e	487 ab	345 ab	73 abc	100 bc	0,7 ab	214 c	567 a	417 ab
SB084 MCHOs	C	103 ab	66 bc	1,6 abc	254 ab	480 ab	328 b	69 bcd	109 bc	0,6 ab	222 c	500 cd	412 b
	E	91 bcd	69 abc	1,3 bc	226 bcd	425 bc	347 ab	61 d	125 bc	0,5 bc	219 c	556 b	399 ab
SB146 ACHOs	C	79 cd	85 ab	1,1 cd	207 cd	506 a	321 b	62 cd	115 b	0,6 bc	188 d	551 b	400 b
	E	64 e	88 a	0,8 d	167 e	447 ab	368 a	45 e	156 a	0,3 c	161 e	521 bcd	446 a
<i>Genotipos (G)</i>	**	**	**	**	n.s.	n.s.	**	**	**	**	n.s.	n.s.	
<i>Tratamientos (T)</i>	**	n.s.	**	**	n.s.	**	**	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	
<i>G x T</i>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	

Al relacionar el conjunto de datos en valores absolutos correspondiente a la extensibilidad de la masa L (mm) y P (mm) se observa una respuesta lineal y negativa ( $R^2= 0.69$ ), mostrando que la extensibilidad disminuye 1.31 mm por cada unidad de aumento en P (Figura 5.6 a).



**Figura 5.6** Relaciones funcionales en valores absolutos entre a) Parámetros del alveograma: Extensibilidad de la masa L (mm) y Tenacidad P (mm), con sus respectivos desvíos respecto a la media de cada año b. Cada punto representa repeticiones de los genotipos SB003 (circulo), SB010 (cuadrado), SB084 (triángulo) y SB146 (diamante) correspondientes a el tratamiento control (símbolos vacíos) y el tratamiento enfermo (símbolos llenos).

Similar tendencia mostró los cambios en los valores absolutos respecto de la media de cada año (Figura 5.6 b) con un coeficiente de correlación más bajo ( $R^2= 0.49$ ). En esta figura, se destaca el genotipo SB146 (ACHOs) que frente a los demás genotipos muestra una alta extensibilidad L (mm) y una baja tenacidad de las masas P (mm), contrariamente el genotipo SB003 (BCHOs) mostró una alta tenacidad P (mm) y una baja extensibilidad de las masas (L). Tal como se observa en las figuras los valores sanos y enfermos se distribuyen a lo largo de ambos ejes sin que se observe una clara tendencia entre ellos.



**Figura 5.7** Relaciones funcionales en valores absolutos entre parámetros de calidad comercial y volumen del pan a) relación entre el volumen del pan ( $\text{cm}^3$ ) y contenido de proteína en grano Cada punto representa repeticiones de los genotipos SB003 (circulo), SB010 (cuadrado), SB084 (triángulo) y SB146 (diamante) correspondientes a el tratamiento control (símbolos vacíos) y el tratamiento enfermo (símbolos llenos).

Relaciones funcionales entre parámetros de calidad comercial y el volumen del pan se muestran en la Figura 5.7 en donde se aprecia que el volumen del pan ( $\text{cm}^3$ ) mostró una asociación positiva con el contenido de proteína en grano ( $R^2=0.54$ ), sin embargo, la asociación con el gluten húmedo fue levemente menor ( $R^2= 0.50$ ).

## 5.4 Discusión

El objetivo principal de este capítulo está enfocado en analizar los cambios que ocurren en la calidad del trigo tanto en parámetros comerciales como en las propiedades viscoelásticas y panificación de genotipos con distinta acumulación de carbohidratos solubles en tallo (CHOs) ante la presencia de las enfermedades foliares con predominancia de roya de la hoja. Estos genotipos fueron seleccionados de acuerdo a la clasificación que se detalla en el capítulo 2 (2.1), sin embargo, se destacó en estos genotipos una performance diferente de acuerdo al ambiente explorado ya que en ambientes australianos los genotipos SB003 y SB010 presentaron una baja acumulación de CHOs (Dreccer *et al.*, 2013), comparados con los genotipos SB084 y SB146 que presentaron una acumulación de CHOs más alta (Dreccer *com.pers*). En el presente ensayo se realizó una reclasificación de acuerdo a los resultados obtenidos mediante el protocolo de Yemm y Willis (1954) utilizando como criterio el punto máximo de porcentaje de carbohidratos obtenidos en tallo (representados en mg/g) a partir del momento antesis (Cuadro 5.1), en donde el genotipo SB003 presentó los valores más bajos de CHOs (BCHOs), los genotipos SB010 y SB084 mostraron valores similares catalogados como intermedios de CHOs (MCHOs) y el genotipo SB146 catalogado como de alto contenido de CHOs (ACHOs) debido a los valores que presentó entre los genotipos.

### 5.4.1 Incidencia de las enfermedades foliares en la duración del área foliar y el efecto en los rendimientos.

Durante el seguimiento de las enfermedades en campo se observó una predominancia importante de roya de la hoja debido a las inoculaciones realizadas con esporas de esta enfermedad de la raza TDT 10 y 20. Es importante destacar que la metodología de seguimiento de las enfermedades en el experimento de este capítulo, fue distinta a la de los experimentos descritos en los capítulos 3 y 4 (en donde se marcaban siete vástagos principales por parcela enferma previo a las inoculaciones) la metodología de estos experimentos permitió detallar la evolución de las enfermedades a nivel foliar cuantificándolas de manera individual (Capítulo 2). En este experimento, la metodología de muestreo detallada en el capítulo 2 indica que se seleccionaron 7 plantas por parcela que fueron extraídas para la cuantificación de las enfermedades a partir de los diez días después de antesis, esto quiere decir que el seguimiento se realizó en plantas diferentes, por lo tanto el detalle de evolución de cada enfermedad no pudo efectuarse.

En línea con los capítulos anteriores y con diversos autores (Campbell y Madden 1990; Wegulo *et al.*, 2012) la presencia de las enfermedades estuvo fuertemente influenciada por las condiciones ambientales ya que en el año 2016 se observaron promedios mayores de ABCPE (626) comparados con los promedios en el año 2017 (379). Esto se debe en gran parte a que las temperaturas ambientales exploradas fueron superiores (23°C) en el año 2016 respecto del 2017 (20°C), a su vez, en este experimento que fue llevado a cabo en condiciones de secano se destacaron mayores precipitaciones acumuladas en el año 2016 al final del ciclo del cultivo. *P. triticina* fue la enfermedad predominante durante los dos años debido a las inoculaciones artificiales realizadas con seleccionadas razas específicas para los genotipos estudiados. Por otro lado, se observó que la incidencia de otras enfermedades causadas por patógenos necrotróficos como *Py. tritici*, hemibiotróficos como *Z. tritici* y biotróficos como *P. striiformis* (durante todo el llenado) y *P. graminis* (a fin de ciclo), fue más relevante en el año 2017. Como se mencionó en el capítulo 1 en el año 2017 la incidencia de patógenos como *Z. tritici* y *P. graminis* fue alta en la provincia de Buenos Aires y su presencia se atribuye al

desplazamiento natural de inóculo en el lote experimental, a su vez como fue mencionado, en ese año se observaron precipitaciones acumuladas más altas con lo cual se proporcionó un ambiente adecuado para la propagación de estas enfermedades cuyos requerimientos se encuentran descritos en capítulos anteriores. La afirmación acerca de la presencia de estas enfermedades es netamente visual ya que la metodología llevada a cabo en este experimento no permitió detallar el seguimiento de las mismas y discriminarlas como en las metodologías de los capítulos anteriores, esto ocurrió porque el seguimiento se llevó a cabo en vástagos obtenidos mediante muestreos destructivos en los que se seleccionaban siete plantas al azar que eran extraídas para su observación, es decir que los vástagos eran diferentes en cada muestreo de tal manera que el seguimiento previo a la identificación de la enfermedad aparición de los primeros síntomas no podía tomarse con la misma precisión que los experimentos anteriores en donde el seguimiento de las enfermedades durante todo el llenado de los granos se realizó en siete vástagos principales por parcela identificados previo a las inoculaciones, en donde la enfermedad se identificaba a partir de los primeros síntomas y seguía durante todo su ciclo.

Al igual que lo observado en capítulos anteriores, el tratamiento enfermo fue el que mayor ABCPE presentó durante los dos años, sin embargo, en el año 2017 la diferencia entre tratamientos fue mucho más alta debido a las bajas infecciones en el tratamiento controlado con fungicidas (tratamiento control) comparado con el año 2016, a su vez, en este tratamiento también se destacó un mayor ABCPE en genotipos con baja y media reserva de CHOs (SB003 y SB010) comparado con el ABCPE del tratamiento control de los genotipos de media y alta reserva de CHOs (SB084 y SB146) durante los dos años. El ABCPE del tratamiento enfermo fue similar durante los dos años para todos los genotipos con lo cual las infecciones fueron equitativas, excepto el genotipo SB010 que presentó más infecciones en el año 2017 mostrando un mayor ABCPE (1827) comparado con los valores de este tratamiento en el año 2016 (1390). Los genotipos con baja y alta reserva de CHOs i.e. SB003 y SB146 respectivamente, mostraron infecciones similares de ABCPE en el tratamiento enfermo durante los dos años (ver cuadro 5.2 tratamiento enfermo correspondiente a cada genotipo mencionado), de modo que es posible concluir que el contenido diferencial de CHOs no está asociado con una susceptibilidad diferencial al ataque de las enfermedades. Por tal manera, las enfermedades foliares infectaron los genotipos en mayor o menor medida asociados a las diferencias en la susceptibilidad que presentaron, independientemente de la acumulación de CHOs, destacándose una mayor susceptibilidad en el genotipo de baja (SB003) y media acumulación de CHOs (SB010) con un promedio de ABCPE superior a los demás genotipos (ver cuadro 5.2 promedios de cada genotipo) presentando a su vez los valores más altos de ABCPE en el tratamiento controlado con fungicidas.

En este capítulo se tomaron mediciones de parámetros ecofisiológicos como la duración del área foliar total (DAFT) y verde (DAFV), en tres momentos durante el ciclo del llenado de granos: (i) al final del periodo crítico (10 DDA), (ii) grano pastoso (25 DDA) y (iii) madurez a cosecha, para englobar el daño que causan las enfermedades foliares en el desarrollo del cultivo y como repercuten estos efectos en la calidad. Generalmente tanto la DAFT como la DAFV se redujeron de manera significativa ante la presencia de las enfermedades foliares, sin embargo, la DAFV se afectó en mayor medida que la DAFT. Estos resultados están en línea con lo reportado por Waggoner y Berger (1987); Dimmock y Gooding (2002a); Parker *et al.* (2004) y Van den Berg *et al.* (2013) que afirman que la presencia de las enfermedades foliares impacta de manera importante la DAFV, debido al aumento de la clorosis y aceleración de la senescencia foliar. Estas respuestas se dan independientemente de su hábito nutricional, ya que autores como

Serrago *et al.* (2009); Gooding *et al.* (2000) y Schierenbeck *et al.* (2016) encontraron evidencias similares en donde la senescencia foliar mostró un aceleramiento importante ante la presencia de enfermedades causadas por patógenos biotróficos como *P. triticina*, necrotrofofos como *P. tritici* y hemibiotrofofos como *Z. tritici*, debido principalmente a la clorosis y necrosis de los tejidos trayendo como consecuencia la disminuci3n del 1rea foliar verde (Bancal *et al.*, 2007; Carretero *et al.*, 2010). Debido a la mayor presencia de enfermedades en los controles en el a1o 2016 respecto del 2017 y la similitud del ABCPE en el tratamiento E, la reducci3n en la DAFV asociada a las enfermedades en el a1o 2017 fue mayor (67 %) respecto de la observada en el 2016 (45 %).

El acortamiento en la duraci3n del 1rea foliar (tanto total como verde) fue mucho mayor en el a1o 2017, debido en parte a la presencia de las distintas enfermedades que se manifestaron este a1o, causando una p3rdida importante de la superficie foliar. Como se describi3 en p1rrafos anteriores alusivos a la descripci3n del ABCPE, las infecciones en el tratamiento control del a1o 2017 fueron menores a las infecciones que se presentaron en el a1o 2016, por lo tanto, como era de esperarse tanto la DAFT como la DAFV fueron m1s prolongadas en el tratamiento control del a1o 2017, esto trajo consigo mayores diferencias entre los tratamientos durante este a1o (similares a las que se presentaron en el ABCPE dentro de cada genotipo) destac1ndose nuevamente entre los genotipos el genotipo de media reserva de CHOs (SB010) que present3 las mayores reducciones de la DAFT y DAFV durante los dos a1os debido a las altas infecciones y que se manifestaron en el tratamiento enfermo, aunque dentro de estos dos par1metros se destacaron algunas disminuciones importantes en los genotipos que presentaron disminuciones en distintos rangos siendo m1s severos en algunos a1os dependiendo de la magnitud de la infecci3n.

Los porcentajes de ca3da en DAFV debido a la presencia de enfermedades para los distintos genotipos no guard3 un patr3n asociado con el CHOs de cada genotipo. En t3rminos generales el genotipo SB010 con contenidos intermedios de CHOs fue el que registr3 las mayores p3rdidas en la DAFV cuando el tratamiento C se compar3 con el E. Las reducciones en la DAFV fueron asociadas a los niveles de ABCPE y del mismo modo, las variaciones en el rendimiento se asociaron con cambios en el ABCPE. Estas interacciones han sido utilizadas como un m3todo de determinaci3n de tolerancia entre cultivares para enfermedades causadas por pat3genos necrotrofofos como *Py. tritici* (Ziv y Eyal 1978; Castro y Sim3n, 2016) y biotrofofos como *P. triticina* (Caldwell *et al.*, 1958; Roberts *et al.*, 1984). Sin embargo, los resultados del presente cap3tulo mostraron que los pat3genos presentes en este experimento durante los dos a1os (en donde se present3 una predominancia de *P. triticina*) afectaron la DAFV y el rendimiento en los distintos genotipos independientemente de la reserva de CHOs. De este modo, la diferente reducci3n en la DAFV asociada a la enfermedad se debi3 principalmente a una diferente susceptibilidad de los mismos a las enfermedades que causaron un efecto negativo en el mantenimiento del 1rea foliar limitando la capacidad fotosint3tica durante el llenado de granos indispensable para proveer asimilados a los destinos (Miralles *et al.*, 2000; Serrago *et al.*, 2008; Serrago *et al.*, 2010; Serrago *et al.*, 2019), siendo m1s acentuada ante infecciones simult1neas de distintos pat3genos como ocurri3 en el a1o 2017.

La disminuci3n del 1rea foliar total y del 1rea foliar verde debido a la presencia de las enfermedades foliares con predominancia de roya de la hoja, desencaden3 un importante detrimento en los rendimientos que vari3 entre un -18 y -42 % durante los a1os 2016 y 2017 respectivamente. En el a1o 2016 las reducciones fueron ocasionadas principalmente por ca3das en el n3mero de granos del -12 % aunque el peso tambi3n se vio m1s levemente, aunque significativamente afectado. En el a1o 2017 el impacto de las distintas

enfermedades que se presentaron durante el llenado de los granos fue mayor en el peso de los granos causando reducciones -29 %. Estas evidencias demuestran que, dependiendo del momento y la magnitud del daño de la aparición de las enfermedades, pueden afectar alguno o a ambos componentes del rendimiento (Cornish *et al.*, 1990; Dimmock y Gooding, 2002; Serrago *et al.*, 2011; Serrago *et al.*, 2019). En el año 2016 los valores de severidad inmediatamente luego de anthesis fueron más elevados que en 2017, lo que explica la reducción en el número de granos predominantemente, mientras que en el año 2017 las enfermedades se concentraron durante el llenado de los granos afectando el peso de los mismos. En este sentido, Serrago *et al.* (2019) demuestra que ante enfermedades con distinto hábito nutricional se observan relaciones negativas entre el peso de los granos y el ABCPE, estas mismas respuestas se han encontrado ante infecciones durante el llenado de los granos con *P. striiformis* (Vergara- Diaz *et al.*, 2015; Sharma *et al.*, 2016). Las mayores caídas en el número de granos se destacaron en el genotipo SB010 (MCHOS) que presentó los niveles más altos de enfermedad a partir del periodo crítico (especialmente en 2016). Las reducciones leves en el peso de los granos en el año 2016 en relación al 2017 pudieron ser debidas a diferentes factores: i) una compensación entre el peso y el número de granos debido a que en 2016 el número de granos se redujo asociado a la presencia de enfermedades lo que determinó que haya un menor NG en los tratamientos E, ii) compensaciones en la capacidad fotosintética de otros órganos como espigas y/o pedúnculos que continúan aportando al llenado de los granos cuando los cultivos son afectados por enfermedades foliares, ya que en condiciones donde se ve comprometido el suministro de asimilados el aporte fotosintético de estos tejidos podría aumentar, al igual que en otros tejidos de la planta (pedúnculo) (Serrago *et al.*, 2011; Carretero *et al.*, 2011) y iii) una mayor oferta de CHOs en los valores máximos en el año 2016 en los tratamientos E que determinaron una mayor oferta de CHOs por grano reduciendo las caídas en el peso de los granos.

