

Autores: Rozo Ortega, G.P^{1,3,4};
Fleitas, M.C^{2,3}; Schlerenbeck, M^{2,3};
Gerard, G. S^{2,3}; Castro, A. AC^{2,3};
Lo Valvo, P. J^{1,3,4}; Serrago, R. A^{1,3,4};
Simón, M.R²; Miralles, D.J^{1,3,4}

¹Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires FAUBA.

²Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Universidad Nacional de La Plata UNLP.

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas CONICET.

⁴Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas vinculadas a la Agricultura IFEVA.

Enfermedades foliares y su impacto en el rendimiento y calidad comercial e industrial del trigo

Evaluación de los cambios en el rendimiento del cultivo de trigo y su vinculación con la calidad comercial e industrial, asociado a la presencia de enfermedades foliares con distinto hábito nutricional.

Palabras Claves:

Trigo; Enfermedades Foliares;
Calidad; Rendimiento.

Introducción

El trigo (*Triticum aestivum* L) es uno de los cereales más importantes a nivel mundial. Este cultivo está establecido en todos los continentes y cumple 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. En Argentina el trigo es el cereal más importante no solamente en la economía local sino también en el escenario internacional. En la última campaña 2018/19 en Argentina, el trigo alcanzó una producción de 19.4 millones de toneladas con una superficie sembrada de 6.2 millones de hectáreas y rendimientos promedio de 3.222 kg/ha (www.trigoargentino.com.ar), lo que indicaría un aumento del 5 % de la producción comparado con la campaña anterior (2017/2018).

Para alcanzar altas producciones en trigo, los mejoradores se han enfocado en optimizar los rendimientos a través de aumentos en la partición de la biomasa a los órganos reproductivos (índice de cosecha) sin que se haya visto modificada la biomasa aérea (Lo Valvo *et al.*, 2018). Debido a este aumento de número de granos, los cultivares modernos de trigo poseen una menor relación fuente:destino en comparación con los cultivares más antiguos (i.e. previos a la introducción de los genes de enanismo, es decir la revolución verde).

Esta menor relación fuente:destino en los cultivares con mayor potencial de rendimiento puede comprometer el rendimiento a través del número de granos y/o el peso de los granos si el área foliar fotosintéticamente activa es dañada durante el periodo de definición del rendimiento (periodo crítico) y/o durante el llenado de granos. En el denominado "periodo crítico", que comprende el periodo previo inmediato a la floración (i.e. 20 días anteriores) y 10 días posteriores a la misma (Fischer, 1985), se define el número de granos 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, 1985; Miralles y Slafer, 2007).

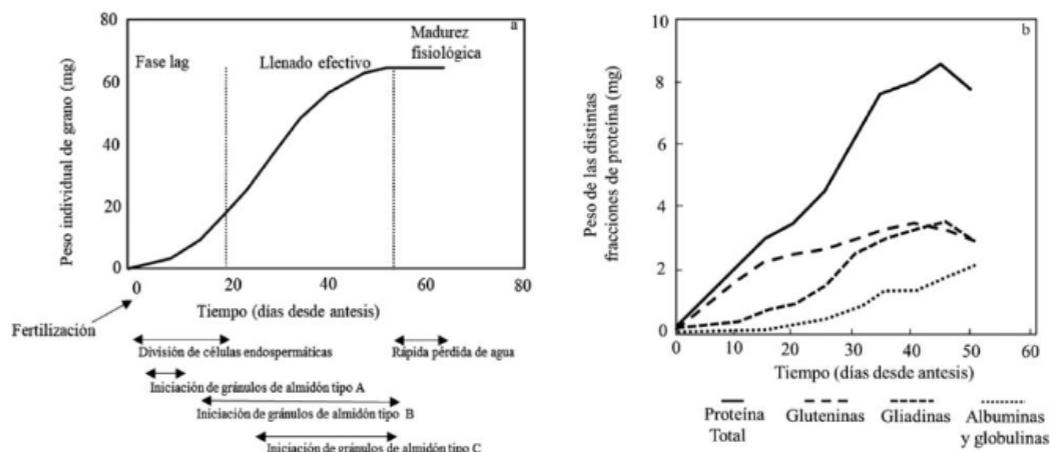
Si bien el número de granos es la variable que mejor explica el rendimiento, cambios en el peso de los

