

Respuesta al control de enfermedades foliares en ambientes con diferentes niveles de nitrógeno

Response to control of foliar diseases in environments with different levels of nitrogen

LO VALVO, P.J.; COBACHO, L.; SERRAGO, R.A.

Cátedra de Cerealicultura, Departamento de Producción Vegetal
 Universidad de Buenos Aires y CONICET
 Av. San Martín 4453, C1417DSE, Buenos Aires, Argentina
lvalvop@agro.uba.ar

Resumen

Algunos trabajos sostienen que ante un agregado de nitrógeno (N) puede verse favorecido el desarrollo de las enfermedades por diversas interacciones planta-patógeno, sin embargo existen evidencias que demuestran lo contrario. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de dos estrategias de control de enfermedades foliares en cultivos de trigo creciendo en condiciones contrastantes de fertilización nitrogenada (alta y baja disponibilidad, N_0 y N_1 respectivamente). Para ello se realizaron dos experimentos con objetivos diferentes: (i) evaluar el control de las enfermedades foliares utilizando dos estrategias de control en ambientes de baja y de alta disponibilidad de nitrógeno; y (ii) evaluar el impacto fisiológico de dos grupos diferentes de fungicidas (triazoles y estrobilurinas) en ambientes de baja y de alta disponibilidad de nitrógeno. La principal enfermedad fue “roya de la hoja” (*Puccinia tritici* Eriksson), la que en la situación de N_1 se inició antes respecto a N_0 . No existieron diferencias en los valores índices de verdor entre cultivos enfermos y sanos (tratamiento convencional). Sin embargo, las sucesivas aplicaciones de fungicida (control total) generaron diferencias en los valores de los índices de verdor en hoja respecto a los otros dos tratamientos. Existieron diferencias significativas en el rendimiento y en el número de granos tanto para la variable disponibilidad de N como para las diferentes estrategias de control de la enfermedad. En N_1 se encontraron mayores valores de fotosíntesis. Sin embargo, ninguna diferencia estadísticamente significativa fue encontrada entre ambos principios activos en cuanto a los niveles de fotosíntesis foliar en hoja bandera a lo largo del llenado de los granos.

Palabras claves: *Triticum aestivum*-roya de la hoja-rendimiento

Introducción

En la región Pampeana, las enfermedades foliares predominantes en el cultivo de trigo en cuanto la incidencia (porcentaje de individuos u hojas infectadas) y severidad (proporción del tejido afectado) son “roya de la hoja” (*Puccinia tritici* Eriksson “septoriosis de la hoja”) (*Septoria tritici*) y “mancha amarilla” (*Drechslera tritici-repentis*) (Carmona, 2001). Estas tres enfermedades pueden generar pérdidas de rendimiento de hasta el 60% en cultivares susceptibles (Cornish et al., 1990). Sin embargo, la magnitud de dichas pérdidas depende fuertemente de: (i) las condiciones ambientales (i.e. la disponibilidad de los recursos hídricos o nutricionales, regímenes de precipitación, humedad relativa y temperatura) (Robert et al., 2002; Bancal et al., 2007), (ii) del cultivar de trigo a utilizar (McIntosh et al., 1995; Serrago et al., 2011), (iii) el estado fenológico del cultivo al momento que se produce el ataque de la enfermedad (Madden y Nutter, 1995) y (iv) de la intensidad y la duración de la enfermedad (Madeira et al., 1994).

En el cultivo de trigo, como en la mayoría de los cultivos de granos, es ampliamente conocida la asociación lineal positiva entre el rendimiento y número de granos (NG) (Fischer, 1975 y 1985; Miralles y Slafer, 2007). De esta manera, infecciones en el

Summary

Some studies argue that the addition of nitrogen (N) to a crop can favor the development of diseases due to various plant-pathogen interactions; however, there is evidence to the contrary. The objective of this work was to evaluate the impact of two foliar disease control strategies in wheat growing under contrasting conditions of nitrogen fertilization (high and low availability, N_0 and N_1 respectively). Two experiments were carried out with different objectives: (i) to evaluate the control of foliar diseases using two control strategies in environments with low and high nitrogen availability; (ii) to evaluate the physiological impact of two different groups of fungicides (triazoles and strobilurins) in low and high nitrogen availability environments. The main disease was leaf rust. The disease started earlier in N_1 than in N_0 . There were no differences in SPAD values between diseased and healthy cultures (conventional treatment). However, successive applications of fungicide (total control) resulted in differences in leaf SPAD values with respect to the other two treatments. There were significant differences in yield and number of grains for both the variable N availability and the different disease control strategies. Higher levels of photosynthesis were found in N_1 . However, leaf photosynthesis levels showed no statistically significant difference between both active principles throughout the grain filling stage.