En el año 2017 ante la magnitud de la infección que se presentó y la presencia de distintos patógenos durante el llenado de los granos, el peso se vio afectado en gran medida, en este sentido, distintas evidencias afirman que reducciones ocasionadas en la duración de área foliar que reducen la radiación interceptada durante el llenado ocasionan caídas importantes en el peso (Gooding *et al.*, 2000; Dimmock y Gooding, 2002; Ruske *et al.*, 2003; Robert *et al.*, 2004; Serrago *et al.*, 2011; Serrago *et al.*, 2019) por lo tanto, es esperable que ante mayores reducciones de la duración de área foliar, el impacto en el peso de los granos sea mayor como ocurrió en el año 2017.

Las correlaciones entre el rendimiento y el ABCPE presentaron una respuesta lineal negativa ( $R^2=0,56$ ). Dentro de esta tendencia, se destacaron índices de correlación más altos en los genotipos de media (SB010) y alta reserva de CHOs (SB146) comparado con los genotipos de baja (SB003) y media reserva de CHOs (SB084), estas respuestas de los genotipos se asemejan a la relación anteriormente descrita entre la DAFV y el ABCPE. Por lo tanto, estas respuestas demostrarían que el efecto decreciente de las enfermedades foliares sobre los rendimientos se debe principalmente al acortamiento en la DAFT y DAFV en respuesta a la magnitud de las infecciones que se presentaron en el cultivo causadas en mayor medida por la susceptibilidad del genotipo independientemente de la disponibilidad de CHOs almacenada en los tallos disponible para el llenado. Las reducciones en la DAFV determinan una disminución en la fuente fotosintética reduciendo la cantidad de RAA/NG tal como fue indicado en capítulos anteriores afectando el rendimiento (Carretero *et al.*, 2009; Serrago *et al.*, 2011 Schierenbeck *et al.*, 2016) en todos los genotipos independientemente de la reserva de CHOs disponible.

La importancia de la fuente fotosintética en el marco de la presencia de enfermedades foliares en el rendimiento y en particular en el peso de los granos se ve reforzada por la relación observada entre el peso de los granos ( $\text{g/m}^2$ ) y la DAFV. Dicha relación mostró una respuesta bilineal positiva ( $R^2= 0,52$ ), lo que demuestra que una vez lograda una DAFV que asegure la provisión de asimilados (en esta tesis el valor fue de  $0,32 \text{ m}^2$  hoja.día/grano), y por lo tanto un valor de fuente que no determine limitaciones, el peso de los granos no se ve afectado. Sin embargo, las respuestas de esta relación variaron para los distintos genotipos ya que el genotipo SB003 presentó una relación lineal, mientras que en aquellos que mostraron un umbral a partir del cual no se observó respuesta en el peso de los granos varió entre  $0.21$  y  $0.32 \text{ m}^2$  hoja. día/grano (Cuadro 3.7). Los resultados de este capítulo mostraron que la reserva de CHOs almacenados en tallo no representó ningún efecto amortiguador cuando la fuente (duración del área foliar) se afectó considerablemente ante la presencia de las enfermedades foliares. Así es posible concluir en este aspecto que la fuente fotosintética actual es mucho más relevante para el llenado de los granos, al menos ante la presencia de enfermedades foliares, que las reservas almacenadas en los tallos.

#### **5.4.2 ¿Cuál es la relación entre la acumulación de CHOs y la calidad comercial ante la presencia de las enfermedades foliares?**

En línea con las respuestas obtenidas en el capítulo anterior ante infecciones de roya del tallo, en este capítulo las enfermedades foliares con predominancia de roya de la hoja, presentaron durante los dos años reducciones muy similares en el peso hectolítrico que variaron entre un  $-4$  y  $-15$  %. Así mismo en el año 2017 se observaron reducciones en porcentaje de extracción de las harinas *ca.*  $-11$  % similares a los que ocurrieron ante la presencia de *Z. tritici* y *P. graminis* en el capítulo anterior. Estas reducciones en los parámetros de calidad comercial están en línea con las reducciones observadas en el peso de los granos. En este sentido, Dimmock y Gooding (2002); Dziki y Laskowsky (2004) afirman que un bajo peso hectolítrico y porcentaje de extracción de las harinas, está relacionado con granos arrugados o de menor tamaño causado por la presencia de enfermedades foliares en genotipos susceptibles a infecciones de *P. striiformis* y *P. graminis* (Lougman *et al.*, 2015; Aktas *et al.*, 2016 y Soko *et al.*, 2018). Dentro de los genotipos más afectados en el peso de los granos y la acumulación de CHOs se destacaron el genotipo de media acumulación de CHOs SB010 y de alta acumulación de CHOs SB146, en los que el peso hectolítrico y el porcentaje de extracción se afectó considerablemente en ambos. Contrariamente, el genotipo SB003 (BCHOs) en donde el impacto negativo de las enfermedades en el peso de los granos y acumulación de CHOs fue leve, las reducciones en estos parámetros importantes para la molienda fueron los más bajos.

Contrario a lo detallado en los capítulos anteriores, las respuestas en el contenido de proteína en grano, en harina y en el gluten húmedo ante la presencia de enfermedades en los genotipos estudiados mostraron respuestas contradictorias durante los dos años. En el año 2016, la respuesta en el contenido de proteína en grano y gluten húmedo fue muy similar a los valores expresados en el capítulo 3 ( $-2$  %). Contrariamente en el año 2017, el contenido de proteína en grano y en harina aumentó ante la presencia de las enfermedades ( $+7$  %), los parámetros de gluten no presentaron ninguna modificación y/o tendencia similar. Las diferencias entre ambos años puede estar determinada por diferentes causas: i) durante 2016 si bien se registró una caída importante en el NG, la DAFT y DAFV fue sustancialmente menor en todos los genotipos respecto del 2017 por lo que pudo verse afectada retranslocación de nitrógeno a los granos debido a una

reducción importante en la concentración de nitrógeno en las hojas del tratamiento E y por una rápida senescencia foliar que impidió que haya suficiente cantidad de nitrógeno desde la hoja para recircular a los granos. De hecho, durante el año 2017 la concentración de N en los tallos (tanto máxima como mínima) no fue afectada por los tratamientos de enfermedad, ii) la presencia de distintos tipos de enfermedades también pudo haber influido en el diferente contenido de proteína en los granos ya que durante 2017 hubo presencia de distintas enfermedades causadas por patógenos necrotróficos como *Py. tritici*, hemibiotróficos como *Z. tritici* y biotróficos como *P. striiformis* (durante todo el llenado) y *P. graminis* (a fin de ciclo), fue más relevante que en el año 2016 en donde no se presentaron otros patógenos ni hemibiotróficos ni biotróficos excepto *P. triticina* que fue la enfermedad predominante durante los dos años. En este sentido, distintos estudios han encontrado aumentos en el contenido de proteína en grano ante infecciones de patógenos necrotróficos como *Py. tritici* (Dimmock y Gooding 2002a; Schierenbeck *et al.*, 2014; Fleitas *et al.*, 2018a y Castro *et al.*, 2018), hemibiotróficos como *Z. tritici* (Clare *et al.*, 1993; Gooding *et al.*, 1994; Ishikawa *et al.*, 2001; Ruske *et al.*, 2001; Blandino y Beynery, 2009 y Castro *et al.*, 2017) y biotróficos como *P. striiformis* (Aktas y Zercirci, 2016), estas respuestas pueden atribuirse al mayor efecto que ejercen los patógenos como *Z. tritici* en el almacenamiento de hidratos de carbono que sobre el nitrógeno (Gooding *et al.*, 1994; Puppala *et al.*, 1998, Liaudat *et al.*, 2011).

#### 5.4.3 Modificaciones en la calidad industrial ante la presencia de las enfermedades foliares

Las respuestas de los parámetros de la calidad industrial fueron de alguna manera asociados a los cambios que se observaron en parámetros de la calidad comercial. A su vez, las respuestas en estos parámetros como fue explicado en la sección de resultados fueron disimiles dependiendo del año. En línea con capítulos anteriores, las enfermedades foliares modificaron la tenacidad de las masas (P) causando disminuciones entre -9 y -13 % observándose las mayores reducciones para este parámetro en el año 2016. Sin embargo, otros parámetros como por ejemplo el W mostró reducciones (2016) o aumentos (2017) dependiendo de cómo varió el contenido de CPG y/o CPH. Estas respuestas ambivalentes entre parámetros coinciden con Castro *et al.* (2017) en donde la tenacidad de las masas (P) disminuyó y la fuerza de las masas (W) aumentó ante la presencia de *Z. tritici*. Sin embargo, Fleitas *et al.* (2017, 2018b) encontraron aumentos tanto en la tenacidad (P) como en la fuerza de las masas ante infecciones de este patógeno, y ante infecciones de patógenos biotróficos como *P. triticina*, contrariamente ante la presencia de patógenos necrotróficos como *Py. tritici* (Fleitas *et al.*, 2018a) los dos parámetros alveográficos presentaron disminuciones. En el capítulo 3 de esta tesis ante infecciones de *Py. tritici* con predominancia de *P. triticina* no se presentaron modificaciones en los parámetros de calidad industrial, mientras que en el capítulo 4 ante infecciones de *Z. tritici* y *P. graminis* se reflejaron disminuciones en la tenacidad (P) y fuerza de las masas (W).

El volumen de pan se asoció positivamente con CPG ( $R^2= 0.54$ ), sin embargo, la asociación con el GH fue levemente menor ( $R^2= 0.50$ ). Mas aún, a pesar que numerosas evidencias mostraron que el volumen de pan se asoció con el W, los resultados de esta tesis mostraron que no hubo asociación entre estos dos parámetros cuando se cotejó el conjunto de datos ya que se observó una mayor variación en el W producto de la presencia de las enfermedades que la observada en el volumen de pan. De hecho, el rango de W explorado en ambos años fue similar, pero en el 2017 el volumen de pan fue mayor que en el año 2016. Estos resultados sugieren que las enfermedades podrían afectar otros

parámetros más allá de los parámetros industriales registrados en esta tesis como por ejemplo la proporción entre proteínas de reserva como son las gliadinas y gluteninas.

En síntesis, esta descripción de resultados coincide con las evidencias obtenidas en capítulos anteriores, en donde la presencia de las enfermedades causó caídas en el número de granos al presentarse durante el periodo crítico y en el peso de los granos cuando se presentó durante el llenado de los granos. Particularmente en el año 2016 las disminuciones en el rendimiento estuvieron asociadas en mayor medida a la caída en el número de granos, esta misma respuesta se presentó en el Capítulo 3 donde confidencialmente se presentaron infecciones similares en donde se destacó la presencia de *Py. tritici* con predominancia de *P. triticina*. Así, las respuestas en rendimiento y sus componentes entre estos dos capítulos son similares, ya que se observó una baja disminución en el peso de los granos atribuidas posiblemente a un efecto de compensación fotosintética de otros órganos (e.g. espigas) y a la disponibilidad de asimilados ante la reducción de los destinos (número de granos). En el año 2017 las reducciones en el rendimiento se debieron principalmente a las disminuciones en el peso de los granos, similar a las respuestas que ocurrieron ante infecciones de *P. graminis*, esto debido al efecto importante de la disminución en la intercepción y/o absorción de la radiación (como se demostró en el capítulo 3), causado por la presencia de las enfermedades deprimiendo el suministro de asimilados y alterando la relación fuente: destino (como en este caso donde se vio una fuerte disminución en la duración del área foliar). El impacto en los componentes del rendimiento a causa de las enfermedades se reflejó en parámetros importantes para la molienda como son el peso hectolítrico y el porcentaje de extracción, que presentaron reducciones importantes en mayor medida cuando el peso de los granos se vio mayormente afectado (año 2017). Sin embargo, la respuesta en el contenido de proteína fue ambivalente, pero fue asociada con el volumen de pan. Sin embargo, otro parámetro relevante para determinar la calidad del genotipo como es el W no se asoció con el volumen de pan lo que sugiere que otros atributos como por ejemplo el tipo de proteína depositada durante el llenado de los granos pudo haberse afectado como consecuencia de las enfermedades.

**Discusión General**

Este capítulo integra las respuestas destacadas de todos los resultados obtenidos a lo largo de la tesis para finalmente englobar estos resultados en un esquema general de discusión y poder establecer la aceptación o rechazo de las hipótesis planteadas en el capítulo 1. Se destacará el aporte de los resultados de esta investigación a los avances del conocimiento y sus aplicaciones y finalmente, se plantearán interrogantes surgidos de esta tesis y sus posibles enfoques investigativos para resolverlos.

### 6.1 Contexto de la problemática abordada

Debido a la importancia que durante décadas ha mantenido el cultivo de trigo como uno de los principales alimentos a nivel mundial y la demanda creciente en su producción por el aumento poblacional, es indispensable centrarse en optimizar los rendimientos mediante distintas alternativas que logren mitigar el daño de los distintos factores (abióticos y bióticos) que se presentan en la actualidad (FAO, 2017). Si bien el rendimiento es uno de los objetivos principales del mejoramiento en el cultivo de trigo pan con el objetivo de incrementar la productividad, la calidad ha tomado un rol importante ya que de esta depende la capacidad de competencia en el mercado internacional que demanda cada vez mayores requerimientos de calidad para la industria (FAIM, 2018). Hasta la fecha, las investigaciones acerca de los efectos de las enfermedades foliares en los parámetros de calidad comercial e industrial han sido pocas y muy recientes (Castro *et al.*, 2017; 2018; Fleitas *et al.*, 2017; 2018a; 2018b). Estas investigaciones tienen una importancia relevante ya que amplían la brecha de investigación de los efectos de las enfermedades que no solamente impactan negativamente los rendimientos y sus componentes numéricos (Kholi *et al.*, 1992; Shabber y Bokus, 1998; Fernández *et al.*, 2002; Carretero *et al.*, 2009; Serrago *et al.*, 2010; Serrago *et al.*, 2011; Wegulo, 2012; Schierenbeck *et al.*, 2016; Serrago *et al.*, 2019; Schierenbeck *et al.*, 2019), sino que también afectan las propiedades viscoelásticas de las masas o parámetros reológicos y por ende el producto final. Los resultados obtenidos en las investigaciones de los parámetros de calidad anteriormente citados, no solo presentan distintas respuestas en la calidad ante patógenos con distinto hábito nutricional, sino que también muestran respuestas contradictorias ante infecciones de un mismo patógeno (Fleitas *et al.*, 2017; Castro *et al.*, 2017) indicando que estas respuestas dependen a su vez del grupo de calidad de los genotipos utilizados y de la modificación que presenten los parámetros ante una enfermedad en particular. De este modo, los efectos de las enfermedades en la calidad se insertan en un sistema mucho más complejo, cuyo impacto puede trascender a la composición de los distintos parámetros reológicos analizados (e.g. relación gliadinas/gluteninas, composición de amilasas ( $\alpha$ ,  $\beta$ , entre otros).

