

Enfermedades foliares del trigo afectan diferencialmente la absorción post-antesis y removilización del nitrógeno hacia los granos

M. Schierenbeck^{*1,2}; M.C. Fleitas^{1,2}; F. Cortese¹; S Golik¹; M.R. Simón¹

¹ Cerealicultura, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de LaPlata.

60 y 119, CC 31 La Plata, Argentina, Argentina.

² CONICET-CCT La Plata.

* Autor de correspondencia: m_schierenbeck@hotmail.com

Palabras clave: roya de la hoja, mancha amarilla, trigo, nitrógeno

La acumulación y redistribución de nitrógeno (N) son procesos determinantes para el rendimiento y calidad del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* (L) Thell) (Simpson *et al.*, 1983) que pueden ser afectados por la aparición de enfermedades foliares. El N acumulado en granos deriva de 1) N absorbido en hojas, tallos y raíces antes de antesis y que es posteriormente removilizado al grano durante el llenado y 2) el N absorbido post-antesis. La removilización de N acumulado previo a antesis en la parte vegetativa explica cerca del 50-95% del N final en los granos (Gaju *et al.*, 2014) siendo las hojas y tallos los principales reservorios de N en la planta aportando entre 85-90%, en tanto que las raíces aportan entre el 10-15% (Critchley, 2001). Se considera que la absorción post-antesis aporta entre 8-50% del N encontrado en plantas en madurez, siendo una variable fuertemente influenciada por la humedad del suelo y la disponibilidad de N en el suelo durante el llenado de granos. En condiciones de alta fertilidad, la absorción post-antesis resulta importante y está positivamente correlacionada con la proteína del grano y con el índice de cosecha de N (Spiertz y Ellen, 1978). Las enfermedades foliares constituyen uno de los principales factores detrimentales del rendimiento y calidad de este cultivo. Patógenos con distinto hábito nutricional pueden afectar la acumulación de materia seca y el flujo de N hacia los granos en forma diferencial debido a la interacción entre las células del hospedante y el patógeno. Patógenos biotróficos como *Puccinia triticina* Eriks (causal de “roya de la hoja”), limitan en mayor medida la acumulación de N en el grano que la acumulación de materia seca, ya que produce profundos cambios en la fisiología de los hospedantes, al parasitar las células vivas provocando reducciones en la capacidad fotosintética de las hojas, aumento en la tasa respiratoria y disminuciones en la tasa de

translocación de los órganos afectados (Robert *et al.*, 2004). Esto ocasiona que frecuentemente la concentración de proteína aumente al controlar las royas con fungicidas (Dimmock y Gooding, 2002b). Por otro lado, en el caso de patógenos necrotrofos como *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechs., anamorfo *Drechslera tritici-repentis* (Died.) Shoem. (causal de “mancha amarilla”) frecuentemente ocurre una situación inversa, incidiendo de manera más significativa en la acumulación de carbohidratos en el grano por una disminución del área foliar en el periodo de llenado, por lo que el contenido de N en el mismo, al no ser afectado en igual magnitud, sufre un efecto de concentración y provoca aumentos en la proteína del grano (Dimmock y Gooding, 2002a). El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de enfermedades causadas por necrotrofos y biotrofos sobre la removilización, absorción post-antesis, %N en grano y la acumulación de N en granos a través de inoculaciones con dichos patógenos separadamente. Bancal *et al.* (2008) realizaron evaluaciones en ensayos infectados naturalmente por *Septoria tritici* (hemibiótrofo) y *Puccinia triticina* (biótrofo) conjuntamente. Se hipotetiza que los patógenos biotrofos como *P. triticina* causan similares disminuciones en el rendimiento, pero afectan más la removilización y absorción post-antesis de N que los necrotrofos como *P. tritici-repentis*. Se llevó a cabo un ensayo durante 2012 en la E.E Julio Hirschhorn, FCAyF-UNLP. Se utilizó un diseño experimental en parcela principal dividida con tres repeticiones. Las parcelas principales fueron las inoculaciones con: 1-*P. tritici-repentis* y 2- *P. triticina*. La sub-parcela correspondió a los tratamientos de fungicida: 1-sin inóculo, con aplicación de fungicida (FUNG), 2-con baja concentración de inóculo (BCI) y 3-con alta concentración de inóculo (ACI). Como sub-sub-