Keyword: *Triticum aestivum* - leaf rust - yield

período de determinación del NG (20 días previos a la antesis) producirán caídas significativas en el rendimiento. Simón et al. (2002) mostraron que infecciones tempranas en el ciclo de trigo con “septoriosis de la hoja” (*Septoria tritici*) reducían el número de espigas, mientras que infecciones tardías disminuían el NG por espiga y/o el peso de granos (PG). Por otro lado, si las enfermedades foliares comienzan a ser importantes una vez ocurrida la antesis del cultivo, el impacto en el rendimiento estará dado por reducciones principalmente del PG. Numerosos autores trabajando con estas enfermedades durante el llenado de granos (Cornish et al., 1990; Dimmock y Gooding, 2002) han mostrado una amplia variabilidad en la respuesta del PG (5 a 25%) al control de enfermedades foliares. Serrago et al. (2011) demostraron que la magnitud de la pérdida en el PG ante la presencia de enfermedades durante el llenado de los granos dependía de la relación fuente-destino establecida por los cultivos.

En los sistemas de alta producción triguera de la región Pampeana Argentina, es muy común la utilización de elevadas dosis de nitrógeno. Esta característica modifica los sistemas de producción, tanto si consideramos los niveles de rendimiento alcanza-

dos, como si consideramos las diferentes estrategias de protección de cultivos utilizadas ante cada escenario productivo. En este sentido, no existe un consenso marcado respecto a las reducciones del rendimiento causados por enfermedades foliares en cultivos creciendo en diferentes condiciones de nitrógeno (N). Sin embargo, es claro que cultivos creciendo en ambientes con baja disponibilidad nutricional resultan en plantas débiles, con una menor tasa de crecimiento y una menor duración del área foliar dada por una temprana senescencia foliar. Por otro lado, al aumentar la disponibilidad de N a través del agregado de fertilizantes se producen aumentos en el rendimiento del cultivo de trigo, tanto por un aumento en la tasa fotosintética del cultivo (dado por un mayor N foliar específico) como por un mayor número de espigas por unidad de superficie (si las aplicaciones de fertilizante se realizan en etapas tempranas del ciclo del cultivo). Existen algunas evidencias que muestran que aumentos en

la disponibilidad de N proporciona un mejor comportamiento ante la presencia de enfermedades foliares y/o facilitan la recuperación ante las lesiones causadas por las mismas. En general, se acepta que este comportamiento se observa cuando el complejo de enfermedades foliares está dominado por patógenos necrotrofos. Sin embargo, otros autores demostraron que ante el agregado de nitrógeno puede aumentar el desarrollo de las enfermedades por diversas interacciones planta-patógeno (especialmente de aquellas enfermedades causadas por patógenos biotróficos como *P. triticina* “roya de la hoja”; Sas et al., 2009).

Por todo lo planteado anteriormente, se planteó el objetivo principal de este trabajo, el cual fue evaluar el impacto del control tradicional vs. control total de las enfermedades foliares en cultivos de trigo creciendo en condiciones contrastantes de fertilización nitrogenada (N_0 y N_1 , respectivamente).

Materiales y Métodos

Diseño experimental

Para cumplir con el objetivo planteado se realizaron dos experimentos durante el año 2012 en el campo experimental del departamento de producción vegetal de la Universidad de Buenos Aires (34°35'S, 58°29'W). El primer experimento tuvo como objetivo evaluar el control de las enfermedades foliares utilizando dos estrategias de control en ambientes de baja y de alta disponibilidad de nitrógeno (N_0 y N_1 , respectivamente). La primera estrategia de control (control convencional) consistió en una sola aplicación de fungicida (p.a. tebuconazole) en Z3.9 y la segunda (control total) consistió en sucesivas aplicaciones de fungicida (p.a. tebuconazole) a partir de la aparición de los primeros síntomas (APS). Estas sucesivas aplicaciones fueron realizadas a los 5 días desde aparición de los primeros síntomas (APS) (6/11), 11 días desde APS (12/11), 18 días desde APS (19/11), 27 días desde APS (28/11) y 34 días desde APS (4/12). También se contó con parcelas testigo sin aplicación de fungicida (tratamiento enfermo).

El segundo experimento tuvo como objetivo evaluar el impacto fisiológico de dos grupos químicos diferentes de fungicida (i.e. triazoles y estrobilurinas) en ambientes de baja (N_0) y de alta disponibilidad de nitrógeno (N_1). Para ello, en ambas situaciones (N_0 y N_1) se realizaron sucesivas aplicaciones de triazoles y estrobilurinas desde la aparición de los primeros síntomas (idem control total). Estas aplicaciones fueron realizadas a los 5 días desde aparición de los primeros síntomas (APS) (6/11), 11 días desde APS (12/11), 18 días desde APS (19/11), 27 días desde APS (28/11) y 34 días desde APS (4/12). En ambos experimentos, los tratamientos fueron arreglados en parcelas divididas, en donde la parcela principal correspondió a los tratamientos de N y la sub-parcela a los tratamientos de control de las enfermedades con fungicidas. Los tratamientos fueron analizados mediante ANOVA con un nivel de significancia del 5%.

Resultados

Experimento 1.