granos pueden afectar el rendimiento final del cultivo una vez establecido el número de granos. La definición del peso de los granos ocurre a partir de la antesis y finaliza en madurez fisiológica (**Figura 1a**). El proceso de llenado de los granos se inicia inmediatamente después de la polinización a partir de la fase lag en la que ocurre la división de células endospermáticas. Posteriormente comienza la fase de llenado efectivo de los granos que finaliza con la madurez fisiológica y se extiende por un tiempo variable en función del porcentaje de humedad con el que se pretenda cosechar (Stone y Savin, 1999). Simultáneamente, durante este proceso de llenado, ocurre la acumulación de proteínas (**Figura 1b**) tanto metabólicas (albúminas y globulinas) como las proteínas de reserva (gliadinas y gluteninas), indispensables para la panificación ya que son las encargadas de conformar el gluten.

Los componentes del rendimiento anteriormente descritos, pueden verse afectados debido a factores bióticos o abióticos (Rabbinge, 1993). Dentro de los principales factores bióticos del cultivo de trigo se encuentran las enfermedades fúngicas, como las royas y manchas, que han sido causantes de pérdidas importantes en la producción mundial y de Argentina, encendiendo alarmas fitosanitarias debido a las epifitias que se manifiestan durante las campañas. Tal es el caso de la roya amarilla que se ha propagado en los últimos años (Campos, 2017).

Distintas evidencias de la literatura describieron que el impacto negativo ocasionado por las enfermedades en el rendimiento del cultivo de trigo depende de: **i)** el momento en el que se presente la enfermedad, **ii)** el grado de severidad de la misma y **iii)** el tipo de enfermedad que se presente en el cultivo (Carretero *et al.*, 2011; Schierenbeck *et al.*, 2016; 2019 ab). Los efectos negativos de las enfermedades foliares (como manchas y royas) sobre el rendimiento están dados por una reducción en el área foliar total y verde, disminuciones en la interceptación de la radiación y efectos en la eficiencia de uso de la radiación (en el caso de las royas). Como consecuencia de estos efectos negativos, se produce una importante disminución en la producción de asimilados que posteriormente modificarían la composición del grano debido a las alteraciones entre el balance carbono/nitrógeno.

a) Dinámica del peso individual del grano (mg); y b) Dinámica de deposición de las distintas proteínas (mg): metabólicas (albúminas y globulinas) y de reserva (gliadinas y gluteninas) durante proceso de llenado de los granos.



En la actualidad existe una amplia recopilación respecto al efecto de los factores abióticos en la calidad del cultivo de trigo. No obstante, las investigaciones sobre el impacto de los factores bióticos en la calidad han sido pocas y recientes. Por otro lado, las evidencias publicadas en la literatura encontraron diversas respuestas, muchas veces contradictorias, en la calidad del cultivo de trigo ante infecciones de patógenos biotróficos, necrotrofoicos y hemibiotrofoicos (Castro y Simón, 2016; Castro y Simón, 2017; Castro *et al.*, 2018., Fleitas *et al.*, 2017; Laidig *et al.*, 2017; Fleitas *et al.*, 2018a; Fleitas *et al.*, 2018b y Matzen *et al.*, 2019).

Teniendo en cuenta los antecedentes anteriormente descritos, es posible especular con la hipótesis de que ante la presencia de las enfermedades, los cultivares con menor relación fuente:destino ("modernos", utilizados actualmente) se vean más afectados que los cultivares con una mayor relación fuente:destino ("antiguos", previos a la revolución verde). Respuestas similares podrían reflejarse en cultivares con una menor reserva de carbohidratos al compararlos con los cultivares de mayor capacidad de almacenaje de carbohidratos solubles previo al llenado de los granos. Estos efectos

serán mayores ante la presencia de enfermedades que afecten directamente el órgano de reserva como lo hace la roya del tallo.

Dentro de este contexto, el objetivo general de los experimentos presentados a continuación fue estudiar los cambios en el rendimiento y su vinculación con la calidad comercial e industrial debido a la presencia de distintas enfermedades foliares en: **i)** cultivares de trigo con diferente potencial de rendimiento y diferente relación fuente:destino, **ii)** 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 (CHOS).