### 6.2 Aportes de esta tesis al conocimiento

En vista de la problemática descrita anteriormente, el objetivo general que se planteó para el desarrollo de esta tesis, fue estudiar los cambios que ocurren en el rendimiento sus componentes y su vinculación con la calidad comercial e industrial debido a la presencia de las enfermedades foliares, desglosando esta respuesta en cultivares de trigo con diferente potencial de rendimiento y diferente relación fuente: destino (Capítulo 3), en un cultivar de alto potencial de rendimiento y grupo de calidad 2 (Capítulo 4) y en líneas con distinta acumulación de carbohidratos solubles en agua en el momento antesis (Capítulo 5).

A su vez, en base al objetivo principal se hipotetizó que: *(i) La presencia de las enfermedades foliares reduce el rendimiento a través de sus componentes (número y peso de los granos), dependiendo del momento de aparición de la infección, en mayor medida*

en los materiales con menor reserva de carbohidratos en los tallos y con menor relación fuente: destino. Así mismo, estas reducciones serían mayores en presencia de enfermedades causadas por patógenos biotróficos como *P. graminis*, debido a la absorción de nutrientes directamente del órgano de reserva. A partir de los resultados obtenidos, **se rechaza la hipótesis** debido a que si bien (i) las reducciones en el rendimiento se observaron en todos los experimentos a través de la disminución en sus componentes (número y/o peso de los granos), dependiendo del momento de aparición de las infecciones, y (ii) que la reducción en los componentes numéricos estuvo vinculada a la relación fuente: destino, medida en esta tesis mediante la variable RAA/NG (Capítulo 3), los materiales con diferente reserva de carbohidratos seleccionados (Capítulo 5), no mostraron una capacidad diferencial para mitigar el efecto negativo de las enfermedades foliares. De hecho, en todos los genotipos, independientemente de las diferencias en la acumulación de carbohidratos se presenciaron caídas en los rendimientos (Capítulo 5), las que fueron más relevantes en afectar el peso de los granos cuando se presentó un complejo de enfermedades foliares con predominancia de roya de la hoja durante el llenado de los granos (año 2017).

En relación al momento de la aparición de las enfermedades, cuando estas independientemente de su hábito nutricional, se presentaron durante la generación del número de granos en el ciclo del cultivo se observaron reducciones importantes en este componente, mientras que cuando las enfermedades se manifestaron durante el llenado se observaron disminuciones en el peso de los granos. Sin embargo, en algunos casos como en los resultados del Capítulo 3, pese a que se presentaron enfermedades con predominancia tanto de mancha amarilla (año 2014) como de roya de la hoja (2013) el peso de los granos no presentó modificaciones. Este tipo de respuesta en la cual no se presentaron modificaciones en el peso de los granos (Capítulo 3) o cuando se presentaron reducciones leves (Capítulo 5, año 2016) aun ante magnitudes altas de enfermedad, puede ser atribuida a diferentes factores: i) una compensación entre el peso y el número de granos cuando el número de granos se redujo ante la presencia de enfermedades foliares en el periodo crítico determinando un menor número de granos en los tratamientos enfermos y por lo tanto una mayor RAA/NG, y/o ii) una compensación en la capacidad fotosintética de otros órganos como espigas y/o pedúnculos que continúan aportando al llenado de los granos cuando los cultivos son afectados por enfermedades foliares, ya que en condiciones donde se ve comprometido el suministro de asimilados el aporte fotosintético de estos tejidos podría aumentar, al igual que otros tejidos de la planta (e.g. pedúnculo) (Serrago *et al.*, 2011; Carretero *et al.*, 2011), finalmente concordando con la hipótesis, las disminuciones en los rendimientos fueron más relevantes en los experimentos realizados en el capítulo 4 ante infecciones de *P. graminis* llegando a causar reducciones en el rendimiento de hasta un 66 %.

El tipo de enfermedad predominante también puede afectar no solo el rendimiento sino también la calidad. En los experimentos donde se presenciaron disminuciones en el peso de los granos ante infecciones con predominancia de patógenos biotróficos como *Puccinia spp* (Capítulos 4 y 5), se evidenciaron efectos negativos en el peso hectolítrico que consecuentemente en todos los años experimentales excepto en el año 2016 (Capítulo 5) que afectaron el porcentaje de extracción de las harinas en la relación positiva que se presentó entre estos dos parámetros importantes para la molienda (Figura 6.1). Estas respuestas coinciden con lo detallado en la siguiente hipótesis: ii) *las infecciones de enfermedades foliares durante la última etapa del periodo crítico y/o durante el llenado de los granos, disminuyen parámetros de la calidad comercial como el peso de mil granos y peso hectolítrico y aumentan la concentración de N en los granos debido a un menor*

*efecto de dilución y por lo tanto incrementan el contenido de proteína y gluten. “estos efectos tendrán mayor magnitud en aquellos cultivares con menor relación fuente: destino y menor capacidad de translocación de reservas almacenadas, a su vez, estas modificaciones serán más altas en presencia de patógenos como P. graminis debido al desequilibrio por la absorción de nutrientes. Sin embargo, esta hipótesis se rechaza debido a que, si bien se presentaron disminuciones en el peso de mil granos y peso hectolítrico, la concentración de nitrógeno en granos en términos generales fue reducida como consecuencia de la presencia de enfermedades, no obstante, esta hipótesis es válida en uno de los años experimentales (Capítulo 5, año 2017) ante infecciones predominantes de P. triticina, mostrando un patrón de respuesta similar entre todos los genotipos independientemente de la reserva de carbohidratos.*

Generalmente, ante la predominancia de patógenos como *Py. tritici*, *P. triticina*, *P. graminis* y *Z. tritici* se presenciaron impactos negativos en el contenido de proteína en grano. Estos resultados sugieren que aun cuando el número de destinos (granos por unidad de área) fue sustancialmente reducido producto de las enfermedades durante el periodo crítico, o cuando además se produjeron reducciones en el peso de los granos asociado a la presencia de patógenos durante el llenado, el contenido de nitrógeno en grano y consecuentemente el de proteína fue reducido debido a una reducción dramática del área foliar verde lo que determinó la imposibilidad de retranslocación de nitrógeno hacia los granos. En algunas situaciones particulares, el contenido de proteína en granos fue incrementado como consecuencia del complejo de enfermedades con distinto hábito nutricional y predominancia de *P. triticina*. Este tipo de respuesta se encuentra relacionada con la interrupción en la asimilación y translocación de CHOs por la presencia del complejo de enfermedades que se presentó en esa condición ocasionando reducciones en la capacidad de dilución en relación a la capacidad de retranslocación de nitrógeno de los tejidos, obteniéndose en consecuencia un incremento en el contenido de proteína en granos. En este sentido, Gooding *et al.* (1994); Puppala *et al.* (1998); y Liaudat *et al.* (2011), aseguran que patógenos hemibiotróficos como *Z. tritici* (cuando es el patógeno predominante) producen una concentración del contenido de nitrógeno en los granos, debido a la afinidad que manifiesta este patógeno por el consumo de hidratos de carbono. Contrariamente, se ha afirmado que patógenos biotróficos como *Puccinia spp* y *Erysiphe spp.* pueden perjudicar en mayor medida la acumulación de nitrógeno respecto de la de CHOs en el grano (Caldwell, 1934; Petturson y Newton, 1939; Greaney, 1941; Park *et al.*, 1988; Herrman, 1996; Simón *et al.*, 2012).

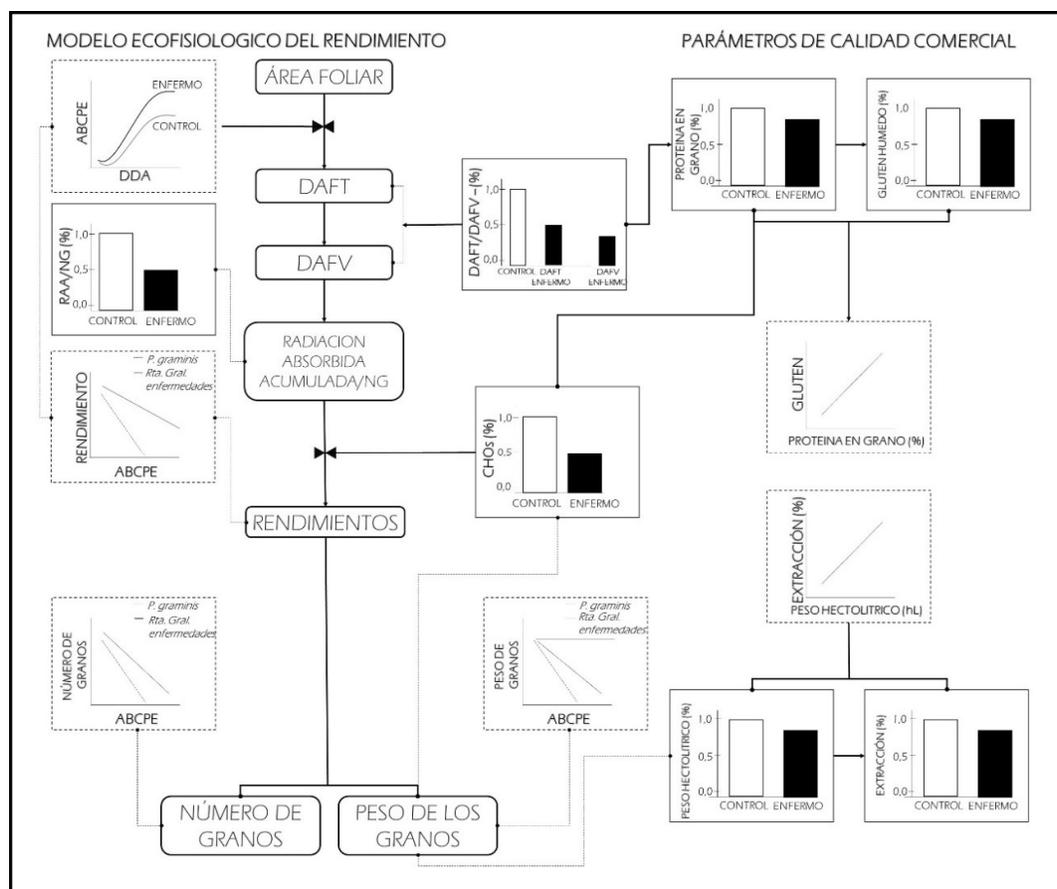
Teniendo en cuenta los efectos negativos anteriormente descritos en el rendimiento y como la caída en el peso de los granos trae como consecuencia un efecto en el peso hectolítrico y porcentaje de extracción, **se acepta la hipótesis iii)** que afirma que *el efecto negativo de las enfermedades sobre la calidad es de tipo indirecto ejercido a través de los cambios en la relación de carbono y nitrógeno en los granos.* Así estas respuestas en la calidad comercial e industrial debido a la presencia de enfermedades se evidencian a partir de los cambios que ocurren a nivel ecofisiológico (Figura 6.1) en donde en primera instancia se afecta la duración de área foliar verde ante la presencia de las enfermedades, lo que implica una reducción la capacidad de los destinos (i.e. número y/o peso de los granos) y una dramática reducción del potencial para removilizar el nitrógeno hacia los granos. De este modo, aun cuando las enfermedades redujeron el número de destinos, ante un ataque importante de enfermedades foliares estas determinan una severa pérdida del nitrógeno presente en las hojas con la consecuente incapacidad para poder retranslocarlo a los granos afectando negativamente la calidad. En este sentido, cuando el impacto fue mayor en el peso de los granos, se observaron reducciones importantes en el

peso hectolítrico y el porcentaje de extracción de las harinas. Posteriormente, el desbalance que ocurre en la absorción y translocación de asimilados determinó diversas respuestas en el contenido de proteína en los granos, que consecuentemente desencadenaron respuestas similares en el contenido de proteína en harina y gluten, así como en el índice de sedimentación. A su vez, si bien ante la predominancia de distintas enfermedades evaluadas en este experimento, parámetros importantes de la calidad industrial como la fuerza de la masa (W) mostraron tendencias similares a las obtenidas en el porcentaje de proteína, el producto final determinado por el volumen del pan, presentó pocas respuestas estadísticamente significativas ante la presencia de algunas enfermedades y en muchos casos contradictorias a las respuestas obtenidas en parámetros como la fuerza de la masa (W). A pesar que numerosas evidencias han afirmado una asociación importante entre estos dos parámetros (i.e. W y volumen de pan), estas respuestas permiten especular que las enfermedades foliares podrían afectar la composición de las proteínas causando un desbalance en la relación gliadinas/gluteninas, o quizá modifiquen algunos componentes importantes de las amilasas, debido a las tendencias de aumento que se presenciaron en el índice de caída (Falling number).

### **6.3 Modelo conceptual del efecto de las enfermedades con diferente hábito nutricional: ¿Como afectan el rendimiento, sus componentes y calidad del trigo?**

En la figura 6.1 se esquematiza un modelo conceptual en donde se destacan los cambios en los componentes ecofisiológicos y numéricos del rendimiento, ante la presencia de las enfermedades foliares analizadas en esta tesis.

Como se describió en la metodología y se mostró en los resultados, en todos los experimentos previo a las inoculaciones, la superficie foliar se mantuvo en condiciones potenciales mediante aplicación de funguicidas y posteriormente, esta superficie foliar se vio afectada ante la presencia de las enfermedades foliares que fueron superiores en el tratamiento enfermo (Figura 6.1) con respecto al control. A lo largo de los capítulos se ratificó que las infecciones y evolución de las enfermedades dependieron en mayor medida de las condiciones ambientales que se presentaron coincidiendo con Campbell y Madden (1990); Lovell *et al.* (2004); Kelley (2011); Wegulo *et al.* (2012). En este sentido, en algunos ambientes (combinación de años-fechas de siembra) los patógenos biotróficos inoculados no prosperaron debido a que los requisitos de temperatura no alcanzaron los niveles óptimos para la infección, sin embargo, otras enfermedades (ajenas a la inoculación) con distinto hábito nutricional (necrotróficas y hemibiotróficas) cuyo inóculo se presentó en el cultivo por desplazamiento y/o presencia en el rastrojo prosperaron debido a un ambiente adecuado para las infecciones.



**Figura 6.1** Esquema simplificado del efecto de las enfermedades partiendo de un modelo ecofisiológico de la obtención de rendimientos y las respuestas en los parámetros de calidad comercial. Los gráficos de barras corresponden a las medias obtenidas en todos los experimentos de los tratamientos enfermo y control, destacándose en algunos parámetros el efecto de la predominancia de *P. graminis* (línea punteada) y el efecto la predominancia de otras enfermedades analizadas.