Debido a la inoculación realizada, todos los cultivos se vieron afectados principalmente por “roya de la hoja” (*Puccinia tritici* Eriksson), la cual fue la enfermedad foliar predominante en ambos experimentos y los dos tratamientos nutricionales. El desarrollo de la epidemia de “roya de la hoja” en los tres estratos superiores del canopeo durante gran parte del ciclo del cultivo ocurrió desde la antesis (19 de noviembre) en adelante, siendo particularmente importante durante el final del período crítico, especialmente durante el llenado efectivo de los granos (Figura 1). En el mismo sentido, “roya de la hoja” fue importante inicial-

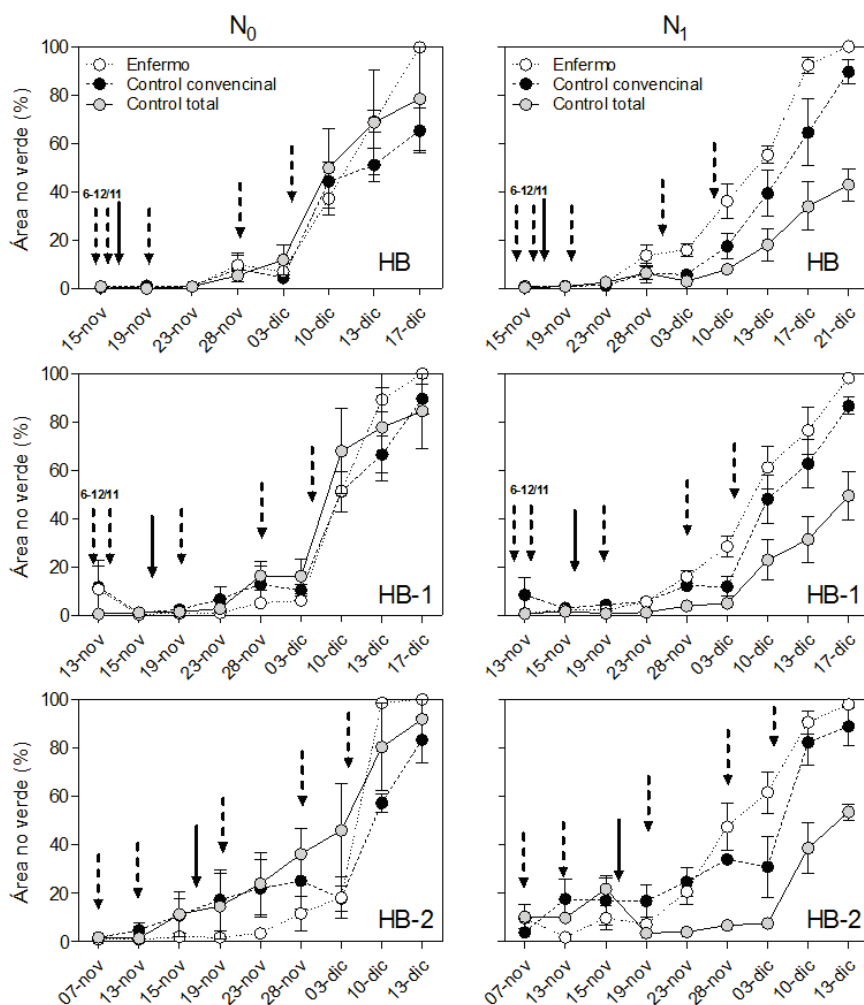
En ambos experimentos se utilizó el cultivar Baguette 10 sembrado el 31 de agosto de 2012 con una densidad objetivo de 450 plantas por m^2 . Se consideró ambiente de baja disponibilidad de nitrógeno (N_0) aquel que no fue fertilizado en ningún momento durante el ciclo del cultivo, mientras que el ambiente de alta disponibilidad de nitrógeno fue fertilizado con 250 kg de urea al macollaje del cultivo (N_1). Todas las parcelas fueron mantenidas libres de malezas y plagas durante todo el ciclo del cultivo a partir del control químico de las mismas. Al comienzo de encañazón (Z3.2) todas las parcelas de ambos experimentos fueron inoculadas con esporas de *P. triticina* utilizando una raza específica para el cultivar utilizado. Luego de la inoculación, todas las parcelas fueron cubiertas por carpas construidas con polietileno cristal la noche posterior a la inoculación con el objetivo de facilitar la penetración del hongo en los tejidos y facilitar el desarrollo de la infección y posterior epifitía.

Mediciones

Las mediciones que se realizaron durante el ciclo del cultivo fueron: (i) severidad de la enfermedad mediante una determinación visual en los tres estratos superiores del canopeo; (ii) índice de verdor en los mismos estratos foliares que se midió la severidad (tomando como dato el valor medio de tres mediciones realizadas en la misma lámina, base, centro y extremo apical (o ápice) con SPAD y (iii) rendimiento y componentes numéricos (NG y PG) a través del muestreo de los cinco surcos centrales de la parcela (0,45 m^2). Una vez tomadas las muestras de rendimiento se separaron las espigas, las que se secaron en estufas a 60°C por 72 horas y posteriormente pesadas. Las espigas se trillaron y se obtuvo el NG y PG. En el experimento 2, además de las mediciones mencionadas, se determinó fotosíntesis foliar durante diferentes momentos del llenado de granos (2, 10, 16, 21 y 25 días desde antesis). Las mediciones de fotosíntesis máxima (P_{MAX}) fueron realizadas sobre la HB utilizando un equipo Li-Cor 6400.