Materiales y métodos

Para cumplir con este objetivo, se llevaron a cabo tres experimentos, uno de ellos en la estación experimental J. Hirschhorn, de la 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). Todos los experimentos contaron con dos tratamientos: "Control" que consistió en parcelas controladas con fungicidas compuestos por triazoles, carboxamidas y estrobirulinas; y "enfermo" que consistió en parcelas infectadas con dos tipos de royas (roya de la hoja y del tallo).

El primer experimento realizado en FAUBA (año 2013 y 2014) consistió en promover infecciones con esporas de roya de la hoja en cultivares con distinta relación fuente:destino. Estos fueron denominados como (i) "antiguos" ya que fueron cultivares liberados al mercado antes del año 1960, conformados por los cultivares Favorito y Rendidor; y cultivares denominados (ii) "modernos" que fueron liberados al mercado después del año 1997, conformados por los cultivares Pegaso y Baguette 10.

El segundo experimento realizado en FAUBA (años 2016 y 2017) consistió en realizar infecciones con roya del tallo en el cultivar comercial Baguette 601 de alto potencial de rendimiento, clasificado dentro del grupo de calidad 2, con alta susceptibilidad a las royas, distribuido en distintas fechas de siembra.

Un tercer experimento fue realizado en la UNLP (años 2016 y 2017) utilizando líneas con distinta acumulación de CHOS solubles en tallo denominados Seri x Babax (SB) inoculadas con esporas de roya de la hoja.

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 siguiendo el protocolo de Stakman *et al.*, (1962). Las infecciones de patógenos no inoculados como *Py. tritici* (mancha amarilla) y *Z. tritici* (Septoria) y *P. striiformis* (roya amarilla) ocurrieron por presencia y desplazamiento natural del inóculo en el lote experimental. El nivel de infección de estas enfermedades varió de acuerdo a las condiciones ambientales presentes.

En todos los experimentos se realizó seguimiento de la dinámica de las enfermedades cuantificadas mediante el ABCPE (área bajo la curva del progreso de la enfermedad), logrando una identificación y registro de los patógenos por separado siguiendo

la escala modificada de Cobb (Peterson *et al.*, 1948) para las royas, y la escala de Eyal y Brown (1976) para las manchas foliares. Se analizaron las respuestas en el rendimiento y componentes, y se evaluaron las respuestas en la calidad comercial e industrial, siguiendo los protocolos establecidos por las normas IRAM con la colaboración de Noemí Fritz de la Cámara Arbitral de Cereales de Bahía Blanca. 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).