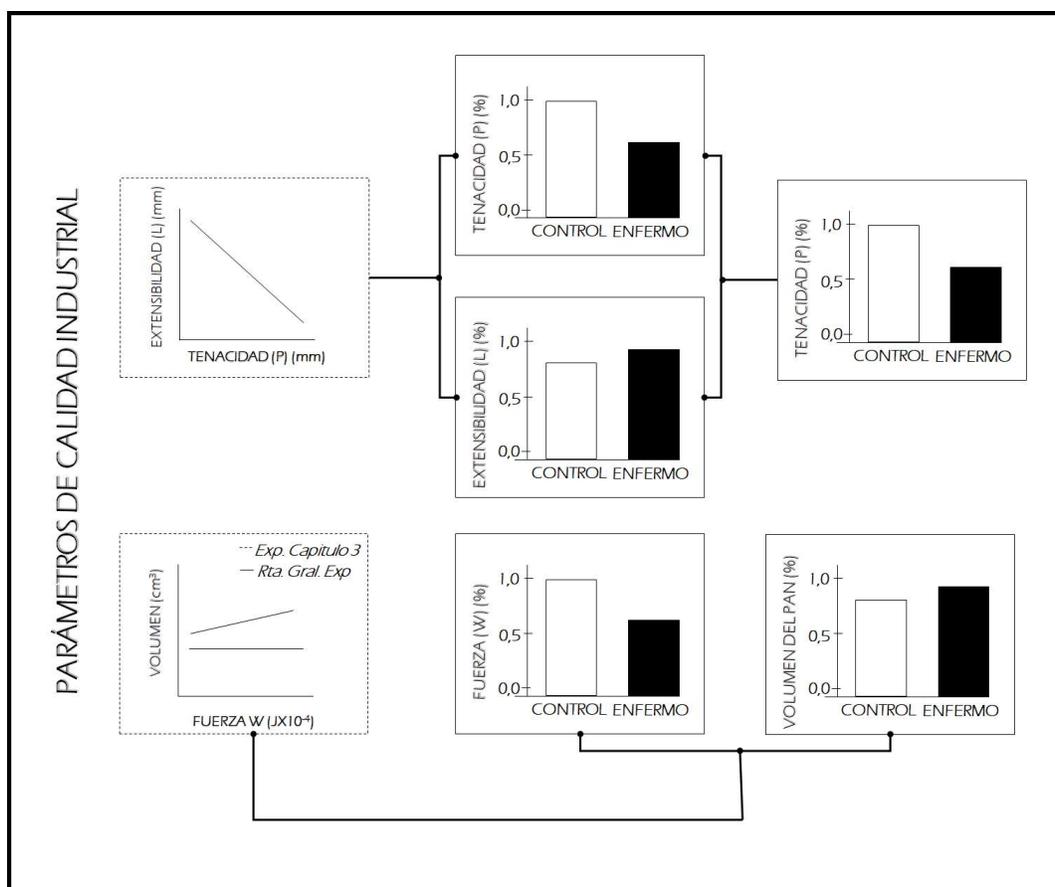
La reducción de infecciones en las parcelas del tratamiento control dependió de los ingredientes activos utilizados, de la resistencia del patógeno al fungicida y del ambiente explorado ya que en los controles de patógenos como *P. triticina*, *Py. tritici* y *Z. tritici* las infecciones lograron reducirse, sin embargo, ante infecciones de *P. graminis* el control fue efectivo al 100%.

Las infecciones causadas por las distintas enfermedades evaluadas en donde generalmente se vieron dos tipos de enfermedad (excepto en el experimento del capítulo 5-2017 donde se observó un complejo de enfermedades mucho más amplio) produjo reducciones importantes en la duración del área foliar total y especialmente en el área foliar verde (Capítulo 5) reduciendo la radiación absorbida acumulada en línea con lo descrito en la literatura por Carretero *et al.* (2009); Serrago *et al.* (2010) y Schierenbeck *et al.* (2016). Así, en todos los experimentos donde las infecciones se iniciaron a partir del periodo crítico hubo un descenso en el número de granos posiblemente por una reducción en el número de flores fértiles y/o por reducciones en el cuaje de los granos debido a una falta de fuente para poder establecer dicho componente. Es importante resaltar que para una misma ABCPE el impacto en el NG fue diferente dependiendo del tipo de enfermedad predominante, tal como se indica en la figura 6.1. La presencia de las

enfermedades foliares durante el llenado de granos impactó negativamente en la radiación absorbida acumulada (RAA), reduciéndose la relación RAA/NG (Capítulo 3) y por lo tanto la relación fuente: destino. Sin embargo, algunas excepciones pueden observarse en el peso de los granos ante la presencia de enfermedades como la presencia de mancha o septoria que ante aumentos en el ABCPE, no se observan reducciones en el peso de los granos como consecuencia posiblemente de compensaciones en la capacidad fotosintética de otros órganos como espigas y/o pedúnculos. Las enfermedades afectaron el CHOs lo que determina una reducción en las reservas de carbono en los tallos para suplir el peso de los granos ante una falta de fuente durante el llenado de los granos. Sin embargo, el uso de líneas con diferente contenido de CHOs no mostró una tendencia clara en dicha compensación por lo que es posible concluir en este punto que los efectos negativos de las enfermedades foliares sobre la DAFV y RAA/NG son más relevantes que los efectos sobre el CHOs como determinantes de establecer el peso final de los granos ante la presencia de enfermedades. El detrimento en el peso de los granos producto de las enfermedades foliares determinó un bajo peso hectolítrico afectando el porcentaje de extracción de las harinas ya que tal como se indica en la figura 6.1 se observó una relación positiva entre ambos componentes.

Las enfermedades produjeron caídas importantes en la duración del área foliar y particularmente en la duración del área foliar verde, redundando en una reducción en el contenido de proteína en grano por una falta de disponibilidad de nitrógeno. Estas respuestas fueron evidentes ante la predominancia de todos los patógenos analizados, excepto en el experimento descrito en el Capítulo 5 (año 2017) en donde se presenciaron aumentos en el contenido de proteína ante la presencia de un complejo de enfermedades con distinto hábito nutricional y predominancia de *P. triticina*. En ese set experimental (Capítulo 5, año 2017) se evidenciaron caídas importantes en la concentración de CHOs sin que produjeran modificaciones en el contenido de nitrógeno en tallo. Así mismo, en dicho experimento se mostraron caídas importantes tanto en el NG como en el peso de los granos por lo que es posible especular que la reducción en los destinos fue compensada por la reducción en la fuente nitrogenada no afectando el contenido de nitrógeno en los granos e incluso presentando aumentos en el contenido de proteína. Estas respuestas se han encontrado ante infecciones de estos patógenos (Dimmock y Gooding, 2002b; Matzen *et al.*, 2019) después de haber efectuado un control con fungicidas. Sin embargo, Caldwell (1934); Petturson y Newton (1939); Greaney, (1941); Park *et al.* (1988); Herrman (1996); Simón *et al.* (2012), afirman que estos patógenos causan efectos negativos en la acumulación de nitrógeno.

En la Figura 6.2 se desglosan las respuestas generales en los parámetros de calidad industrial ante infecciones de las enfermedades predominantes en cada uno de los experimentos.



**Figura 6.2** Esquema del efecto general de las enfermedades en la calidad industrial (parámetros alveográficos y panificación). Las respuestas en los gráficos de barras corresponden a las medias obtenidas en todos los experimentos del tratamiento enfermo y control.

Las enfermedades foliares no afectaron de igual manera todos los parámetros reológicos que determinan la calidad panadera (Figura 6.2). En términos generales, y en línea con los que se observó en el contenido de proteína en grano y en el gluten, las enfermedades foliares redujeron la fuerza de la masa. Dichas reducciones fueron asociadas principalmente a una reducción en la tenacidad (P) ya que la extensibilidad (L) mostró una tendencia a incrementarse con la presencia de las enfermedades. De hecho, se observó una relación negativa entre la tenacidad y la extensibilidad y una reducción en la relación P/L como consecuencia de la presencia de las enfermedades (Fig. 6.2). Un aspecto no menor asociado a la presencia de enfermedades fue la falta de efecto sobre el volumen de pan, ya que la literatura en general muestra una relación positiva entre el volumen de pan y la fuerza de la masa (W), la cual no se observó en el set de datos de los capítulos 4 y 5 (Figura 6.2), no obstante, en el capítulo 3 se encontraron relaciones débiles con un coeficiente  $R^2 = 0.55$  (datos no mostrados).

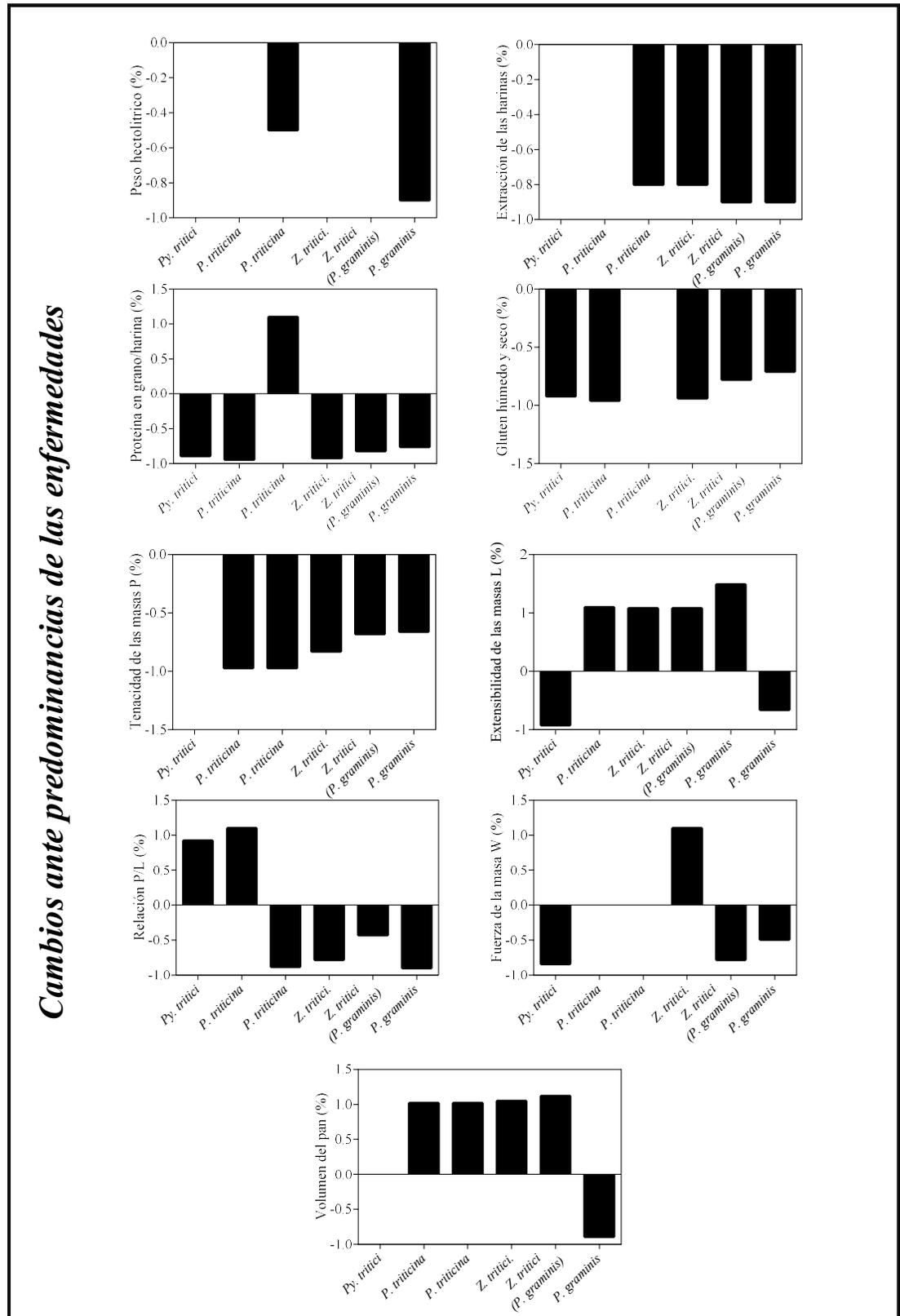
En la figura 6.3 se detalla el impacto que tuvo cada una de las enfermedades predominantes en los distintos ensayos llevado a cabo en el marco de esta tesis sobre los parámetros de la calidad industrial. Una rápida observación de la Figura 6.3 muestra que no todas las enfermedades ejercieron el mismo efecto sobre cada uno de los parámetros reológicos. Como se mencionó en párrafos anteriores, el efecto negativo de las enfermedades en el peso de los granos, determinó reducciones en el peso hectolítrico (Figura 6.3) que se observaron ante predominancias de *P. triticina* y *P. graminis* siendo

en este último caso la enfermedad que produjo las mayores reducciones en este atributo. Las reducciones en el peso de los granos afectaron negativamente el porcentaje de extracción de las harinas en similar magnitud ante la presencia de las distintas enfermedades (Figura 6.3).

El porcentaje de proteína en grano generalmente disminuyó ante la predominancia de todas las enfermedades, sin embargo, ante predominancias de un mismo patógeno (*P. triticina*) las respuestas fueron ambivalentes, presentando aumentos o reducciones en el contenido de proteína en grano. Estos efectos ambivalentes estuvieron asociados con cambios en las relaciones fuente: destino y la capacidad de retranslocación de hacia los granos. En línea con lo observado en el contenido de proteína, el gluten presentó disminuciones ante las distintas enfermedades y en el caso particular en donde el contenido de proteína en grano aumentó, no se presenciaron modificaciones en este atributo. De este modo, como fue indicado anteriormente, aun cuando la capacidad de los destinos (i.e. número y peso de los granos) fue reducida por las enfermedades, la fuente nitrogenada fue afectada en mayor medida impidiendo incrementar el contenido de proteína y gluten en granos y las harinas.

En relación a los dos componentes que determinan la fuerza de la masa (P y L), las enfermedades redujeron la tenacidad (P) en todos los casos e incrementaron la extensibilidad (L) con excepción de dos casos donde la presencia de *Py. tritici* y *P. graminis* produjo respuestas negativas, aunque en este último patógeno se observaron respuestas contradictorias en otra fecha de siembra (Figura 6.3). La relación P/L en general fue disminuida debido a que las enfermedades redujeron la tenacidad en mayor medida que el incremento proporcional del L, aunque en dos situaciones con predominancia de *Py. tritici* y *P. triticina* la relación P/L se incrementó. Así, ante predominancias de *P. triticina* también se manifestaron respuestas ambivalentes, considerando que en los casos en que se aprecian disminuciones ante predominancias de este patógeno (Capítulo 5, año 2017), este estuvo acompañado por un complejo mucho mayor de enfermedades con distinto hábito nutricional.

La respuesta general en la fuerza de la masa (W) ante la presencia de las enfermedades fue de disminuciones en este parámetro como se reflejó en la Figura 6.2. Sin embargo, en la Figura 6.3 se aprecia que ante predominancias de *P. triticina* no hubo modificaciones de este parámetro y ante predominancias de *Z. tritici* hubo aumentos de este parámetro por lo que aun cuando este último patógeno determinó reducciones en el contenido de proteína y de gluten, el parámetro W se incrementó, lo que sugiere que la presencia de *Z. tritici* podría afectar diferencialmente la distinta proporción del tipo de proteína que se deposita en los granos (e.g. Gliadinas y gluteninas). Finalmente, y a pesar de los efectos negativos en los parámetros reológicos que determinan el volumen de pan como por ejemplo Gluten y W, el volumen del pan no se vio afectado ante la presencia de las enfermedades foliares.



**Figura 6.3** Respuestas de la predominancia de las enfermedades en los parámetros alveográficos de calidad industrial.

### 6.3.1 Interrogantes y futuras líneas de investigación

Como se mencionó con anterioridad, las investigaciones acerca de los efectos de las enfermedades foliares y del tallo sobre la calidad comercial e industrial son en general pocas y de reciente publicación (Castro *et al.*, 2017; 2018; Fleitas *et al.*, 2017; 2018a; 2018b). En la presente tesis se encontraron no solamente distintas respuestas en la calidad ante patógenos con distinto hábito nutricional, sino que también se presentaron respuestas contradictorias ante infecciones de un mismo patógeno, coincidiendo con Fleitas *et al.* (2017) y Castro *et al.* (2017) lo cual indica que estas respuestas dependen del hábito nutricional del patógeno y su interacción con el ambiente, así como de la respuesta individual que se puede presentar dentro de los genotipos que a su vez muestran variaciones en la calidad. Sin embargo, en los experimentos desarrollados en la presente tesis no fue posible evaluar la presencia de una sola enfermedad en forma absoluta en las parcelas enfermas, debido a que el control de un patógeno específico ajeno al inoculado resulta complejo y, por lo tanto, se determinó la respuesta de acuerdo a la predominancia de cada patógeno en particular. Por lo tanto, las respuestas observadas en el rendimiento y especialmente en los distintos parámetros de calidad comercial e industrial no puede ser atribuida al efecto de un patógeno en particular independientemente del patógeno predominante. En este sentido, y si bien en condiciones de campo (producción) en general no hay un patógeno único en los cultivos, sería deseable en el futuro intentar separar con mayor grado de precisión el efecto individual de cada patógeno y los efectos competitivos y/o aditivos ante la presencia de otros patógenos.