mente en estratos intermedios del canopeo (HB_2) y progresó en sentido acrópeto, colonizando las hojas superiores hasta alcanzar la HB (Figura 1). Al momento de antesis del cultivo el porcentaje de área foliar no verde fue de entre el 5% y el 10% en la HB_2 (para N_0 y N_1 , respectivamente), 11% (N_0) y 47% (N_1) a los 10 días post-antesis y 100% a los 20 días post-antesis en ambas situaciones. En el estrato superior (HB) en antesis del cultivo, el porcentaje de área foliar no verde era casi inexistente. A los 10 días post-antesis los porcentajes de severidad eran de 10% (N_0) y 12% (N_1) y de 100% a los 20 días post-antesis en ambas condiciones de nitrógeno.

Figura 1: Área no verde (%) a lo largo del ciclo del cultivo en los tres estratos superiores del canopeo en cultivos con baja y alta disponibilidad de nitrógeno. La flecha continua indica el momento de aplicación del fungicida en los tratamientos de control convencional y las flechas punteadas indican los momentos de aplicación de fungicida en los tratamientos de control total. Antesis del cultivo: 19/11.



Por otro lado, pudo observarse que en la situación de N_1 , “roya de la hoja” comenzó a observarse unos días antes respecto a la situación de N_0 en los estratos foliares inferiores (HB_1 y HB_2). En las hojas del estrato superior, “roya de la hoja” se observó en la misma fecha en N_0 y N_1 ; sin embargo, el crecimiento inicial de la enfermedad fue mayor en N_1 . Los valores mayores al 5% del área foliar no verde observados en los estratos HB_1 y HB_2 fueron a los 6 y 9 días desde la antesis del cultivo para el tratamiento N_0 , y 12 días previo a la antesis y 4 días post antesis para el tratamiento N_1 (Figura 1). La estrategia de control convencional de enfermedades foliares (i.e. una aplicación de tebuconazole en Z3.9) redujo la severidad de “roya de la hoja” en todos los estratos foliares evaluados (Figura 1). Sin embargo, este comportamiento fue mucho más importante cuando se analizó el tratamiento de control total de enfermedades. En este sentido, la severidad fue reducida un 15% y 4% (para N_0 y N_1 , respectivamente) en el tratamiento de control convencional y un 12% y 32% en el tratamiento de control total.

A pesar de las diferencias anteriormente comentadas en la severidad de “roya de la hoja” (*Puccinia tritici* Eriksson), no existieron diferencias en los valores de SPAD entre cultivos enfermos y cultivos que recibieron el tratamiento convencional de control (Figura 2). Sin embargo, las sucesivas aplicaciones de fungicida (control total) generaron diferencias en los valores de SPAD en

hoja respecto a los cultivos enfermos y respecto a la estrategia de control convencional (Figura 2). Estas diferencias fueron de mayor magnitud en la situación de N_1 con respecto a la situación de N_0 en donde los valores de SPAD disminuyeron bruscamente en los tratamientos sin aplicación de fungicida dado por una anticipada senescencia foliar (Figura 2).

Rendimiento y componentes numéricos

Existieron diferencias significativas en el rendimiento de los cultivos, tanto para la variable disponibilidad de recursos producto de los tratamientos de N ($p < 0,01$), como producto de los diferentes tratamientos de control de “roya de la hoja” ($p < 0,05$). En el mismo sentido, no existió interacción significativa entre estos dos factores (Tabla 1). Independientemente de la estrategia de control de la enfermedad, en promedio los cultivos rindieron 75% más en N_1 respecto de N_0 . Por otro lado, si observamos lo ocurrido en las diferentes estrategias de control de la enfermedad, el tratamiento de control total rindió 80% y 60% más que el tratamiento enfermo (sin control) en N_0 y N_1 respectivamente (Tabla 1). En cuanto a la estrategia de control convencional solo se observaron incrementos significativos en el rendimiento en la situación de N_1 (12%) (Tabla 1). Estas diferencias observadas en el rendimiento de los cultivos fueron principalmente explicadas por variaciones en el NG, existiendo una fuerte asociación entre estas dos variables ($r^2 = 0,94$).

Figura 2: Índice de verdor a lo largo del ciclo del cultivo en los tres estratos superiores del canopeo en cultivos con baja y alta disponibilidad de nitrógeno. La flecha continua indica el momento de aplicación del fungicida en los tratamientos de control convencional y las flechas punteadas indican el momento de aplicación de fungicida en los tratamientos de control total. Antesís del cultivo: 19/11.