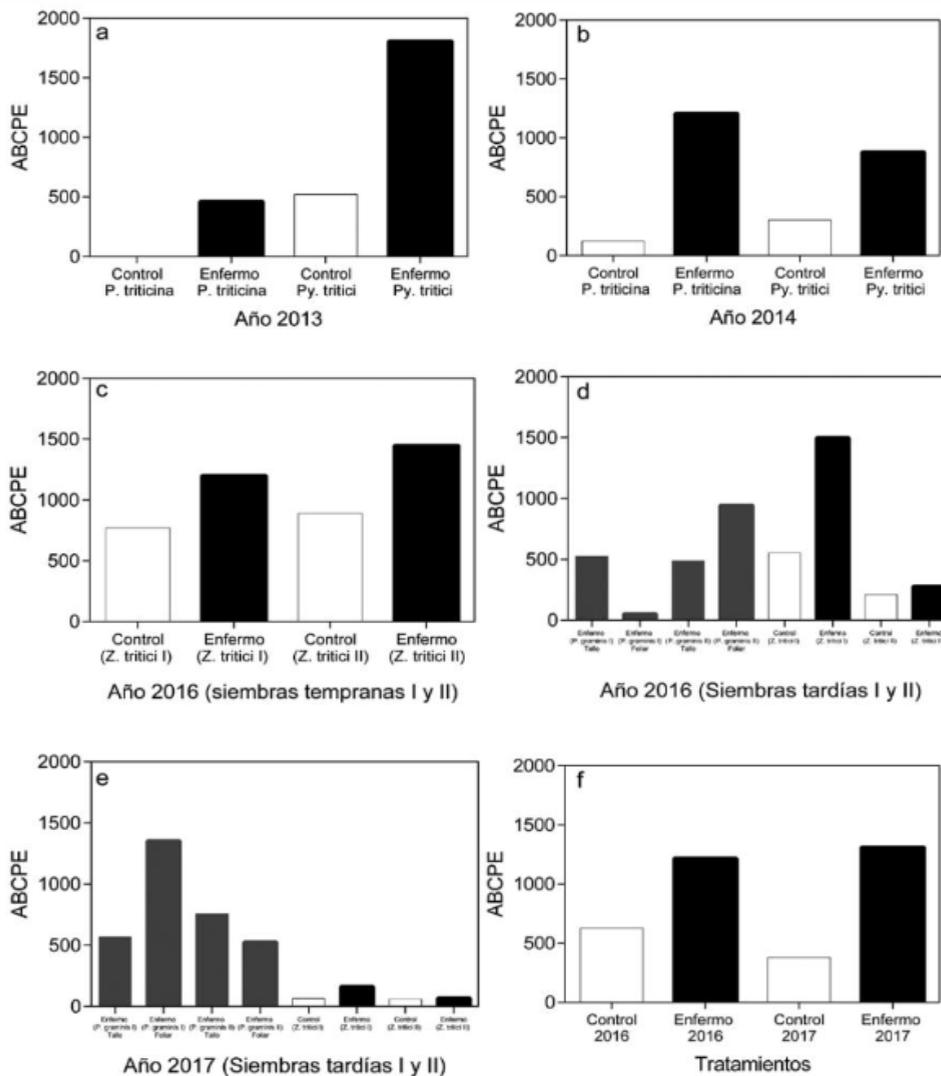
Resultados y discusión

En línea con diversos autores como Campbell y Madden (1990) y Wegulo *et al.* (2012), la presencia de las enfermedades foliares y del tallo estuvo fuertemente influenciada por las condiciones ambientales. 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.

La cuantificación de las enfermedades correspondientes a los tratamientos control y enfermo se encuentran representadas en medias del ABCPE (Figura 2). 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 %.

Como se mencionó anteriormente, 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).

Medias del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) correspondientes a los tratamientos control (Barras vacías) y enfermo (Barras llenas) en cultivares antiguos y modernos para los años a) 2013 y b) 2014 para las distintas enfermedades. Experimento correspondiente a Baguette 601 c) para las fechas de siembra tempranas I y II, d) y tardías I y II durante 2016 y e) año 2017 detallando infecciones de septoria *Z. tritici* a nivel foliar y Roya del tallo *P. graminis* a nivel foliar y del tallo. Experimento SB f) años 2016 y 2017 mostrando el conjunto de ABCPE de todas las enfermedades foliares presentes siendo la predominante roya de la hoja *P. triticina*.



En los experimentos realizados 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).

Estos resultados indican que las 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. En los experimentos realizados 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. 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.

En la **Figura 2** se presenta la cuantificación de las enfermedades representadas mediante el ABCPE, donde se observa una mayor presencia de las enfermedades, como era esperable, en el tratamiento "enfermo". A su vez, se detalla la predominancia de los patógenos dentro de cada experimento que fue diferente de acuerdo al ambiente explorado. De este modo, en el experimento de cultivares "antiguos y modernos" predominaron las enfermedades necrotróficas en el año 2013 (**Figura 2a**) y las enfermedades biotróficas en el año 2014 (**Figura 2b**). En el año 2013 hubo un desfavorecimiento del progreso de la enfermedad biotrófica debido a temperaturas inferiores a los 20 °C durante la mayor parte del ciclo del cultivo, similar a lo que ocurrió con las fechas de siembra tempranas en el año 2016 con el cultivar Baguette 601 (**Figura 2c**), en donde la roya del tallo no pudo prosperar pese a las inoculaciones realizadas. Cuando las inoculaciones fueron realizadas en fechas tardías (**Figura 2d y e**) el progreso de la enfermedad biotrófica fue exitoso debido al aumento de las temperaturas, sumado a una cantidad de horas de rocío apropiadas para la infección. En la **Figura 2f**, se

observa una cuantificación total de las enfermedades en donde se identificaron enfermedades biotróficas, necrotróficas y hemibiotróficas con predominancia de roya de la hoja.