Por otro lado, las distintas respuestas observadas en el volumen del pan, que en algunos casos no coincidieron con la respuesta de parámetros que en general están asociados como por ejemplo la fuerza de la masa (W). Estas diferencias pueden atribuirse a una modificación ocasionada por la presencia de determinadas enfermedades en la relación gliadinas/gluteninas, o a alguna modificación en los componentes de las amilasas, por lo tanto, sería ideal en un futuro investigar como las enfermedades afectan a estos atributos que están asociados a la calidad de las harinas más allá de los parámetros reológicos investigados en esta tesis.

## ANEXO



Fotografía I. Infecciones de *Z. tritici* en las fechas de siembra tempranas del año 2016



Fotografía II. Parcela controlada con fungicidas en la fecha de siembra tardía I del año 2017 (tratamiento control) y parcela sin aplicación de fungicidas (tratamiento enfermo) ante infecciones de *P. graminis*.



Fotografía III. Parcela controlada con fungicidas en la fecha de siembra tardía II del año 2017 (tratamiento control) y parcela sin aplicación de fungicidas (tratamiento enfermo) ante infecciones de *P. graminis* iniciando en el tallo y transmitiéndose a las hojas simultáneamente.



Fotografía IV. Altas infecciones de *P. graminis* en los estratos superiores de la planta (tallos y hojas) y transmisión de la infección en las espigas.



**Norma de calidad para la comercialización de trigo pan**  
 Norma XX - S.A.G.P. y A.1262/04

EL TIPO DURO ADMITIRA COMO MAXIMO UN 5% DE VARIETADES SEMIDURAS												
TOLERANCIAS MÁXIMAS PARA CADA GRADO												
Grado	Peso Hectolitrico Mínimo Kg.	Materias extrañas %	Granos dañados				Trébol de olor				Arbitrajes Establecidos Descuentos sobre el precio (según intensidad)	
			Granos ardidos y dañados por calor %	Total dañados %	Granos con Carbón %	Granos Panza Blanca %	Granos quebrados y/o Chuzos (1) %	Granos Picados %	Semillas Humedad c/100 grs	Humedad		Insectos y Arácnidos
1	79	0,2	1	0,1	0,1	15	0,5					Olores comercialmente objetables desde 0,5 a 2%
2	76	0,8	2	0,2	0,2	25	1,2	0,5	8	14	Libre	Punta sombreada por tierra desde 0,5 a 2%
3	73	1,5	3	0,3	0,3	40	2					Revolcado en tierra desde 0,5 a 2%
Descuento aplicar por c/kg faltante o sobre el % de excedentes	2,00	1,00	1,50	1,00	5,00	0,50	0,50	2,00	2 % de merma y gastos de zarandeo	Merma y gastos de secada	Gastos de fumigación	Punta negra por carbón desde 1 a 6 %

**GRADO:** Dentro del tipo contratado el comprador debe recibir mercadería "condicion Cámara" dentro de cualquiera de los 3 grados establecidos en este estándar

Bonificaciones y rebajas por grado	Contenido Proteino	
	Rangos	Bonificación Rebajas %
GRADO 1: bonificación del 1,5 %	Mayor a 11 %	2%
GRADO 2: sin bonificación ni rebaja	11%	-
GRADO 3: rebaja del 1 %	10,9 % a 10 %	2%
<b>Libre de insectos y/o arácnidos vivos</b>	9,9 % a 9%	3%
	Menor a 9 %	4%

(1) Son todos aquellos granos o pedazos de granos de trigo pan que pasan por una zaranda de agujeros acanalados de 1,6 mm. De ancho por 9,5 mm. de largo, excluidos los granos o pedazos de granos de trigo por dañados

Para lotes de Peso Hectolitrico inferior a 75 kg/hl, no se aplicarán las bonificaciones por contenido protéico

**12. Aptitud panadera**

las partes podrán establecer que se considerará fuera de grado al trigo cuyo gluten no tenga la capacidad de ligar durante el amasado o el levado, determinado mediante el sistema Glutomatic (AACC N° 3812) o por cualquier otro método de resultados equivalentes. A tal efecto las partes deberán incluir como cláusula contractual lo siguiente: **"Contrato sujeto al punto 12 del Estandar de Trigo Pan"**

Actualización Jueves, 14 de Marzo de 2019

**Cuadro 1. ANEXO** Norma de calidad para la comercialización de trigo pan Norma XX- S.A.G.P y A.1262/04. Tomada de la Cámara arbitral de Cereales, Bolsa de Comercio de Rosario.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbate, P.E., Andrade F.H. y Culot J.P., 1995. The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. *J. Agric. Sci., Camb.*, 124, 351-360.
- Agrios, G.N. 1997 Control of Plant Diseases. In: *Plant Pathology*, 4th Edition, Academic Press, San Diego, 200-216.
- Aguirrezábal, L.A.N. y Andrade, F.H., 1998. Calidad de productos Agrícolas. Bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico. *Unidad Integrada Balcarce.*, p. 315.
- Aktaş, H., Zencirci, N., 2016. Stripe rust partial resistance increases spring bread wheat yield in South-eastern Anatolia, Turkey. *J. Phytopathol.* 164(12):1085-1096.
- Alberione, E., Bainotti, C., Frascina, J., Salines, J., Salines, N., Donaire, G., Gómez, D., Formica, M. B., Conde, B., Gutiérrez, C., Cuniberti, M., Mir, L. 2015. Evaluacion del comportamiento de cultivares de trigo frente a enfermedades en la EEA Marcos Juárez. Actualización campaña 2014/2015. INTA Marcos Juárez.
- Alberione, E., Bainotti, C., Frascina, J., Salines, J., Salines, N., Donaire, G., Gómez, D., Formica, M.B., Conde, B., Gutiérrez, C., Cuniberti, M., Mir, L., 2015. Evaluacion del comportamiento de cultivares de trigo frente a enfermedades en la EEA Marcos Juárez. Actualización campaña 2014/2015. INTA Marcos Juárez.
- Alvarez Prado, S., Gallardo, J.M., Serrago, R.A., Kruk, B.C., Miralles, D.J., 2013. Comparative behavior of wheat and barley associated with field release and grain weight determination. *Field Crops Res.* 144, 28-33.
- Álvaro, F., Royo, C., García Del Moral, L.F., Villegas, D., 2008. Grain filling and dry matter translocation responses to source-sink modifications in a historical series of durum wheat. *Crop Sci.* 48, 1523-1531.
- Alzueta, I., L. G. Abeledo, C. M. Mignone, and D. J. Miralles., 2012. Differences between wheat and barley in leaf and tillering coordination under contrasting nitrogen and sulfur conditions. *Eur. J. Agron.* 41, 92–102.
- Annone, J., Calzolari, A., Polidoro, O., Conta, H., 1991. Efecto de la mancha de la hoja causada por *Septoria tritici* sobre el rendimiento. INTA EEA Pergamino. Informe 122, pp. 4.
- Antonelli, E., 1995. La roya negra del trigo en Argentina. En Kohli M., Annone J., Garcia R. eds. 1995. Las enfermedades del trigo en el Cono Sur. Curso de manejo de enfermedades del trigo. Pergamino, Argentina, 29-31 de agosto de 1995.
- Antonelli, E.F., 2000. La roya negra o del tallo (*Puccinia graminis* f.sp. *tritici*): una ilustre ausente de los campos de trigo en Argentina ¿Por cuánto tiempo más?. Editado por Ing Agr E. F Antonelli., pp. 42. Dic 2000.
- Ash, G.J. and Brown, J.F., 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.
- Ashenafi, G.D., Alemayehu, C., Bekele, H., 2018. Effect of fungicide spray Schedule on stem rust (*Puccinia graminis* F.SP. *tritici*) development and grain physical quality of durum wheat in Ethiopia. *International Journal of Current Research.* Vol. 10, Issue, 08, pp.72827-72832, August, 2018.
- Austin, R.B., Edrich, J.A., Ford, M.A., Blackwell, R.D., 1977. The fate of the dry matter, carbohydrates and C lost from the leaves and stems of wheat during grain filling. *Ann. Bot.* 41: 1309-1321.

Bacigaluppo, D., Capurro, J., Castellarín, J., Damen, D., Felizia, J.C., Ferrero, L., Gentile, O., Leguizamón, S., Mai, A., Malmantile, A., Monti, J., Pedro, H., Prieto, G., Rivas, Fanconi C., Rosso, O., Salvagiotti, F, y Trentino, N. 2004. Comportamiento de cultivares de trigo pan en diferentes ambientes del sur de Santa Fe. Campaña 2003/04. Para mejorar la producción 25 – EEA INTA Oliveros.

Bainotti, C.T., Donaire, G.M., Frascina., J.A., Salines, J.H., y Terrile, I.I., 2018. Fusariosis de la espiga de trigo. Análisis de la campaña 2018/19. Instituto de clima y agua. Castelar. 19/12/18

Baik, B.K., Czuchajowska, Z., Pomeranz, Y., 1994. Comparison of polyphenol oxidase activities in wheats and flours from Australian and U.S. cultivars. *J. Cereal Sci.* 19:291- 296.

Bancal, M.O., Robert, C., Ney, B., 2007. Modelling wheat growth and yield losses from late epidemics of foliar diseases using loss of green leaf area per layer and pre-anthesis reserves. *Ann. Bot.* 100, 777-789.

Bancal, M.O., Roche, R., Bancal, P., 2008. Late Foliar Diseases in Wheat Crops Decrease Nitrogen Yield Through N Uptake Rather than Through Variations in N Remobilization. *Annals of Botany*, 102: 579-590.

Bancal, P., Bancal, M.O., Collin. F., Gouache. D., 2015. Identifying traits leading to tolerance of wheat to *Septoria tritici* blotch. *Field Crops Research*, 180: 176-185.

Bastiaans, L., 1993. Effects of leaf blast on growth and production of a rice crop. 1. Determining the mechanism of yield reduction. *Netherland Journal of Plant Pathology* 99: 323–334.

Beta, T., Isaac, C., 2016. Grain production and consumption: Overview. In book: *Encyclopedia of Food Grains* Edition: 2nd Academic Press Editors: Wrigley, C., Corke, H., Seetharaman, K., Faubion, J., Elsevier, ISBN 978-0-12-394437-5.

Bingham, I.J., Newton, A.C., 2009. Crop tolerance of foliar pathogens: possible mechanisms and potential for exploitation. In: D Walters, ed. *Disease Control in Crops – Biological and Environmentally Friendly Approaches*. Chichester, UK: Wiley-Blackwell, 142– 61.

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.

Blum, A., 1998. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization. *Euphytica* 100, 77–83.

Blumenthal C., Barlow E.W.R., Wrigley C.W., 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 C.W., Batey IL., Barlow E.W.R., 1994. The heat-shock response relevant to molecular and structural changes in wheat yield and quality. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21: 901-909

Bock, J.E., Wrigley, C. W., Walker, C. E., 2016. Bakeries: The Source of Our Unique Wheat-Based Food, Bread. In: *Encyclopedia of Food grains*. Second Edition: 335

Bolton, M.D., Kolmer, J.A., Garvin, D.F., 2008. Wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina*. *Mol. Plant Pathol.* 9, 563–575.

Borrás, L., Slafer, G.A., Otegui, M.E., 2004. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: A quantitative reappraisal. *Field Crops Research*, 86: 131–146.

- Bouras, N., Kim, Y.M., Strelkov, S.E., 2009. Influence of water activity and temperature on growth and mycotoxin production by isolates of *Pyrenophora tritici-repentis* from Wheat. *Int. J. Food Microbiol.* 131:251-255.
- Bouras, N., Strelkov, S.E., 2008. The anthraquinone catenarin is phytotoxic and produced in leaves and kernels of wheat infected by *Pyrenophora tritici-repentis*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 72: 87–95.
- Borghini B., Corbellini M., Cattaneo M., Fornasari M.E. y Zucchelli L. 1986. Modification of the sink/source relationships in bread wheat and its influence on grain yield and grain protein content. *Journal of Agronomy & Crop Science* 157: 245-254
- Brach, A. M., Cracogna, M., 2016. Respuesta de la roya del tallo en trigo a la protección química. *INTA. Revista voces y ecos* N° 35 · 9.
- Buen día – Ayala, L., Martínez Cruz, H. E., Villaseñor, R., Hortelano, S. R., Espitia Rangel, E., Buen día- González, M.O., 2019. La incidencia de roya amarilla y la calidad industrial del grano y la masa en trigo harinero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* volumen 10 número 1.
- Bushuk, W. 1966. Distribution of water in dough and bread. *Baker's Dig.* 40:37- 40
- Calderini, D.F., Reynolds M.P., y Slafer, G.A., 1999 a. Genetic gains in wheat yield and main physiological changes associated with them during the 20th century, pp.351-377. En: Satorre, E.H., y Slafer, G.A., (Eds), *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. Food Product Press, New York.
- Calderini, D.F., Abeledo, L.G., Savin, R., Slafer, G.A., 1999 b. Effect of temperature and carpel size during pre-anthesis on potential grain weight in wheat. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)*. 132: 453-460.
- Calderini, D.F., Reynolds, M.P., 2000. Changes in grain weight as a consequence of degrading treatments at pre- and post-anthesis in synthetic hexaploid lines of wheat (*Triticum durum* x *T. tauschii*). *Aust. J. Plant Physiol.* 27, 183-191.
- Caldwell, R.M., Schafer, J.F., Compton, L.E., Patterson, F.L., 1958. Tolerance to Cereal Leaf Rusts. *Science* 128:714-715.
- Campbell, C.L., Madden, L.V., 1990. *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. John Wiley & Sons, New York, NY, USA.
- Campos, P., Moschini, R., Martínez, M., 2014. *Roya del tallo del Trigo. Análisis de la campaña 2014*. <http://inta.gob.ar/documentos/roya-del-tallo-del-trigo.-analisis-de-la-campana-2014-1>
- Carmona, M.A., Cortese, P., Ferrazzini, M., Permingea, O., 1998. Control de la mancha amarilla. *Revista CREA*, 213: 54-56.
- Carmona, M., Cortese, P., Moschini, R., Pioli, R., Ferrazzini, M., Reis, E., 1999. Economical damage threshold for fungicide control of leaf blotch and tan spot of wheat in Argentina. Expuesto y publicado en el XIVth International Plant Protection Congress Jerusalem, Israel, Julio 25-30, p.119.
- Carmona, M., Sautua, F., 2018. Epidemias de roya amarilla del trigo. nuevas razas en el mundo, monitoreo y decisión de uso de fungicidas. *Revista de la Facultad de Agronomía UBA "Agronomía & ambiente"* Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Cátedra de Fitopatología.
- Carretero, R., Bancal, M.O., Miralles, D. J., 2008. Principales enfermedades foliares en el cultivo de trigo en la región pampeana argentina. Una visión ecofisiológica. *Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Autónoma del Estado de México, México*.