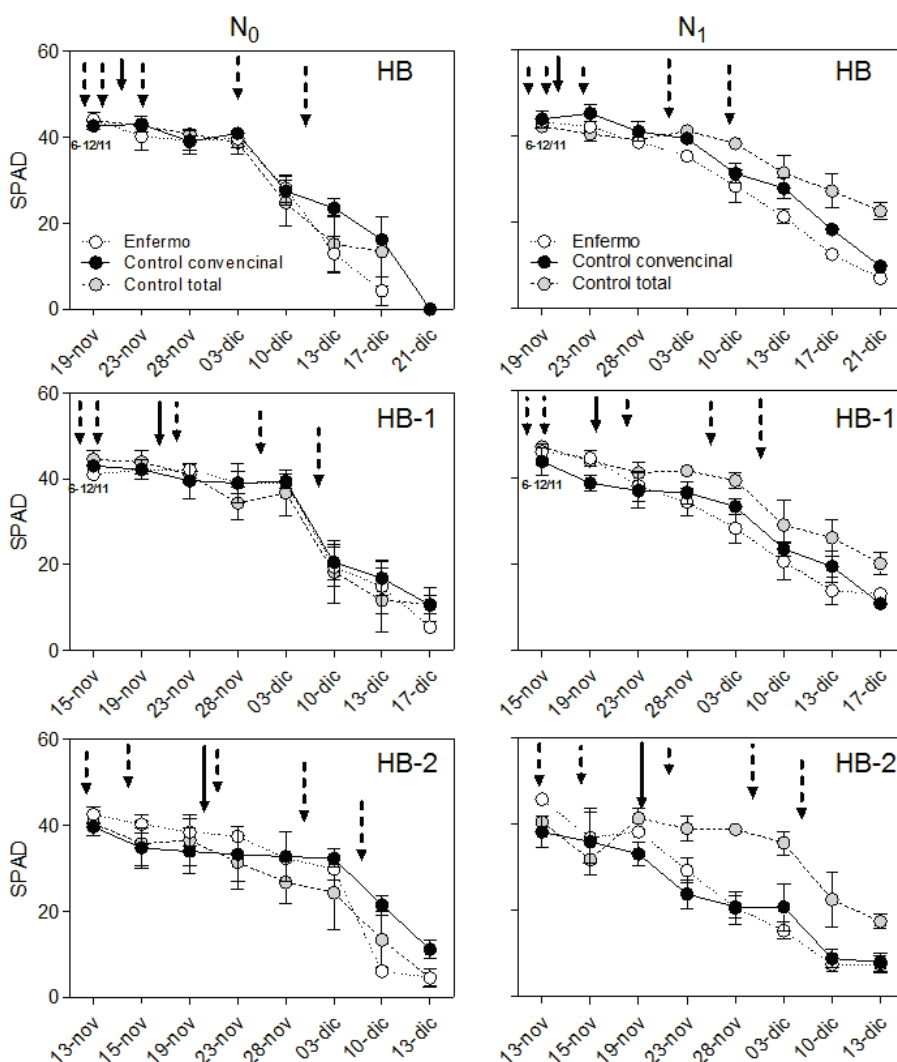


Tabla 1: Rendimiento (g m^{-2}), número de granos (m^{-2}) y peso de granos (mg) para las parcelas sin control (enfermo), control convencional y control total en las situaciones, de baja (N_0) y alta disponibilidad de nitrógeno (N_1). * $p > 0,05$; ** $p > 0,01$; *** $p > 0,001$; ns sin diferencias significativas

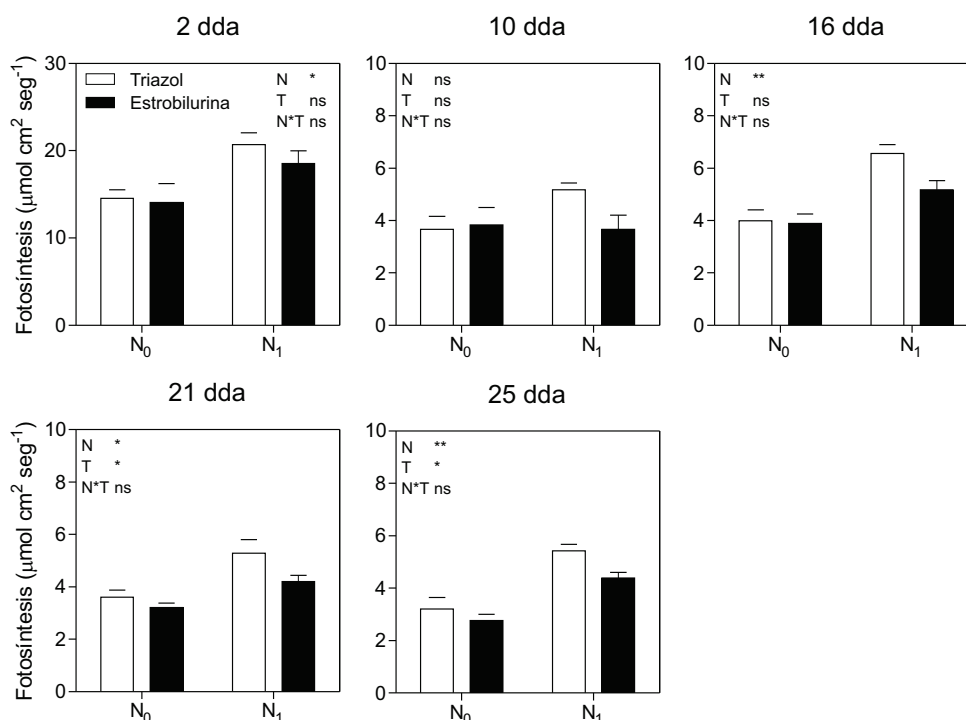
Nitrógeno	Fungicida	Rendimiento (g m^{-2})	Número de granos (m^{-2})	Peso de granos (mg)
N_0	Enfermo	114,50	5.216	21,50
	Convencional	112,66	5.083	22,07
	Total	205,90	7.865	26,17
N_1	Enfermo	203,80	7.724	25,70
	Convencional	229,13	9.343	24,53
	Total	326,80	12.418	26,33
	N	**	***	*
	Trat	*	*	*
	$N \times \text{Trat}$	ns	ns	ns