El impacto negativo de las enfermedades en los rendimientos se observó en todos los experimentos, independientemente de los cultivares seleccionados. Sin embargo, la magnitud del efecto negativo se asoció al momento de aparición de las enfermedades independientemente de su hábito nutricional (**Tabla 1**). Cuando las enfermedades se presentaron durante el periodo crítico del cultivo, estas redujeron el número de granos. Mientras que cuando se presentaron durante el llenado de los granos generalmente se observaron disminuciones en el peso de los granos en línea con otras evidencias de la literatura (Kohli *et al.*, 1992; Shabeer y Bokus, 1998; Fernández *et al.*, 2002; Carretero *et al.*, 2008; Serrago y Miralles 2010; Serrago *et al.*, 2011; Wegulo, 2012; Schierenbeck *et al.*, 2016; Serrago *et al.*, 2019 y Schierenbeck *et al.*, 2019 a y b).

No obstante, en algunos casos pese a que se presentaron enfermedades con predominancias tanto de mancha amarilla como de roya de la hoja durante el periodo crítico y el llenado de granos, el peso de los granos no registró modificaciones cuando se lo comparó con el tratamiento sano (**Tabla 1**). Esta respuesta en el peso de los granos puede estar atribuida a distintos factores: **i**) una compensación entre el peso y el número de granos cuando el número de granos se redujo ante la presencia de las enfermedades foliares en el periodo crítico, determinando un mayor número de granos en los tratamientos enfermos y/o **ii**) a una compensación en la capacidad fotosintética de otros órganos, como espigas o pedúnculos, que continúan aportando al llenado de los granos cuando los cultivos son afectados por enfermedades foliares.

La compensación fotosintética de otros órganos ha sido reportada en aquellas condiciones donde está comprometido el suministro de asimilados debido a la pérdida de área foliar. El aporte fotosintético de los tejidos remanentes sanos en la hoja podría aumentar, al igual que una mayor actividad fotosintética de otros tejidos de la planta (e.g. pedúnculo) (Serrago *et al.*, 2011; Carretero *et al.*, 2011). Por otro lado, el tipo de

Tabla 1

Comparación de medias de los tratamientos control y enfermo para las variables de rendimiento correspondientes a cada uno de los experimentos: Cultivares Antiguos y modernos (años 2013 y 2014), Fechas de siembra (años 2016 y 2017) y SB (años 2016 y 2017), asociadas a la presencia y predominancia de las distintas enfermedades.

Variables de rendimiento	Comparación de medias de tratamientos																			
	Antiguos y Modernos (FAUBA)				Fechas de siembra (FAUBA)								SB (UNLP)							
	Py. tritici (2013)		P. triticina (2014)		Z. tritici I (2016)		Z. tritici II (2016)		P. graminis I (2016)		P. graminis II (2016)		P. graminis I (2017)		P. graminis II (2017)		P. triticina (2016)	P. triticina (2017)		
Rendimiento (gr/m²)																				
Control	499	a	411	a	712	a	815	a	690	a	457	a	880	a	703	a	608	a	786	a
Enfermo	439	b	363	a	657	a	687	a	533	b	153	b	495	b	403	b	497	b	454	b
Número de granos (m²)																				
Control	14843	a	12697	a	18269	a	20723	a	19100	a	16806	a	23158	a	21164	a	14975	a	18063	a
Enfermo	12808	b	11207	a	17299	a	18061	b	16867	a	9077	b	18975	b	18245	a	13105	b	14501	b
Peso de los granos (mg)																				
Control	34	a	32	a	38	a	39	a	36	a	23	a	38	a	33	a	41	a	44	a
Enfermo	35	a	32	a	39	a	38	a	32	b	17	b	26	b	22	b	38	b	31	b

patógeno tiene una gran incidencia en la reducción del rendimiento y de sus componentes numéricos ya que las disminuciones en los rendimientos fueron más relevantes en el experimento en el que se realizaron infecciones de roya del tallo, llegando a causar reducciones en el rendimiento de hasta un 66 % (Tabla 1). Estos resultados confirman la hipótesis planteada.

El tipo de enfermedad predominante también afecta no solo el rendimiento sino también la calidad (Tabla 2). En los experimentos donde se registraron disminuciones en el peso de los granos ante infecciones con predominancia de patógenos biotróficos, causantes de las royas *Puccinia spp.*, se evidenciaron efectos negativos en el peso hectolítrico, reduciendo el porcentaje de extracción de las harinas (Tabla 2, Figura 3a). En términos generales, las enfermedades produjeron impactos negativos en el contenido de proteína en grano como consecuencia de infecciones

asociadas a royas *Puccinia spp.* y a manchas foliares *Z. tritici* y *Py. tritici* (Tabla 2).