- Carretero, R., Serrago, R. A., Bancal, M. O., Perelló, A. E., Miralles, D. J., 2010. Absorbed radiation and radiation use efficiency as affected by foliar diseases in relation to their vertical position into the canopy in wheat. *Field Crops Research*. 116: 184-195.
- Carretero, R., Serrago, R.A., Bancal, M.O., Perelló, A.E., Miralles, D.J., 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 Res.* 116, 184–195.
- Carretero, R., Bancal, M.O., Miralles, D.J., 2011. Effect of leaf rust (*Puccinia triticina*) on photosynthesis and related processes of leaves in wheat crops grown at two contrasting sites and with different nitrogen levels. *Eur. J. Agron.* Pages 237-246.
- Carson, G. R., Edwards, N.M. 2009. Criteria of wheat and flour quality. In: *Wheat, Chemistry and technology*. Four editions. pp 97-118
- Cartelle, J., Pedró, A., Savin, R., Slafer, G.A., 2006. Grain weight responses to post anthesis spikelet-trimming in an old and a modern wheat under Mediterranean conditions. *Eur. J. Agron.* 25, 365-371.
- Castellarín, J.M., González, M., Pedro, H.M., Salvagiotti, F., Rosso, O., 2004. Control de enfermedades foliares en trigo según tipo de molécula fungicida y momento de aplicación para mejorar la producción 25 – EEA INTA Oliveros.
- Castro, A.C., Simón, M.R., 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.
- Castro, A. C. and Simón, M. R. 2017. The impact of *Septoria tritici* blotch in bread making quality among argentinean wheat cultivars. *J. Cereal Sci.* 77(9):259-265
- Castro, A.C., Fleitas, M.C., Schierenbeck, M., Gerard, G.S., Simón, M.R., 2018. Evaluation of different fungicides and N rates on grain yield and bread-making quality in wheat affected by *Septoria tritici* blotch and yellow spot. *J. Cereal Sci.* 83, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.07.014>.
- Cauvain, S.P., 2017. “Raw Materials.” *Baking Problems Solved*, 2nd ed., Elsevier Ltd., pp. 58–59.
- Chang, Q., Liu, J., Wang, Q. L., Han, L. N., Liu, J., Li, M., 2013. The effect of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* on the levels of water soluble carbohydrates and the photosynthetic rate in wheat leaves. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 84 131–137. 10.1016/j.pmpp.2013.09.001
- Chester, K.S., 1946. The nature and prevention of the cereal rust as exemplified in the leaf rust of wheat. *Chronica Botanica*. Waltham, Mass. pp 269. En: Roelfs, A. P., R.P. Singh E.E., Saari., 1992. *Las royas del trigo: conceptos y métodos para el manejo de estas enfermedades*. México D.F.: CIMMYT. pp 81.
- Ciuffetti, L. M., and Tuori, R. P. 1999. Advances in the characterization of the *Pyrenophora tritici-repentis*–wheat interaction. *Phytopathology* 89: 444-449.
- Clare, R.W., Spink, J.H., Laverick, R.M., Bailey, J., 1993. Factors affecting the quality of milling wheats produced in a high yield situation. *Aspects of Applied Biology*, 36:241-250.
- Claubel, J., Launay, M., Ripoche, D., Gouache, D., Buis, S., Huber, L., Brun, F., Bancal, M.O. 2017. Climate change effects on leaf rust of wheat: Implementing a coupled crop-disease model in a French regional application. *European Journal of Agronomy* 90:53-66.
- Cordo, C., 2014 a. *Enfermedades de trigo en la Argentina*. Repositorio Institucional Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. pp 12.

- Cordo, C.A., 2014 b. Enfermedades del trigo: Avances científicos en la Argentina; Coordinado por Cristina A. Cordo y Marina N. Sisterna. 1 edición. La Plata. EDULP, 2014. 146 p. ISBN 978-987-1895-35-7.
- Cordo, C.A., Consolo, M., Gasso, A., Simón, M.R., Kripelz, N.I., Mónaco, C. 2014 c. Septoriosis del trigo en la Argentina: observaciones prácticas para el manejo de la enfermedad Instituto Fitotécnico de Sta. Catalina, UNLP.
- Cornish P.S., Baker G.R., Murray G.M., 1990. Physiological responses of wheat (*Triticum aestivum*) to infection with *Mycosphaerella graminicola* causing Septoria tritici blotch. Australian Journal of Agricultural Research 41: 317–327.
- Cornish, P.S., Baker, G.R., Murray, G.M., 1990. Physiological responses of wheat (*Triticum aestivum*) to infection with *Mycosphaerella graminicola* causing Septoria tritici blotch. Aust. J. Agric. Res. 41, 317-327.
- Cuniberti M.B. 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.
- De Vallavieille-Pope, C., Huber, L., Leconte, M., Goyeau, H., Comparative effects of temperature and interrupted wet periods on germination, penetration, and infection of *Puccinia recondita f.sp. tritici* and *P. striiformis* on wheat seedlings. Phytopathology. 1995;85:409–415.
- Del Pozo, A., Yáñez, A., Matus, I., Tapia, G., Castillo, D., Sanchez-Jardón, L., 2016. Field phenotyping of a worldwide germplasm collection of spring wheat under contrasting water conditions in a Mediterranean environment: relationships between physiological and agronomical traits. Frontiers in Plant Science.
- Dennis, J.I., 1987. Effect of high temperatures on survival and development of *Puccinia striiformis* on wheat. Transactions of the British Mycological Society 88:91-96.
- Devadas, R., Simpfendorfer, S., Backhouse, D., Lamb, D.W., 2014. Effect of stripe rust on the yield response of wheat to nitrogen. Crop J. 2 (4), 201–206.
- Dexter, J.E., Matsuo, R.R., Kosmolak, F.G., Leisle, D., Marchylo, B.A., 1980. The suitability of the SDS-sedimentation test for assessing gluten strength in durum wheat. Canadian Journal of Plant Science 60: 25-29.
- Dexter, J.E., Matsuo, R.R., Martin, D.G., 1987. The relationship of durum wheat test weight to milling performance and spaghetti quality. Cereal Foods World, 32(10), 772–777.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W., 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Dimmock, J.P.R.E., Gooding, M.J., 2002 a. The effects of fungicide on rate and duration of grain filling in winter wheat in relation to maintenance of flag leaf green area. J. Agric. Sci. 138, 1–16.
- Dimmock, J.P.R.E., Gooding, M.J., 2002 b. The influence of foliar diseases, and their control by fungicides, on the protein concentration in wheat grain: a review. J. Agric. Sci. 138, 349–366.
- Djurle, A., Ekbohm, B., Yuen, J., 1996. The relationship of leaf wetness and disease progress of glume blotch, caused by *Stagonospora nodorum*, in winter wheat to standard weather data. Eur. J. Plant Pathol. 102, 9–20.

- Djurle, A., Twengström, E., Anderson, B., 2018. Fungicide treatments in winter wheat: The probability of profitability. *Crop protection* 106, 182-189.
- Dreccer, M.F., Herwaarden, A.F., Chapman, S.C., 2009. Grain number and grain weight in wheat lines contrasting for stem water soluble carbohydrate concentration. *Field Crops Research* 112, 43–54.
- Dreccer, M.F., Chapman, S.C., Rattey, A.R., *et al.*, 2013. Developmental and growth controls of tillering and water-soluble carbohydrate accumulation in contrasting wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes: can we dissect them? *Journal of Experimental Botany* 64: 143–160.
- Dreccer, M.F., Barnes, L., Mederb, R., 2014. Quantitative dynamics of stem water soluble carbohydrates in wheat can be monitored in the field using hyperspectral reflectance. *Field Crops Research* 159, 70–80.
- Dreccer, M.F., van Herwaarden, A.F., Chapman, S.C., 2009. Grain number and grain weight in wheat lines contrasting for stem water soluble carbohydrate concentration. *Field Crops Res.* 112, 43–54.
- Dunstone, R.L, Evans, L.T., 1974. Role of changes in cell size in the evolution of wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 1, 157-165.
- Dupont, F.M., Chan, R., Lopez, R., Vensel, W.H., 2005. Sequential. Extraction and Quantitative Recovery of Gliadins, Glutenins, and Other Proteins from Small Samples of Wheat Flour. *J. Agric. Food Chem.*, 53: 1575-1584.
- Duveiller, E., Singh, R.P., Nicol, J.M., 2007. The challenges of maintaining wheat productivity: pests, diseases, and potential epidemics. *Euphytica* 157: 417–430.
- Ellis, J.G., Lagudah, E.S., Spielmeyer, W., Dodds, P.N., 2014. The past, present and future of breeding rust resistant wheat. *Front. Plant Sci.* 5, 641.
- Eyal, Z., Brown. M.B., 1976. A quantitative method for estimating density of *Septoria tritici* pycnidia on wheat leaves. *Phytopathology* 66:11-14.
- Eyal, Z., Scharen, A.L., Prescott, M.J., 1983. Global "finger-printing" of *Leptosphaeria nodorum* (*Septoria nodorum*) and *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) pathogenicity patterns. In: Proc 1983 Workshop, Montana State Univ, Bozeman, Montana, US Dept Agric, Agric Res Serv ARS-12, April 1985, 74- 75.
- Eyal, Z., Scharen, A.L., Prescott, J.M., Van Ginkel, M., 1987. Enfermedades del Trigo Causadas por *Septoria*: Conceptos y Métodos Relacionados con el Manejo de Estas Enfermedades. CIMMYT, Mexico, D.F., Mexico, pp. 52.
- FAIM, 2018. Consumo y producción con datos del año 2017. Federación argentina de la industria molinera, FAIM.
- FAO, 2017. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome.
- FAOSTAT, 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Data base Production/Yield Quantities of wheat in world selection of Crops wheat from 1994 to 2016. Access (18/9/18) URL <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>.
- Fernandez, M.R., Clarke, J.M., DePauw, R.M., Lefkovitch, L.P., 1996. Comparison of durum and common wheat cultivars for reaction to leaf spotting fungi in the field. *Plant Disease*, 80: 793–797.
- Fernandez, M.R., Hughes, G.R., Pearse, P.G., 2002. Leaf spot diseases of durum wheat in Saskatchewan in 2001. *Can. Plant Dis. Surv.* 82: 34-35.

- Finnie, S., Atwell, W.A., 2016. Milling." Wheat Flour, 2nd ed., AACC International, Inc., 2016, pp. 17–30.
- Fischer, R.A., 1985. Number of Kernels in Wheat Crops and the Influence of Solar Radiation and Temperature. *Journal of Agricultural Science*, 105, 447-461.
- Fleitas, M.C., Castro, A.C., Simón, M.R., 2017. Quality and yield response to the control of *Mycosphaerella graminicola* in wheat as affected by nitrogen rate and cultivar breadmaking characteristics. *Crop Pasture Sci.* 68, 317–327.
- Fleitas, M.C., Schierenbeck, M., Gerard, G.S., Dietz, J.I., Golik, S.I., Simón, M.R., 2018 a. 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. Prot.* 106, 201–209.
- Fleitas, M.C., Schierenbeck, M., Gerard, G.S., Dietz, J.I., Golik, S.I., Campos, P.E., Simón, M.R., 2018 b. How leaf rust disease and its control with fungicides affect dough properties, gluten quality and loaf volume under different N rates in wheat. *J. Cereal Sci.* 80, 119–127.
- Fletcher, A. L., Brown, H. E., Johnstone, P. R., de Ruiter, J. M., Zyskowski, R. F., 2011. Making sense of yield trade-offs in a crop sequence: a New Zealand case study. *Field Crops Res.* 124:149-156.
- Fones H.N., Steinberg G., Gurr S.J., 2015. Measurement of virulence in *Zymoseptoria tritici* through low inoculum-density assays. *Fungal Genet. Biol.* 79:89–93.
- Foulkes, M.J., Sylvester-Bradley, R., Weightman, R., Snape, J., 2007. Identifying physiological traits associated with improved drought resistance in winter wheat. *Field Crop Research* 103, 11–24.
- Fraaije, B. A., Cools, H. J., Fountaine, J., Lovell, D. J., Motteram, J., West, J. S., Lucas, J. A., 2005. Role of ascospores in further spread of QoI-resistant cytochrome b alleles (G143A) in field.
- Fraschina, J., Salines, J., Bainotti, C., Gómez, D., Donaire, G., Alberione, E., 2018. Evaluación de cultivares de trigo en campo de productores durante el año 2017. EE INTA Marcos Juárez. En: Trigo 2018. Informe de Actualización Técnico en línea N° 10 - Abril 2018.
- Fullington, J.G., Miskelly, D.M., Wrigley, C.W., Kasarda, D.D., 1987. Quality-related endosperm proteins in sulfur-deficient and normal wheat grain. *J. Cereal Sci.* 5, 233–246. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(87\)80025-5](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(87)80025-5).
- Gaju, O., Allard, V., Martre, P., Le Gouis, J., Moreau, D., Bogard, M., Hubbart, S., Foulkes, M.J., 2014. Nitrogen partitioning and remobilization in relation to leaf senescence, grain yield and grain nitrogen concentration in wheat cultivars. *Field Crops Res.* 155, 213–223.
- Gardner, F. P., Pearce, R. B., Mitchell, R. L., 1985. *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press. Ames.
- Gaunt, R.E., Wright, A.C., 1992. Disease–yield relationship in barley. 2. Contribution of stored stem reserves to grain filling. *Plant Pathology* 41: 688–701.
- Gebbing, T., Schnyder, H., 1999. Pre-anthesis reserve utilization for protein and carbohydrate synthesis in grains of wheat. *Plant Physiology*, 121(3), 871–878. pmid:10557235.
- Geigenberger, P., Regierer, B., Nunes-Nesi, A., Lisse, A., Urbanczyk-Wochniak, E., Springer, F., van Dongen, J.T., Kossmann, J., Fernie, A.R., 2005. Inhibition of de novo pyrimidine synthesis in growing potato tubers leads to a compensatory stimulation of the pyrimidine salvage pathway and a subsequent increase in biosynthetic performance. *Plant Cell* 17: 2077–2088.
- Gilchrist, M. A., Sulsky, D. L., Pringle, A. Identifying fitness and optimal life-history strategies for an asexual filamentous fungus. *Evolution* 2006; 60: 970–979.

- Glass, A.D.M., 2003. Nitrogen use efficiency of crop plants: physiological constraints upon nitrogen absorption. *Critical Reviews of Plant Sciences* 22, 453–470.
- Gleadow, R.M., Dalling, M.J., Halloran, G.M., 1982. Variation in endosperm characteristics and nitrogen content in six wheat lines. *Aust. J. Plant Physiol.* 9: 539-551.
- Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K., & Delcour, J. A., 2005. Wheat flour constituents: how they impact.
- Gohari, A.M., Ware, S.B., Wittenberg, A.H., 2015. Effector discovery in the fungal wheat pathogen *Zymoseptoria tritici*. *Mol. Plant Pathol.* <http://dx.doi.org/10.1111/mpp.12251>.
- González, F. G., Aldabe, M. L., Terrile, I. I., Rondanini, D. P., 2014. Grain weight response to different postflowering source: sink ratios in modern high-yielding Argentinean wheats differing in spike fruiting efficiency. *Crop Science*, 54(1), 297-309.
- Gooding, M.J., Davies, W.P., 1997. *Wheat production and utilization*, CAB International, Wallingford.
- Gooding, M.S., Smith, S.P., Davies, W.P., Kettlewell, P.S., 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, M.J., Dimmock, J.P., France, R.E., Jones, J., 2000. Green leaf area decline of wheat flag leaves: the influence of fungicides and relationships with mean grain weight and grain yield. *Ann. Appl. Biol.* 136, 77–84.
- Gooding, M.J., 2006. The effect of fungicides on the grain yield and quality of wheat. from book *Wheat Production in Stressed Environments: Proceedings of the 7th International Wheat Conference, 27 November–2 December 2005, Mar del Plata, Argentina*, pp.567-581.
- Goswami, A. K., Jain, M. K., Paul, B., 1977.  $\alpha$ - and  $\beta$ -Amylases in seed germination. *Biol. Plant.* 19: 469–471.
- Graybosch, R.A., Peterson, C.J., Shelton, D.R., Baenziger, P.D., 1996. Genotype and environmental modification of wheat flour protein composition in relation to end-use quality. *Crop Sci* 36:296–300.
- Greaney, F.J., Woodward, J.C., Whiteside, A.G.O., 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.
- Guilligan, C., Meyer, M., Hort, M., Hodson, D., 2018. University of Cambridge. Report of stem rust. A Global Wheat Rust Monitoring System. <http://rusttracker.cimmyt.org>.
- Gupta, S.C., Leathers, T.D., El-Sayed, G.N., Ignoffo, C.M., 1992. Insect cuticle-degrading enzymes from the entomogenous fungus *Beauveria bassiana*. *Exp. Mycol.* 16:132-137.
- Hasan, A.K., Herrera, J., Lizana, C., Calderini, D.F., 2011. Carpel weight, grain length and stabilized grain water content are physiological drivers of grain weight determination of wheat. *Field Crop Res* 123:241-247.
- Heisterüber, D., Schulte, P., Moerschbacher, B.M., Soluble carbohydrates and invertase activity in stem rust-infected, resistant and susceptible near-isogenic wheat leaves. *Physiological and Molecular Plant Pathology* Volume 45, Issue 2, August 1994, Pages 111-123.
- Hirel, B., Lea, P.J., 2001. Ammonia assimilation. In: INRA Springer(ed) *Plant Nitrogen*, pp. 79–99.