En cuanto a los subcomponentes del rendimiento, se encontraron diferencias significativas en el NG tanto para la variable disponibilidad de N ($p < 0,001$) como para las diferentes estrategias de control de la enfermedad ($p < 0,05$). Al distinguir entre las diferentes estrategias de control de las enfermedades, el control total incrementó 50% y 60% el NG respecto de los tratamientos enfermo en N_0 y N_1 , respectivamente (Tabla 1). Por otro lado, y al igual que el rendimiento, el tratamiento de control convencional solo produjo incrementos significativos en el NG en N_1 (20%). Al analizar el segundo componente numérico del rendimiento (i.e. PG), se observaron diferencias significativas tanto en la variable disponibilidad de N como en las diferentes estrategias de control de las enfermedades (en ambas el valor $p < 0,05$). Sin embargo, diferentemente a lo observado con el rendimiento y el NG, se observaron incrementos significativos en el PG (21%) en las situaciones de baja disponibilidad nitrogenada (N_0) cuando se comparó la estrategia de control total de las enfermedades versus cultivos enfermos con “roya de la hoja” (Tabla 1).

Experimento 2.

Como fue mencionado anteriormente, el objetivo de este experimento fue evaluar el impacto sobre la fotosíntesis foliar de dos grupos diferentes de fungicidas (triazoles y estrobilurinas) en ambientes de baja (N_0) y de alta disponibilidad de nitrógeno (N_1). Los valores de fotosíntesis en HB fueron máximos en las mediciones tomadas en antesis (Figura 3) y fueron disminuyendo durante el llenado de los granos, coincidiendo con la destrucción de la clorofila provocada por la senescencia foliar (Figura 2). En términos generales, los cultivos creciendo en altas disponibilidades de nitrógeno tuvieron mayores valores de fotosíntesis que los cultivos creciendo en bajas condiciones de nitrógeno. Sin embargo, ninguna diferencia estadísticamente significativa fue encontrada entre ambos principios activos en cuanto a los niveles de fotosíntesis foliar en HB a lo largo del llenado de los granos (Figura 3). Este comportamiento fue independiente de la condición de crecimiento dada por la disponibilidad de N. Sin embargo, se observó mayor nivel de fotosíntesis foliar cuando los cultivos fueron tratados con tebuconazole y muy evidente en la condición de crecimiento de alta disponibilidad de N.

Figura 3: Fotosíntesis foliar medida en HB a lo largo del llenado de los granos para el tratamiento de control total. Las barras blancas corresponden al control realizado con triazoles y las barras negras corresponden al control realizado con estrobilurinas. Las letras dentro de los cuadros representan al tratamiento de nitrógeno (N), al tratamiento con fungicida (T) y a su interacción (N*T). Los símbolos representan los resultados del análisis estadístico (*) $> 0,05$; (**) $> 0,01$; (ns) sin diferencias significativas.



Discusión

La dinámica de aparición y colonización del canopeo del cultivo por la “roya de la hoja” comenzó aproximadamente en antesis y continuó durante el llenado de los granos. Este comportamiento se observó a pesar de haber realizado inoculaciones tempranas con esporas de *P. triticina*. Este comportamiento de la enfermedad podría vincularse al incremento de las temperaturas nocturnas en las últimas etapas del cultivo de trigo. La combinación de altas temperaturas nocturnas y humedad fue la condición predisponente para que el avance de la “roya de la hoja” (Roelfs y Martens, 1988). A su vez, en la situación de alta disponibilidad de N se observó un mayor ataque de la enfermedad. Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que las respuestas al

control de las enfermedades foliares (tanto para el control convencional como para la estrategia de control total) fueron mayores en las condiciones de alta disponibilidad de nitrógeno. Estas respuestas de aumento en la severidad de “roya de la hoja” al agregado de nitrógeno, es coincidente con lo encontrado por otros autores tanto en condiciones semi-controladas (Howard et al., 1994; Leitch y Jenkins, 1995) como en condiciones controladas (Hayde et al., 1994).