Estos resultados sugieren que aun cuando el número de destinos (granos por unidad de área) fue sustancialmente reducido por 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 penalizado. Las posibles razones de la reducción en el contenido de proteína como consecuencia de la presencia de enfermedades, podrían estar asociadas a una dramática reducción del área foliar verde, lo que imposibilita la retranslocación de nitrógeno hacia los granos. En este sentido, se ha afirmado que patógenos biotróficos como *Puccinia spp.* y *Erysiphe spp.* pueden perjudicar en mayor medida la acumulación de nitrógeno respecto de CHOs en

el grano (Caldwell, 1934; Petturson y Newton, 1939; Greaney *et al.*, 1941; Park *et al.*, 1988; Simón *et al.*, 2002). Respuestas similares se observaron en el contenido de proteína en harina y el gluten (**Tabla 2**), debido a las importantes asociaciones entre estos dos parámetros y el contenido de proteína (**Figura 3b**).

La presencia de enfermedades afectó otros parámetros de la calidad industrial reduciendo la tenacidad y la fuerza de la masa en forma similar a lo observado en el porcentaje de proteína (**Tabla 3**), que se vio reflejado en la relación positiva que presentan estos parámetros (**Figura 3c**). Por el contrario, las enfermedades incrementaron la extensibilidad, encontrándose en

algunos casos asociaciones negativas entre la tenacidad y extensibilidad (**Figura 3d**). En este punto es importante destacar que la presencia de las enfermedades afectó todos los parámetros estudiados de manera similar tanto (i) en los cultivares con distinta relación fuente:destino (antiguos y modernos) como (ii) en los genotipos con distinta acumulación de carbohidratos. Por lo tanto, el efecto de las enfermedades en este estudio resultó ser independiente a la cantidad de reservas que se encuentren en la planta.

Por otro lado, el efecto negativo de las enfermedades sobre la calidad comercial e industrial depende del momento en que se hace presente la enfermedad,

Tabla 2

Comparación de medias de los tratamientos control y enfermo para las variables de calidad comercial correspondientes a cada uno de los experimentos: Antiguos y modernos (años 2013 y 2014), Fechas de siembra (años 2016 y 2017) y SB (años 2016 y 2017), asociadas a la presencia y predominancia de las distintas enfermedades.

Variables de calidad comercial	Comparación de medias de tratamientos																			
	Antiguos y Modernos (FAUBA)		Fechas de siembra (FAUBA)						SB (UNLP)											
	Py. tritici (2013)	P. triticina (2014)	Z. tritici I (2016)	Z. tritici II (2016)	P. graminis I (2016)	P. graminis II (2016)	P. graminis I (2017)	P. graminis II (2017)	P.triticina (2016)	P.triticina (2017)										
Peso hectolitrico (hL)																				
Control	82	a	80	a	80	a	79	a	73	a	65	a	86	a	77	a	81	a	78	a
Enfermo	81	a	78	a	80	a	77	a	73	a	35	b	79	b	73	b	78	b	66	b
Porcentaje de extracción (%)																				
Control	72	a	63	a	67	a	64	a	74	a	69	a	78	a	75	a	70	a	73	a
Enfermo	71	a	63	a	65	a	55	b	71	b	61	b	65	b	70	b	70	a	65	b
C. Proteína en grano (%)																				
Control	10	a	13	a	11	a	10	a	12	a	17	a	11	a	10	a	11	a	11	b
Enfermo	9	b	12	b	11	b	10	b	10	b	15	b	9	b	8	b	10	b	12	a
C. Gluten húmedo (%)																				
Control	24	a	36	a	22	a	20	a	24	a	35	a	26	a	20	a	24	a	27	a
Enfermo	20	b	35	a	21	a	17	b	19	b	31	b	16	b	14	b	23	b	28	a

el grado de severidad, y del tipo y alcance de la enfermedad en los distintos órganos de la planta.