- Hosford, R.M.Jr., Larez, C.R., Hammond, J.J., 1987. Interaction of wheat period and temperature on *Pyrenophora tritici-repentis* infection and development in wheat of differing resistance. *Phytopathology* 77, 1021–1027.
- Hovmøller, M. S., Rodriguez-Algaba, J., Thach, T., Justesen, A. F y Hansen, J.G. 2017. Report for *Puccinia striiformis* race analyses and molecular genotyping 2017, Global Rust Reference Center (GRRC), Aarhus University, Flakkebjerg, DK- 4200 Slagelse, Denmark. Global Rust Reference Center, Aarhus University, Denmark [www.wheatrust.org](http://www.wheatrust.org)
- Huerta-Espino, J., Singh, R. P., Germán, S., McCallum, B. D., Park, R. F., Chen, W. Q., Bhardwaj, S. C., Goyeau, H., 2011. Global status of wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina*. *Euphytica* 179:143-160.
- Invinkelried, H., Maumary, R., Pietrobón, M., Dellaferrera, I., 2016. Rendimiento y comportamiento sanitario en diferentes variedades de trigo año 2016. Catedra de cultivos extensivos y fitopatología, facultad de ciencias agropecuarias, Universidad Nacional del Litoral.
- INASE, 2018. Calidad industrial de variedades de trigo pan. Categorización realizada por el comité de cereales de invierno de la comisión nacional de semillas INASE. Informe Mayo del 2018.
- INASE, 2019. Calidad industrial de variedades de trigo pan. Categorización realizada por el comité de cereales de invierno de la comisión nacional de semillas INASE. Informe Mayo del 2019. <https://www.argentina.gob.ar/red-de-ensayos-comparativos-de-variedades-de-trigo/grupo-de-calidad-de-trigo-pan>
- Ishikawa, S., Hare, M.C., Kettlewell, P.S., 2012. Effects of strobilurin fungicide programmes and fertilizer nitrogen rates on winter wheat: leaf area, dry matter yield and nitrogen yield. *Journal of Agricultural Science* 150, 427–441.
- Jain, M.K y Goswami, A.K., 1981. Amylases during different stages of seed development in wheat. *Biol Plant*, 23: 315.
- Johnston, H.W., Mac Leod, J.A., Clough, K.S., 1979. Effects of cycocel (CCC) and fungicide sprays on spring wheat grown at three nitrogen levels. *Canadian Journal of Plant Science*, 59: 917-929.
- Jørgensen, L.N., Hovmøller, M.S., Hansen, J.G., Lassen, P., Clark, B., Bayles, R., Rodemann, B., Flath, K., Jahn, M., Goral, T., Czembor, J.J., Cheyron, P., Maumene, C., Pope, C. De, Ban, R., Nielsen, G.C., Berg, G., 2014. IPM strategies and their dilemmas including an introduction to [www.eurowheat.org](http://www.eurowheat.org). *J. Integr. Agr.* 13, 265–281.
- Keed, B. R., White, N.H., 1971. Quantitative efforts of leaf rust and stem rust on yield and quality of the Australia Jr. of Experimental. *Agriculture and Animal Husbandry*, 11: 550-555.
- Keon, J., Antoniw, J., Carzaniga, R., 2007. Transcriptional adaptation of *Mycosphaerella graminicola* to programmed cell death (PCD) of its susceptible wheat host. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 2007; 20:178–193.
- Kibite, S., Evans, L. E., 1984. Causes of negative correlations between grain yield and grain protein concentration in common wheat. *Euphytica* 33, 801–810. <https://doi.org/10.1007/BF00021906>.
- Kiniry, J.R., 1993. Nonstructural carbohydrate utilisation by wheat shaded during grain growth. *Agronomy Journal* 85, 844–849.
- Kohli, M., Mehta, Ackermann, M., 1992. Spread of tan spot in the Southern Cone Region of South America. In: Francl, L., Krupinsky, J. and McMullen, M. (eds) *Advances in Tan Spot. Proceedings of the Second International Tan Spot Workshop*, North Dakota State University, Fargo, North Dakota, pp. 86–90.

- Kolmer, J.A., 2005. Tracking wheat rust on a continental scale. *Curr. Opin. Plant Biol.* 8, 441–449.
- Kolmer, J., Chen, X., Jin, Y., 2009. Diseases which challenge global wheat production the wheat rusts. In: B.F. Carver, ed., *Wheat Science and Trade*. Wiley-Blackwell, Oxford.
- 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.
- Kugler, W., Jeckle, F., Couretot, L., Terile, I., 2015. Panorama y comportamiento sanitario de variedades de trigo en la zona norte de la provincia de Buenos Aires, Campaña 2014. Informe INTA estación experimental agropecuaria pergamino.
- Leonard, K.J., Szabo, L.J., 2005. Stem rust of small grains and grasses caused by *Puccinia graminis*. *Molecular Plant Pathology* 6:99-111.
- Liaudat J.P., 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, pp. 59.
- Lizana, X.C., Riegel, R., Gomez, L.D., *et al.*, 2010. Expansins expression is associated with grain size dynamics in wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Exp. Bot.* 61, 1147-1157.
- Lo Valvo, P.J., Miralles, D.J., Serrago, R.A., 2018. Genetic progress in Argentine bread wheat varieties released between 1918 and 2011: Changes in physiological and numerical yield components. *Field Crops Research* 221: 314-321.
- Loughman, R., Jayasena, K., Majewski, J., 2005. Yield loss and fungicide control of stem rust of wheat. *Aust. J. of Agric. Res.* 56:91-96.
- Macharia, K.G., 2009. Inheritance of resistance genes Sr26, Sr36 and effectiveness of other major and slow rusting genes against race 'pgt. Ug99' of stem rust (*Puccinia graminis f.sp. tritici*) in bread wheat. MSc. Thesis, Egerton University, Njoro, Kenya.
- Maclean, D.J., 1982. Axenic culture and metabolism of rust fungi. In: *The Rust Fungi*, pp. 37-120. Edited by K. J. Scott & A. K. Chakravorty. London: Academic Press.
- Manley, M., Engelbrecht, M.L., Williams, P.C., Kidd, M., 2009. Assessment of variance in the measurement of hectolitre mass of wheat, using equipment from different grain producing and exporting countries. *Biosystem Engineering* 103: 176-186.
- March, G.J., Oddino, C.M., Marinelli, A.D., 2010. Manejo de las enfermedades de los cultivos según parámetros epidemiológicos. (1 ed.) Córdoba, Argentina. March G.J., Oddino, C.M., y Marinelli, A. D (eds).
- Martínez, S. I., Sanabria, A., Fleitas, M.C., Consolo, V.F y Perelló, A. M. 2018. Wheat blast: Aggressiveness of isolates of *Pyricularia oryzae* and effect on grain quality. *Journal of King Saud University Science*. Available online 12 May 2018.
- Martre, P., Porter, J.R., Jamieson, P.D., 2003. Modeling Grain Nitrogen Accumulation and Protein Composition to Understand the Sink/Source Regulations of Nitrogen Remobilization for Wheat 133, 1959–1967. doi:10.1104/pp.103.030585.
- Masclaux, C., Quillere, I., Gallais, A., Hirel, B., 2001. The challenge of remobilization in plant nitrogen economy: A survey of physioagronomic and molecular approaches. *Annals of Applied Biology*, 138, 69-81.
- Matzen, N., Jørgensen, J. R., Holst, N., Jørgensen, L.N., 2019. Grain quality in wheat—Impact of disease management. *European Journal of Agronomy* 103: 152-164.

- Maydup M.L., Antonietta M., Graciano C., Guiamet J.J., Tambussi E.A., 2014. The contribution of the awns of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) to grain filling: Responses to water deficit and the effects of awns on ear temperature and hydraulic conductance. *Field Crops Research* 167, 102–111.
- Mc Kendry, A.L., Henke, G.E., Finney, P.L., 1995. Effects of Septoria Leaf Blotch on Soft Red Winter Wheat Milling and Baking Quality. *Cereal Chemistry*, 72: 142-146.
- McCallum, B.D., Hiebert, C.W., Cloutier, S., Bakkeren, G., Rosa, S.B., Humphreys, D.G., Marais, G.F., McCartney, C.A., Panwar, V., Rampitsch, C., Saville, B.J. and Wang, X., 2016. A review of wheat leaf rust research and the development of resistant cultivars in Canada. *Can. J. Plant Pathol.* 38, 1–18.
- Mehta, Y.R., Gaudencio, R.A., 1991. The effects of tillage practices and crop rotation on the epidemiology of some major wheat diseases. In: Saunders, D.F. (ed.) *Proceedings of International Conference on Wheat for Non-traditional, Warmer Areas*. CIMMYT, Mexico, DF, pp. 226–283.
- Mendgen, K., Hahn, M., 2002. Plant infection and the establishment of fungal biotrophy. *Trends Plant Science*, 7: 352–356.
- Millet, E., Pinthus, M.J., 1984. The association between grain volume and grain weight in wheat. *J. Cereal Sci.* 2:31-35.
- Miralles, D.J., Richards, R.A., Slafer, G.A., 2000. Duration of the stem elongation period influences the number of fertile florets in wheat and barley. *Functional Plant Biology* 27, 931-940.
- Miralles, D.J., Slafer, G.A., 2007. Sink limitations to yield in wheat: how could it be reduced?. *Journal of Agricultural Science* 145: 139-149. Cambridge University Press.
- 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.
- Miskelly, D., and Suter, D. “Assessing and Managing Wheat-Flour Quality Before, During and After Milling.” *Cereal Grains: Assessing and Managing Quality*, 2nd edition, Woodhead Publishing, Elsevier Ltd., 2017 pp. 618–619.
- Mitchell, D., Shaw, M., 1968. Metabolism of glucose 14C, pyruvate 14C, and mannitol-14C by *Melampsora lini*. II. Conversion to soluble products. *Canadian Journal of Botany* 46, 453-460.
- Mohler, V., Schweizer, G., Hartl, L., 2011. Bread-making quality and grain yield in German winter wheat. II. Marker-trait associations. 61. *Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Oesterreichs* 2010:29–31.
- Molfese E.R., 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.
- Monteith, J.L., 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of Royal Society of London B*, pp. 277-294.
- Moschini, R., Martínez, M., Aban, C., 2013. El ambiente y la roya de la hoja en la región pampeana Argentina. Instituto de clima y agua. INTA Castelar. Argentina. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina. Reporte INTA. 2013.
- Newcomb M., Acevedo M., Bockelman HE., Brown-Guedira G., Goates B., Jackson EW., Jin Y, Njau PN., Rouse MN., Singh D., Wanyera R., Bonman M. 2013. Field resistance to the Ug99 race group of the stem rust pathogen in spring wheat landraces. *Plant Dis* 7:882–890.

- Olivares-Villegas, J.J., Reynolds, M.P., McDonald, G.K., 2007. Drought-adaptive attributes in the Seri/Babax hexaploid wheat population. *Funct. Plant Biol.* 34, 189–203.
- Oliver, R.P., Rybak, K., Shankar, M., Loughman, R., Harry, N., Solomon, P.S., 2008. Quantitative disease resistance assessment by real-time PCR using the *Stagonospora nodorum*-wheat pathosystem as a model. *Plant Pathol.* 57: 527–532.
- Orton E.S., Deller S., Brown J.K. *Mycosphaerella graminicola*: from genomics to disease control. *Mol. Plant Pathol.* 2011;12:413–424
- Palta, J.A., Fillery, I.R.P., 1995. N-application enhances remobilization and reduces losses of pre-anthesis N in wheat grown on a duplex soil. *Australian Journal of Agricultural Research*, 46:519-531.
- Pangga, I.B., Hannan, J., Chakraborty, S., 2011. Pathogen dynamics in a crop canopy and their evolution under changing climate. *Plant Pathology* 60, 70– 81.
- Pardey, P.G., Beddow, J.B., Kriticos, D.J., Hurley, T.M., Park, R., Duveiller, E., Sutherst, R.W., Burdon, J., Hodson, D., 2013. Right-Sizing Stem-Rust Research. *Science* 340:147-148.
- Pardi, M., Etchevers, P., Barreyro, R., 2018. Boletín Agrometeorológico Mensual climatología y fenología agrícola. facultad de ciencias agrarias y forestales estación experimental Ing. Agr. J. Hirschhorn sección agrometeorología (Boletín año 2016 y 2017).
- Park, C.S., Hong, B.H., Baik, B.K., 2003. Protein quality of wheat desirable for making fresh white salted noodles and its influences on processing and texture of noodles. *Cereal Chem.*, 80: 297–303.
- Park, R.F., Rees, R.G., Platz, G.J., 1988. Some effects of stripe rust infection in wheats with adult plant resistance. *Australian Journal of Agricultural Research* 39, 555-562.
- Parker, S.R., Welham, S., Paveley, N.D., Foulkes, J., Scott, R.K., 2004. Tolerance of *Septoria* leaf blotch in winter wheat. *Plant Pathology*, 53: 1-10.
- Peterson, R.F., Campbell, A.B., Hannah, A.E., 1948. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. *Canadian Journal of Research* 26: 496–500.
- Petturson, B., Newton, M., 1939. The effect of leaf rust on wheat quality. *Canadian Journal of Research*, 17: 380-387.
- Plaut, Z., Butow, B.J., Blumenthal, C.S., Wrigley, C.W., 2004. Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficit and elevated temperature. *Field Crops Research* 86, 185–198.
- Posner, E.S., Hibbs, A.N., 2005. Wheat flour milling. No. 2. *Cereal Chemistry*, Inc.
- Prescott, J.M., Burnett, P.A., Saari, E.E., 1986. Enfermedades y plagas del trigo: una guía para su identificación en el campo. CIMMYT. México, D.F., México. Pág 2-3.
- Puppala, V., Herrman, T.J., Bockus, W.W., Loughin, T.M., 1998. Quality response of twelve hard red winter wheat cultivars to foliar disease across four locations in central Kansas. *Cereal Chemistry*, 75: 94-99.
- Rabbinge, G., 1993. Crop protection and sustainable agriculture. *Ciba Found. Symp.* 177, John Wiley y Sons, Chicester. 2-29.
- Rabbinge, R., Jorritsma, I.T.M., Schans, J., 1985. Damage components of powdery mildew in winter wheat. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 91: 235-247.

- Ralcewicz, M., Knapowski, T., Kozera, W., Barczak, B., 2009. Technological value of 'Zebra' spring wheat depending on the nitrogen and magnesium application method. *Journal Central European of Agriculture*, 10 (3): 223-232.
- Rees, R.G., Platz, G.J., Mayer, R.J., 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.
- RET, 2010. Calidad industrial del trigo argentino. Análisis de la RED de ensayos comparativos de trigo RET: Comité de Cereales de invierno de la CONASE, Universidad Nacional del Sur, Laboratorio de la E.E.A, INTA Marcos Juárez, Laboratorio de la Ch. Exp. Integrada de Barrow. Laboratorio de la cámara Arbitral de cereales B.B.ca. Colaboradores y coordinadores de las distintas experimentales de la RET. Instituto de recursos biológicos CIRN-INTA.
- Reynolds, M.P., Manes, Y., Izanloo, A., Langridge, P., 2009. Phenotyping approaches for physiological breeding and gene discovery in wheat. *Annals of Applied Biology* 155, 309–320.
- Reynolds, M.P., Skovmand, B., Trethowan, R., Pfeiffer, W., 2000. Evaluating a conceptual model for drought tolerance. In: Ribaud, J.M., Poland, D. (Eds.), *Molecular Approaches for the Improvement of Cereals for Stable Production in Water-limited Environments. A Strategic Planning Workshop*, Mexico City, CIMMYT, pp. 49–53.
- Rharrabti, Y., Miralles, D., Martos, V., García Del Moral, L., 2010. Grain weight of durum wheat cultivars released in Italy and Spain during the 20 th century as affected by source-sink manipulations. *Cereal Research Communications*, 38(1), 134-145.
- Robert, C., Bancal, M.O., 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, M.O., Nicolas, P., Lannou, C., Ney, B., 2004. Analysis and modelling effects of leaf rust and *Septoria tritici* blotch on wheat growth. *Journal of Experimental Botany* 55: 1079–1094.
- Robert, C., Gagnon, Peterson, J.J., Estimation of Confidence Intervals for Area Under the Curve from Destructively Obtained Pharmacokinetic Data, *Journal of Pharmacokinetics and Pharmacodynamics*, 26: 87-102, 1998.
- Roberts, A.M., Walters, D.R., 1986. Stimulation of photosynthesis in uninfected leaves of rust-infected leeks. *Annals of Botany*, 56: 893-896.
- Roelfs, A.P., Singh, R.P., Saari, E.E., 1992. *Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management*. CIMMYT, Mexico.
- Rudd Jason, J., Kanyuka, K., Hassani-Pak, K., 2015. Transcriptome and metabolite profiling the infection cycle of *Zymoseptoria tritici* on wheat (*Triticum aestivum*) reveals a biphasic interaction with plant immunity involving differential pathogen chromosomal contributions, and a variation on the hemi-biotrophic lifestyle definition. *Plant Physiol.* 167:1158–1185.
- Ruske, R.E., Gooding, M.J., 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, R.E., Gooding, M. J., Jones, S. A., 2003. The effects of triazole and strobilurin fungicide programmes on nitrogen uptake, partitioning, remobilization and grain N accumulation in winter wheat cultivars. *The Journal of Agricultural Science*. – 2003, vol. 140, p. 395–407.
- Salomón, N., Miranda, R., 2013. Índice de calidad industrial: una herramienta para determinar la aptitud de los materiales genéticos. En: *Estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo*. Seminario internacional de CIMMYT-INIA, Uruguay. Kohli, Ackerman y Castro Editores, pp. 163-173.