parcela se sembraron 10 cultivares de trigo de ciclo intermedio-largo. La siembra se realizó a mediados del mes de Junio con una sembradora experimental a 20 cm entre líneas y una densidad de 250 pl.m⁻². Cada parcela experimental fue de 7,7 m² (5,5m x 1,4m). Se aplicaron 100 kg N/ha dividido dos momentos (siembra y fines de macollaje) y 50 P kg/ha en la siembra. Entre las subparcelas se realizó la intersembrado de *Avena sativa* para disminuir el traspaso de inóculo. En la parcela principal con *P. triticina* se sembró una bordura con una mezcla de cultivares susceptibles (Baguette 21 y Baguette 30) para garantizar la presencia de inóculo. Las parcelas principales estuvieron distanciadas al menos 200 metros para minimizar el traspaso de inóculo. El inóculo de *P. tritici-repentis* se preparó en caldo V8^R y se multiplicó mediante sucesivos repiques en flujo laminar. Mediante raspado de las cajas con agua destilada estéril se extrajeron conidios y micelio infectivo (Perello *et al.*, 2012) y se realizaron conteos con cámara de Neubauer para ajustar una suspensión BCI (3x10² esporas/ml) y otra ACI (3x10³ esporas/ml). Las inoculaciones se realizaron a fines de macollaje (EC24) (Zadocks *et al.*, 1974) y en hoja bandera desplegada (EC39). Para ambas concentraciones se utilizaron 800 ml de solución (inóculo, agua destilada y coadyuvante) por parcela y por aplicación. Posteriormente se realizaron sucesivas pulverizaciones con agua para mantener las condiciones de humedad necesarias para el desarrollo de la enfermedad. Para la inoculación con *P. triticina* se utilizó una mezcla de razas virulentas multiplicadas en cultivares susceptibles y provistas por el Ing. Pablo Campos del INTA Bordenave. Se utilizó talco como vehículo del inóculo para la pulverización de las borduras cercanas al tratamiento de ACI con 0,5 mg por planta de esporas y con 0,2 mg de esporas en BCI. Se calculó la cantidad total necesaria de esporas en base a la cantidad de bordura a inocular y se pesó en balanza de precisión. En las sub-parcelas no inoculadas (FUNG) se aplicó el fungicida OrquestaTM Ultra (fluxapyroxad 50g/L, epoxiconazole 50 g/L y pyraclostrobin 81 g/L) en pleno macollaje (EC23) y EC39 mediante una mochila de gas carbónico con pastillas de abanico plano. La tasa de aplicación fue de 140 L/ha con una dosis de 1,2 L/ha de producto. Las evaluaciones consistieron en la determinación de la severidad mediante estimación visual, expresadas como porcentaje de superficie foliar cubierta por la lesión (necrosis y clorosis) en EC39, antesis (EC60) y grano pastoso (EC82). Con las medias de severidad de las tres evaluaciones se calculó el

ABCPE (área bajo la curva de progreso de la enfermedad). Se evaluó la biomasa aérea en los mismos estadios para lo cual se extrajeron 1.50 m lineales de plantas en cada parcela. Para el cálculo del % de materia seca se tomó una alícuota de 100gr que fue secada en estufa a 60 C° por 72 h y fue utilizada para calcular la biomasa aérea seca en cada estadio. Se evaluó el % de N mediante microkjeldahl en antesis y madurez, previa separación del material en parte vegetativa y grano. A partir del % N y la materia seca en antesis y cosecha, se determinó el N total acumulado en g.m⁻² en estos estadios. Se calculó el N removilizado desde los órganos vegetativos hacia los granos como: N vegetativo en antesis (g.m⁻²) -N vegetativo a cosecha (g.m⁻²), el N absorbido post-antesis como: N total a la cosecha (g.m⁻²) -N total en antesis (g.m⁻²). El N acumulado en los granos (g.m⁻²) se calculó como: Rendimiento (g.m⁻²) x (% N grano/100). El análisis de datos se realizó mediante un análisis de varianza (ANAVA) para parcelas divididas mediante el programa GenStat 12th Edition. Las medias se compararon mediante el test LSD (P=0,05). La interacción *Patógeno* × *Fungicida* indica que inoculaciones con *P.tritici-repentis* aumentaron el ABCPE un 40% en ACI con respecto al tratamiento FUNG (Fig.1a). Para *P. triticina* los aumentos fueron de menor magnitud, siendo los valores de ABCPE para el tratamiento ACI 24,8 % mayor que el tratamiento FUNG (Fig.1a). Con respecto a la producción de biomasa, las enfermedades redujeron esta variable con respecto al tratamiento con fungicida en antesis (-13,8%) y a cosecha (-30,1%) (Fig.1b). Coincidiendo con Bancal *et al.* (2007) el detrimento en la producción de biomasa ante la aparición de enfermedades foliares estaría explicada por la senescencia y posterior caída de hojas y muerte de macollos que provocan disminuciones en el índice de área foliar (IAF), guardando esto una relación directa con la severidad que provoca la enfermedad.