Al igual que lo observado en otros trabajos, los cambios en el rendimiento fueron explicados principalmente por cambios en el NG (Fischer, 1985; Slafer et al., 1996). De esta forma, los trata-

mientos de N_1 rindieron en promedio más que los tratamientos N_0 . Por otro lado, al controlar químicamente la enfermedad se observó una mayor respuesta en la situación de alta disponibilidad de N. Estas diferencias encontradas en el control de “roya de la hoja” posiblemente estén relacionadas con las diferencias en producción de biomasa en cada una de las situaciones nutricionales (datos no mostrados) y en consecuencia, las diferencias en radiación interceptada (RI) acumulada durante el ciclo del cultivo (Serrago et al., 2009). La RI por el cultivo depende fuertemente del índice de área foliar (IAF) y las enfermedades foliares podrían afectar el IAF total mediante los procesos de aceleración de la senescencia foliar, caídas de hojas y mortandad de macollos. El efecto sobre RI será menor si las enfermedades reducen el IAF total de un cultivo que haya alcanzado un IAF total cercano al crítico y será mayor en el caso de un cultivo que haya alcanzado bajos valores de IAF total (Johnson, 1987; Cornish et al., 1990; Gaunt, 1995; Paveley et al., 2001).

Las aplicaciones sucesivas de fungicidas (control total), aumentaron el PG en la situación de baja disponibilidad nitrogenada. Sin embargo, el efecto del control de “roya de la hoja” sobre el PG fue de menor magnitud en los cultivos con alta disponibilidad nitrogenada. Muchos autores evaluando las diferentes respuestas a la modificación en la relación fuente-destino concuerdan en que el cultivo de trigo se encuentra principalmente limitado por destino y levemente co-limitado por fuente y por destino (; ;). Sin embargo, otros autores han encontrado algún grado de limitación por fuente cuando la presencia de las enfermedades fue importante en el periodo de llenado de los granos en cultivos con alto potencial de rendimiento (alto PG y/o NG) (Gooding et al., 2000; Dimmock y Gooding, 2002; Ruske et al., 2003; Serrago et al., 2009 y 2011). Los resultados de este trabajo concuerdan parcialmente con ambas situaciones. En la situación N_0 , el culti-

vo de trigo se encontraba principalmente limitado por fuente y que al liberar totalmente el cultivo de las enfermedades foliares se observaron incrementos significativos en el PG resultado de contar con mayor fotoasimilados por granos fijado. Sin embargo, en la situaciones N_1 el cultivo se encontraba limitado por destinos ya que al liberarlo de las enfermedades foliares no se observaron incrementos significativos en el PG.

Diversos trabajos evaluaron los efectos entre diferentes grupos químicos de fungicidas, principalmente entre triazoles y estrobilurinas. Estos trabajos fueron realizados bajo la hipótesis de un efecto fisiológico de las estrobilurinas, que excedería el efecto indirecto sobre el crecimiento de la planta producto del control de las enfermedades existentes en el cultivo. En este sentido, Weisz et al. (2011) en un meta-análisis cuyo objetivo fue evaluar los beneficios económicos de la aplicación de fungicida en ausencia de enfermedades foliares en el cultivo de trigo, no encontraron diferencias entre los distintos principios activos probados (i.e. triazoles y estrobilurinas). Sin embargo, en condiciones controladas se han observado cambios fisiológicos en plantas de trigo y cebada ante la aplicación de estrobilurinas. Estos cambios incluyen incrementos de la intensidad de verdor y retraso de la senescencia foliar, junto con una inhibición de la síntesis de etileno y una mayor actividad antioxidante (Glaab y Kaiser, 1999). Los datos obtenidos en el presente trabajo no concuerdan con los resultados mencionados anteriormente, ya que no se encontraron diferencias significativas en la P_{MAX} en la HB entre los dos grupos químicos. Por otro lado, era esperable encontrar diferencias en la P_{MAX} entre los diferentes niveles de nitrógeno (N_0 y N_1) concordante con lo encontrado en la literatura (Boote y Pickering, 1994; Muchow y Sinclair, 1994; Loomis y Connor, 2002).

Conclusiones

El control químico de las enfermedades foliares en el cultivo de trigo en la Argentina es una práctica comúnmente utilizada. A pesar de que el control total de la enfermedad (aplicaciones sucesivas) no es una práctica económica ni ambientalmente recomendable, es con la que se obtienen mayores respuestas en el rendimiento. Ese comportamiento se maximiza si el ambiente productivo es de alto potencial, similar al explorado en este trabajo por el ambiente de alta oferta de N (N_1). Por otro lado, las respuestas encontradas en el control convencional (una aplica-

ción en Z3.9) dependen fuertemente de las condiciones de crecimiento del cultivo. Es justificable la aplicación de fungicidas en ambientes de alto potencial (N_1) dada por su respuesta positiva en el rendimiento; sin embargo, en ambientes de bajo potencial de rendimiento, con la aplicación de fungicida no es esperable tener incrementos en el rendimiento. En cualquier situación nutricional el grupo químico del fungicida a utilizar no cambiará la decisión de manejo debido a que no se encontraron efectos fisiológicos diferenciales entre las dos formulaciones probadas.

Agradecimientos

A.J.M. Fuentes por el excelente trabajo técnico realizado durante la etapa experimental.