- Sanchez-Bragado, R., Elazab, B., Zhou, A., Serret, M.D., Bort, J., Nieto-Taladriz, M.T., Araus, J.L., 2014. Contribution of the ear and the flag leaf to grain filling in durum wheat inferred from the carbon isotope signature: Genotypic and growing conditions effects. *J. Integr. Plant Biol.* 56, 444–454.
- Sánchez-Vallet, A., McDonald, M.C., Solomon, P.S., McDonald, B.A., 2015. Is *Zymoseptoria tritici* a hemibiotroph? *Fungal Genet. Biol.* 79, 29–32.
- Schierenbeck, M., Fleitas, M.C., Cortese, F., Golik, S.I., Simón, M.R., 2014. Enfermedades foliares del trigo afectan diferencialmente la absorción y removilización del nitrógeno hacia los granos. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino* 34 (2), 242–246.
- Schierenbeck, M., Fleitas, M.C., Miralles, D.J., Simón, M.R., 2016. Does radiation interception or radiation use efficiency limit the growth of wheat inoculated with tan spot or leaf rust? *Field Crop Res.* 199, 65–76.
- Schnyder, H., Baum, U., 1992. Growth of the grain of wheat (*Triticum aestivum* L.). The relationship between water content and dry matter accumulation. *Eur. J. Agron.* 1, 51–57.
- Seling, S., 2010. Bedeutung des Proteingehaltes von Backweizen aus Sicht der Wissenschaft. *Cereal Tech* 64:103–110.
- Serrago, R.A., Carretero, R., Bancal, M.O., Miralles, D.J., 2009. Foliar diseases affect the eco-physiological attributes linked with yield and biomass in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Eur. J. Agron.* 31, 195–203.
- Serrago, R., 2010. Enfermedades foliares en el cultivo de trigo: Un enfoque ecofisiológico de sus efectos sobre la generación de biomasa y los componentes del rendimiento. Tesis Doctoral. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina, pp. 138.
- Serrago, R.A., Carretero, R., Bancal, M.O., Miralles, D.J., 2011. Grain weight response to foliar diseases control in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Res.* 120, 352–359.
- Serrago, R.A., Miralles, D.J., 2014. Source limitations due to leaf rust (caused by *Puccinia triticina*) during grain filling in wheat. *Crop and Pasture Science*, 65: 185–193.
- Serrago R.A., Lo Valvo, P.J., Miralles, D.J. 2019. Is the source-sink ratio at anthesis a driver to avoid yield reductions caused by late foliar disease in wheat? *Field Crops Research* Volume 235, 1 April 2019, Pages 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.02.007>
- Setten, L.M., Lendoiro, N., Favret E.A. 2015. Wheat Leaf Rust Fungus: RIMAPS Analysis to Detect Germ-tube Orientation Pattern. *Microsc. Microanal.* 21. pp 227. doi:10.1017/S1431927615001932
- Shabeer, A., Bockus, W.W., 1988. Tan spot effects on yield and yield components relative to growth stage in winter wheat. *Plant Dis.* 72:599–602. doi:10.1094/PD-72-0599.
- Sherman, J. D., Yan, L., Talbert, L., Dubcovsky, J., 2004. A PCR marker for growth habit in common wheat based on allelic variation at the *Vrn-A1* gene. *Crop Sci.* 44: 1832–1838.
- Shewry, P.R., Tatham, A.S., Forde, J., Kreis, M., Niflin, B.J., 1986. The classification and nomenclature of wheat gluten protein: A reassessment. *Journal of Cereal Science* 4: 97–106.
- Shewry, P.R., Halford, N.G., 2002. Cereal seed storage proteins: Structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany* 53: 947–958.
- Shiferaw, B., Smale, M., Braun, H., Duveiller, E., Reynolds, M., Muricho, G., Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. *Food Security*, 2013, Vol.5 (3) pp.291–317.

- Shtienberg, D., Bergeron, S.N., Nicholson, A.G., Fry, W.E., Ewing, E.E., 1990. Development and evaluation of a general model for yield loss assessment in potatoes. *Phytopathology* 80: 466–472.
- Simmonds, N. W., 1995. The relation between yield and protein in cereal grain. *J. Sci. Food Agric.* 67, 309–315.
- Simón, M.R., Ayala, F., Terrile, I., Golik, S., Perelló, A., Cordo, C.A., Chidichimo, H., 2011. Integrated foliar disease management to prevent yield loss in Argentinean wheat production. *Agronomy Journal*, 103:1441-1451.
- Simón, M.R., Perelló, A.E., Cordo, C.A., Struik, P.C., 2002. Influence of *Septoria tritici* on yield, yield components, and test weight of wheat under two nitrogen fertilization conditions. *Crop Science*, 42: 1974-1981.
- Simpson, R.J., Lambers, H., Dalling, M.J., 1983. Nitrogen redistribution during grain growth in wheat (*Triticum aestivum* L.) IV. Development of a quantitative model of the translocation of nitrogen to the grain. *Plant Physiol.* 71, 7–14.
- Sinclair, T.R., De Wit, C.T., 1975. Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. *Science*, 189, 565-567.
- Singh, R.P., Gupta, A.K., 1992. Expression of wheat Leaf rust resistance Gene Lr34 in seedlings and adult plant. *Plant Disease*, 76, 489-491.
- Singh, R.P., Hodson, D.P., Huerta-Espino, J., Jin, Y., Njau, P., Wanyera, R., Herrera-Foessel, S.A., Ward, R.W., 2008. Will Stem Rust Destroy the World's Wheat Crop? *Advances in Agronomy* 98: 271-309.
- Slafer, G.A., Andrade, F.H., 1989. Genetic improvement in bread wheat (*Triticum aestivum*) yield in Argentina. *Field Crops Res.*, 21:289.
- Slafer, G.A., Miralles, D.J., Savin, R., Whitechurch, E.M., González, F., 2003. Ciclo Ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad del trigo. Capítulo VII. En: Satorre E. H., Benech Arnold R. L., Slafer G.A., De la Fuente E., Miralles D.J., Otegui M.E. En: Libro Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Ed. Facultad de Agronomía, pp. 118.
- Slafer, G.A., Savin, R., 1994. Source–sink relationships and grain mass at different positions within the spike in wheat. *Field Crops Res.* 37, 39–49.
- Soko, T., Bender, C.M., Prins, R., Pretorius, Z.A., Yield Loss Associated with Different Levels of Stem Rust Resistance in Bread Wheat. *The American Phytopathological Society*. Pages: 2531-2538.
- Stone, P. J., Nicolas, M. E., 1996. Varietal differences in mature protein composition of wheat resulted from different rates of polymer accumulation during grain filling. *Aust.J. Plant physiol.* 23:727-737.
- Stone, P.J., Savin, R., 1999. Grain quality and its physiological determinants. In *Wheat: Ecology and physiology of yield determination* (Eds Satorre EH, Slafer, GA), pp. 85- 120. (Food Product Press, New York).
- Strelkov, S.E., Lamari, L., 2003. Host-parasite interactions in tan spot [*Pyrenophora tritici-repentis*] of wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 25: 339–349.
- Stubbs, R.W., Prescott, J.M., Saari, E.E., Dubin H.J. 1986. Cereal disease Methodology Manual. CIMMIT: México, D.F. pp 46. En: Roelfs, A. P., R.P. Singh E.E. Saari. 1992. Las royas del trigo: conceptos y métodos para el manejo de estas enfermedades. México D.F.: CIMMYT., pp. 81.
- Summerell, B.A., Burgess, L.W., 1988. Factors influencing production of pseudothecia by *Pyrenophora tritici-repentis*. *Transactions of the British Mycological Society* 90, 557–562.

- Schaafsma A., Hooker D., Piñeiro M., Díaz de Ackermann M., Pereyra S., Castaño J., 2006. Pre-Harvest Forecasting of deoxynivalenol for regulatory action in wheat grain in Uruguay using readily available weather inputs. en: Njapau H, Trujillo S, Van Egmond H, Park D. (Eds.) *Mycotoxins and phycotoxins: advances in determination, toxicology and exposure management*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers. pp. 227 – 238.
- Stakman EC., Stewart DM., Loegering WQ., 1962. Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici*. US Department of Agric. ARSE-617, p53
- Tadesse, K., Ayalew, A., & Badebo, A. 2010. Effect of fungicide on the development of wheat stem rust and yield. *African Crop Science Journal*, 18(1), 23–33.
- Torriani, S.F.F., Brunner, P.C., McDonald, B.A., Sierotzi, S., 2009. Q01 resistance merged independently at least four times in European populations of *Mycosphaerella graminicola*. *Pest Manag. Sci.* 65:155–162.
- Triboi, E., Triboi-Blondel, A.M., 2002. Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem. *Eur. J. Agron.* 16, 163–186.
- Uauy, C., Brevis, J.C., Dubcovsky, J., 2006. The high grain protein content gene *Gpc-B1* accelerates senescence and has pleiotropic effects on protein content in wheat. *J. Exp. Bot.* 57, 2785–2794.
- Uhart, S.A., Andrade, F.H., 1995. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning and kernel set. *Crop Sci. (USA)* 35:1376-1383.
- Van Den Berg, F., Van Den Bosch, F., Paveley, N. D., 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.
- Vazquez, D., Berger, A.G., Cuniberti, M., Bainotti, C., de Miranda, M.Z., Scheeren, P.L., Jobet, C., Zuniga, J., Cabrera, G., Verges, R., Pena, R.J., 2012. Influence of cultivar and environment on quality of Latin American wheats. *J Cereal Sci* 56:196–2003.
- Veraverbeke, W.S., Delcour, J.A., 2002. Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to bread-making functionality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 42: 179–208.
- Voegelé, R.T., Mendgen, K.W., 2011. Nutrient uptake in rust fungi: How sweet is parasitic life?. *Euphytica* 179:41-55. Volume 90, October 2017, Pages 53-66.
- Waddington, S.R., Ransom, J.K., Os Manzai, M., Saunders, D.A., 1986. Improvement in the yield potential of bread wheat adapted to northwest Mexico. *Crop Science* 26, 698-703.
- Waggoner, P.E., Berger, R., 1987. Defoliation, Disease and Growth. *Phytopathology* 77, 393-398.
- Wakuliński, W., Kachlicki, P., Sobiczewski, P., Schollenberger, M., Zamorski, C. Z., Lotocka, B., Sarova, J., 2003. Catenarin production by isolates of *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler and its antimicrobial activity. *J Phytopathol* 151: 74-79.
- Wardlaw I. F y Willenbrink J., 1994. Carbohydrate Storage and Mobilization by the Culm of Wheat between Heading and Grain Maturity: the Relation to Sucrose Synthase and Sucrose Phosphate Synthase. *Australian Journal of Plant Physiology*, Vol. 21, No. 3, 1994, pp. 255-271.
- Wanyera, R., Macharia, J. K., Kilonzo, S. M., Kamundia, J. W., 2009. Foliar fungicides to control wheat stem rust, race TTKS (Ug99), in Kenya. *Plant Dis.*93: 929-932.
- Wegulo, S., Stevens, J., Zwingman, M., Baenziger, P.S., 2012. Yield Response to Foliar Fungicide Application in Winter Wheat, *Fungicides for Plant and Animal Diseases*, Dr.

Dharumadurai Dhanasekaran (Ed.) Available from:  
<http://www.intechopen.com/books/fungicides>

Wieser, H., Seilmeier, W., 1998. The Influence of nitrogen fertilization on quantities and proportions of different protein types in wheat flour. *J Sci Food Agric* 76:49–55.

Williams, R.M., O'Brien, L., Eagles, H.A., Solah, V.A., Jayasena, V., 2008. The influences of genotype, environment, and genotype  $\times$  environment interaction on wheat quality. *Aust J Agric Res* 59:95–111.

Wittenberg, A.H., Van Der Lee, T.A., Ben M'barek, S., Ware, S.B., Goodwin, S.B., Kilian, A., Visser, R.G., Kema, G.H., Schouten, H.J., 2009. Meiosis drives extraordinary genome plasticity in the haploid fungal plant pathogen *Mycosphaerella graminicola*. *PLoS One* 4(6): 5863.

www.inase.gov.ar. Instituto nacional de semillas. Institucional. Dirección de Calidad.

www.trigoargentino.com.ar 2018. Trigo Argentino. Informe institucional de su calidad. Cosecha 2017-2018.

Visser, B., Meyer, M., Park, R.F., Gilligan, C.A., Burgin, L., Hort, M.C., Hodson, D.P., 2019 Pretorius, Z.A. Microsatellite analysis and urediniospore dispersal simulations support the movement of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* from Southern Africa to Australia. 2019. *Phytopathology* 109 (1): 133-144.

Yáñez, A., Tapia, G., Guerra, F., Del Pozo, A., 2017. Stem carbohydrate dynamics and expression of genes involved in fructan accumulation and remobilization during grain growth in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes with contrasting tolerance to water stress. *PLoS ONE* 12(5): e0177667. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177667>

Yemm, E.W., Willis, A. J., 1954 The estimation of carbohydrates in plant extracts by Antrone. *Biochemical Journal* 57: 508-514.

Yun, S.H., Quail, K., Moss, R., 1996. Physicochemical properties of Australian wheat flours for white salted noodles. *J. Cereal Sci.*, 23: 181–189.

Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F., 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14, 415–421.

Zhang, G.S., Chan, K.Y., Oates, A., Heenan, D.P., Huang, G.B., 2007. Relationship between soil structure and runoff/soil loss after 24 years of conservation tillage. *Soil and Tillage Research* 92, 122– 128.

Zhang, H., Turner, N.C., Poole, M.L., 2010. Source–sink balance and manipulating sink–source relations of wheat indicate that the yield potential of wheat is sink limited in high-rainfall zones. *Crop and Pasture Science* 61, 852-861.

Zhang Y., Zhang Y., Liu N., Su D., Xue Q., Stewart B.A. y Wang Z. 2012. Effect of source– sink manipulation on accumulation of micronutrients and protein in wheat grains. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 175: 622-62

Zhao, J., Wang, M. N., Chen, X. M., and Kang, Z. S., 2016. Role of alternate hosts in epidemiology and pathogen variation of cereal rusts. *Annu. Rev. Phytopathol.* 54, 207–228.

Zilberstein, M., Blum, A., Eyal, Z., 1985. Chemical desiccation of wheat plants as a simulator of postanthesis speckled leaf blotch stress. *Phytopathology* 75, 226-230.

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.