El producto final de la calidad industrial, determinado por el volumen del pan, presentó pocas o nulas respuestas ante la presencia de las enfermedades foliares (datos no mostrados) y en algunos casos contradictorias a las respuestas obtenidas en parámetros como la fuerza de la masa (W), a pesar de numerosas evidencias que afirman una asociación importante entre estos dos parámetros. Estas respuestas permiten especular que las

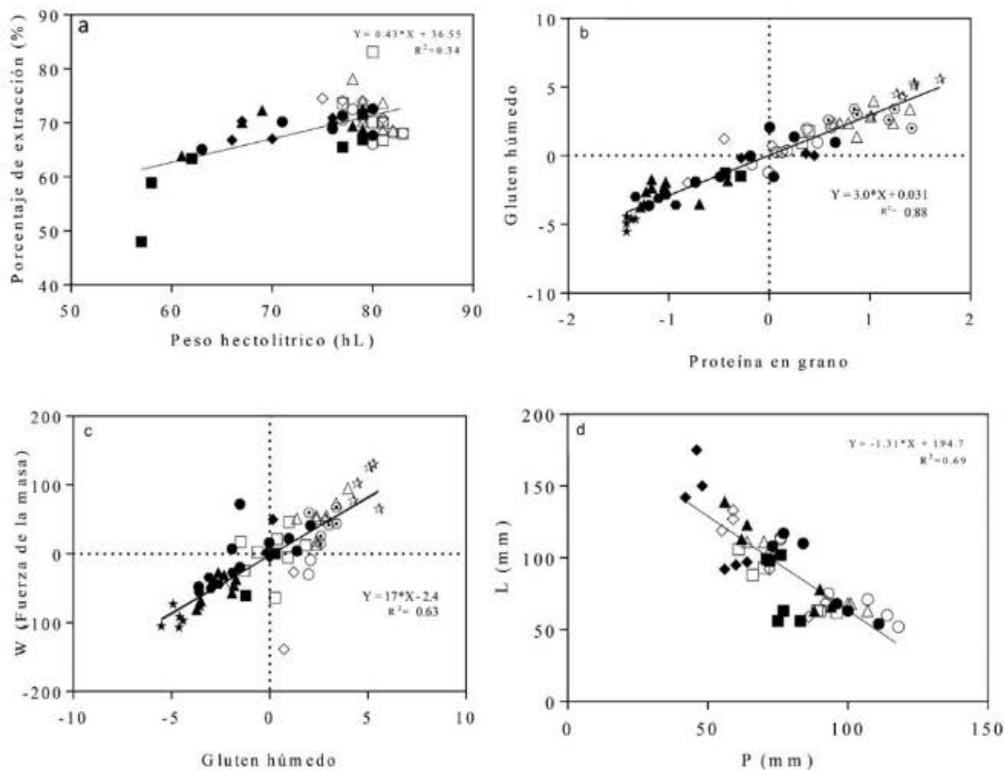
enfermedades foliares podrían afectar la composición de las proteínas causando un desbalance en la relación gliadinas/gluteninas, o quizá modifiquen algunos componentes importantes de las amilasas debido a las tendencias de aumento que se presenciaron en el índice de caída (*Falling number*). Por lo tanto, sería ideal en un futuro investigar cómo las enfermedades afectan a estos atributos que están asociados a la calidad de las harinas más allá de los parámetros reológicos investigados en estos experimentos.

Tabla 3

Comparación de medias de los tratamientos control y enfermo para los parámetros del alveograma correspondientes a cada uno de los experimentos: Cultivares Antiguos y modernos (años 2013 y 2014), Fechas de siembra (años 2016 y 2017) y SB (años 2016 y 2017) asociadas a la presencia y predominancia de las distintas enfermedades.

Parámetros del alveograma	Comparación de medias de tratamientos																			
	Antiguos y Modernos (FAUBA)		Fechas de siembra (FAUBA)						SB (UNLP)											
	Py. tritici (2013)	P. triticina (2014)	Z. tritici I (2016)	Z. tritici II (2016)	P. graminis I (2016)	P. graminis II (2016)	P. graminis I (2017)	P. graminis II (2017)	P. triticina (2016)	P. triticina (2017)										
Tenacidad de la masa P (%)																				
Control	58	a	76	a	135	a	134	a	113	a	122	a	138	a	102	a	97	a	70	b
Enfermo	57	a	74	a	131	a	112	a	98	b	83	b	96	b	88	b	84	b	64	a
Extensibilidad de la masa L (%)																				
Control	51	a	84	a	44	a	30	a	67	a	83	b	62	a	53	a	69	a	105	b
Enfermo	47	a	91	a	46	a	35	a	51	b	124	a	41	b	38	b	69	a	123	a
Relación P/L																				
Control	1,3	a	0,9	a	3,1	a	4,6	a	1,7	b	1,6	a	2,4	a	2,0	a	1,5	a	0,7	a
Enfermo	1,4	a	0,8	a	2,9	a	3,3	a	2,0	a	0,7	b	2,3	a	2,3	a	1,3	b	0,6	a
Fuerza de la masa W (J x 10⁻⁴)																				
Control	132	a	277	a	252	a	182	a	315	a	437	a	344	a	225	a	231	a	211	a
Enfermo	111	a	277	a	270	a	175	a	211	b	343	b	171	b	144	b	196	b	222	a