Bibliografía

1. **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.
2. **Boote, K., Pickering, N.** 1994. Modeling photosynthesis of row crop canopies. *Hort Science* 29, 1423-1434.
3. **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 Res.* 86, 131-146.
4. **Carmona, M.**, 2001. Enfermedades del trigo y su control. Trigo: Cuadernillo de actualización técnica. CREA, pp. 78-93.
5. **Carmona, M., Barreto, D., Romero, A.M.** 2011. Enfermedades del cultivo. Importancia, Síntomas y Manejo Integrado. In: Miralles, D.J., Benech-Arnold, R., Abeledo, L. (Eds.), Cebada Cervecera. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, pp. 133-167.
6. **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.
7. **Dimmock, J.P.R.E., Gooding, M.J.** 2002. The effects of fungicides on Hagberg falling number and blackpoint in winter wheat. *Crop Prot.* 21, 475-487.
8. **Fischer, R.A.** 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci.* 100, 447-461.
9. **Fischer, R.A., HilleRisLambers, D.** 1978. Effect of environment and cultivar on source limitation to grain weight in wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 29, 443-458.
10. **Gaunt, R.E.** 1995. The relationship between plant disease severity and yield. *Ann. Rev. Phytopathol.* 33, 119-144.

11. **Glaab, J., Kaiser, W.M.** 1999. Increased nitrate reductase activity in leaf tissue after application of the fungicide kresoxim-methyl. *Planta* 207, 442-448.
12. **Hayden, N.J., Jones, D.G., Gillison, L.J.** 1994. the role of legume-fixed nitrogen and mixed cropping systems in the management of *Septoria tritici*. In: Arseniuk, E., Goral, T., Czembor, P. (Eds.), Proceedings of the 4th International Workshop on: *Septoria* of Cereals, IHAR Radzikow, Poland, pp. 243-245.
13. **Howard, D.D., Chambers, A.Y., Logan, J.** 1994. Nitrogen and fungicide effects on yield components and disease severity in wheat. *Journal of Production Agriculture* 7, 448-454.
14. **Johnson, K.B.** 1987. Defoliation, disease, and growth: a reply. *Phytopathology* 77, 1495-1497.
15. **Leitch, M.H., Jenkins, P.D.** 1995. Influence of nitrogen on the development of *Septoria* epidemics in winter wheat. *The Journal of Agricultural Science* 124, 361-368.
16. **Loomis, R.S., Amthor, J.S.** 1999. Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiencies. *Crop Sci.* 39, 1584-1596.
17. **Madeira, A.C., Clark, J.A., Rossall, S.** 1994. Growth and light interception in field bean (*Vicia faba*) infected by *Ascochyta fabae*. *J. Agric. Sci.* 123, 225-232.
18. **McIntosh, R.A., Wellings, C.R., Park, R.F.** 1995. Wheat rusts: an atlas of resistance genes. Csiro Publishing.
19. **Miralles, D.J., Slafer, G.A.** 1995. Yield, biomass and yield components in dwarf, semi-dwarf and tall isogenic lines of spring wheat under recommended and late sowing dates. *Plant Breed.* 114, 392-396.
20. **Miralles, D.J., Slafer, G.A.** 2007. Sink limitations to yield in wheat: how could it be reduced? *J. Agric. Sci.* 145, 139-149.
21. **Muchow, R., Sinclair, T.** 1994. Nitrogen response of leaf photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field-grown maize and sorghum. *Crop Sci.* 34, 721-727.
22. **Paveley, N.D., Sylvester-Bradley, R., Scott, R.K., Day, W.** 2001. Steps in predicting the relationship of yield on fungicide dose. *Phytopathology* 91, 708-716.
23. **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.
24. **Roelfs, A. P., y Martens, J. W.** (1988). An international system of nomenclature for *Puccinia recondita*, 526-533.
25. **Ruske, R.E., Gooding, M.J., Jones, S.A.** 2003. The effects of adding picoxystrobin, azoxystrobin and nitrogen to a triazole programme on disease control, flag leaf senescence, yield and grain quality of winter wheat. *Crop Prot.* 22, 975-987.
26. **Sas, P.** 2009. La nutrición nitrogenada altera en forma diferencial la aparición y desarrollo de enfermedades foliares causadas por patógenos biotróficos y necrotróficos en trigo (*Triticum aestivum* L.). Tesis de Grado. Universidad de Buenos Aires.
27. **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.). *European Journal of Agronomy*, 31(4), 195-203.
28. **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.
29. **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.
30. **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 Sci.* 42, 1974-1981.
31. **Slafer, G.A.**, 1996. Differences in phasic development rate amongst wheat cultivars independent of responses to photoperiod and vernalization. A viewpoint of the intrinsic earliness hypothesis. *J. Agric. Sci.* 126, 403-419.
32. **Slafer, G.A., Andrade, F.H.** 1991. Changes in physiological attributes of the dry matter economy of bread wheat (*Triticum aestivum*) through genetic improvement of grain yield potential at different regions of the world. *Euphytica* 58, 37-49.
33. **Slafer, G.A., Savin, R.** 1991. Developmental base temperature in different phenological phases of wheat (*Triticum aestivum*). *J. Exp. Bot.* 42, 1077-1082.
34. **Weisz, R., Cowger, C., Ambrose, G., Gardner, A.** 2011. Multiple mid-Atlantic field experiments show no economic benefit to fungicide application when fungal disease is absent in winter wheat. *Phytopathology* 101, 323-333.