a) Porcentaje de extracción de las harinas (%) en función del peso hectolítrico (hL) expresados en valores absolutos; b) Gluten húmedo y Proteína en grano; y c) W (fuerza de la masa) y Gluten húmedo expresados como diferencia (en valores absolutos respecto a la media de cada fecha de siembra); y d) extensibilidad L (mm) vs tenacidad P (mm) ambos en valores absolutos. Los círculos llenos corresponden al tratamiento enfermo y los círculos vacíos al tratamiento controlado con fungicidas. Las distintas figuras geométricas representan las distintas fechas de siembra y/o genotipos.



Bibliografía

- 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 PE., 2017. Identificación de razas exóticas de roya amarilla en región triguera argentina. EEA INT Bordenave.
- Carretero, R., Bancal, M.O., Miralles, D. J., 2008. Principales enfermedades foliares en el cultivo de trigo en la región pampeana argentina. Una visión ecológica. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Carretero, R., Bancal, M.O., Miralles, D.J., 2010. 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.
- 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>.
- Fernandez, M.R., Clarke, J.M., DePauw, R.M., Lefkovich, L.P., 1996. Comparison of durum and common wheat cultivars for reaction to leaf spotting fungi in the field. *Plant Disease*, 80: 793-797.
- 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.J., 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.J., 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.
- Granesy, 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.
- Kohli, M., Mehta, Ackermann, M., 1992. Spread of tan spot in the Southern Cone Region of South America. In: Franci, L., Krupnick, 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.
- Laidig, F., Piepho, H.-P., Rentel, D.; Drobek, T., Meyer, U.; Huesken, A. Breeding progress, variation, and correlation of grain and quality traits in winter rye hybrid and population varieties and national on-farm progress in Germany over 26 years. *Herit. Appl. Genet.* 2017, 130, 981-998
- 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.
- 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.
- 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.
- Passarella y Savin, 2003. Características físico-químicas de los granos y usos principales. En: *Producción de granos, Bases funcionales para su manejo*. Ed. Facultad de Agronomía. Pág. 14.
- 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.
- Petturson, B., Newton, M., 1939. The effect of leaf rust on wheat quality. *Canadian Journal of Research*, 17: 380-387.
- Rabbinge, G., 1993. Crop protection and sustainable agriculture. *Ciba Found. Symp.* 177, John Wiley y Sons, Chichester. 2-29.
- 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.
- Schierenbeck M., Fleitas, M.C., Cortese, F., Golik, S., Simón, M.R., 2019a. Nitrogen accumulation in grains, remobilization and post-anthesis uptake under tan spot and leaf rust infections on wheat. *Field Crop Res.* 235, 27-37.
- Schierenbeck M., Fleitas, M.C., Gerard, G.S., Dietz, J.J., Simón, M.R., 2019b. Combinations of fungicide molecules and nitrogen fertilization revert nitrogen yield reductions generated by *Pyrenophora tritici-repentis* infections in bread wheat. *Crop Protection* 121, 173-181.
- 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.A y Miralles D.J., 2010. Enfermedades foliares en el cultivo de trigo: Un enfoque ecológico 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>
- 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.
- Simón, M.R., Perelló, A.E., Cordo, C.A., Striuk, 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.
- 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., Benesh 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.
- 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)
- Wardlaw I. F. y Willenbrink J., 1994. Carbohydrate Storage and Mobilization by the Culin 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.
- Weguo, S., Stevens, J., Zwingman, B., Baenziger, P.S., 2012. Yield Response to Foliar Fungicide Application in Winter Wheat, Fungicides for Plant and Animal Diseases, Dr. Dhanumadurai Dhanasekaran (Ed.) Available from: <http://www.intechopen.com/books/fungicides>
<https://www.trigoargentino.com.ar/Est/muestadisticas.aspx>