Los rendimientos disminuyeron en promedio un 19,6% ante BCI y 30,8% ante ACI de las enfermedades con respecto al tratamiento FUNG y no se detectaron diferencias entre patógenos (Fig.1c). Coincidiendo con Pepler *et al.*, (2005) la aplicación de fungicidas puede ser asociada con incrementos de rendimiento debido al mantenimiento de la fotosíntesis del cultivo durante el periodo de llenado del grano y a que evitan el consumo de fotoasimilados por parte del patógeno. El % N en grano evidenció un claro aumento cuando la enfermedad principal fue mancha amarilla, con respecto al tratamiento con aplicación de fungicida.

En roya de la hoja no se evidenciaron diferencias (Fig. 1d).

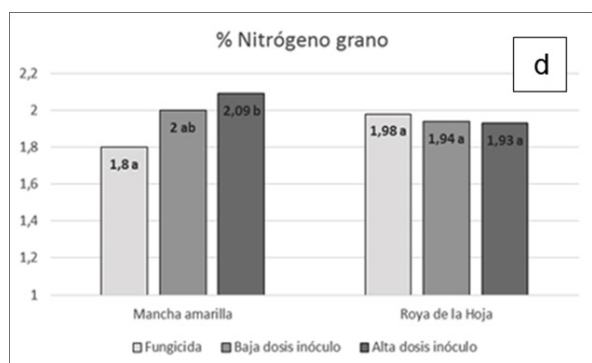
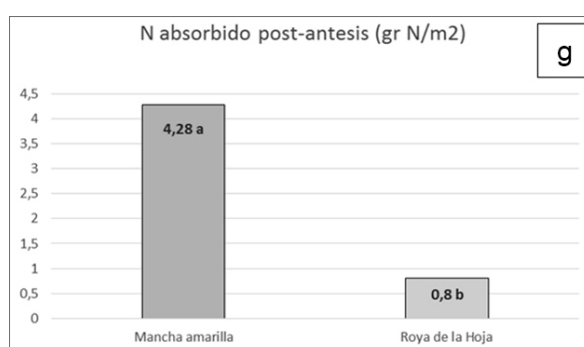
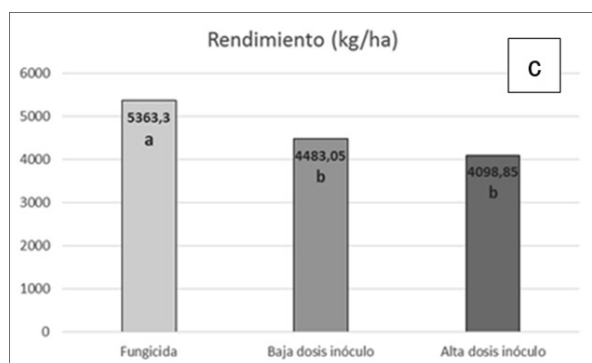
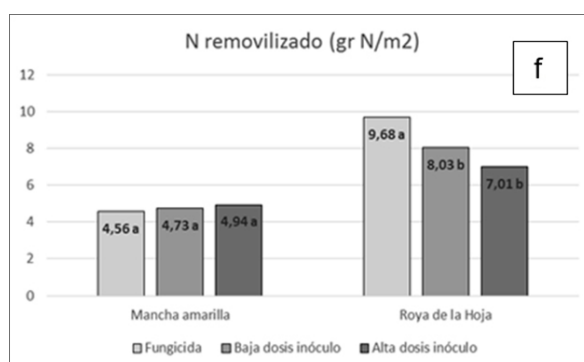
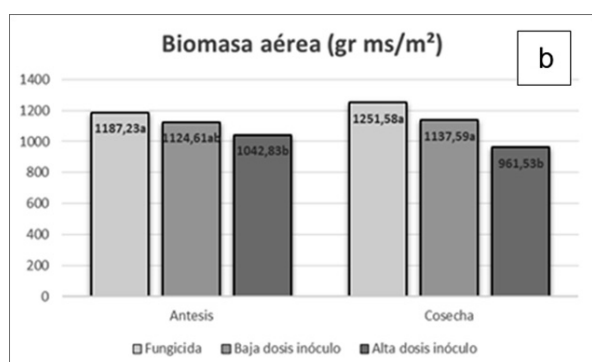
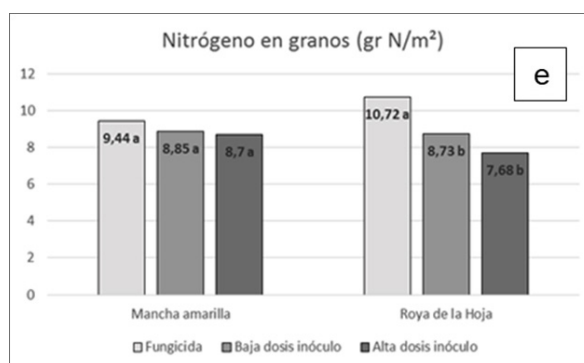
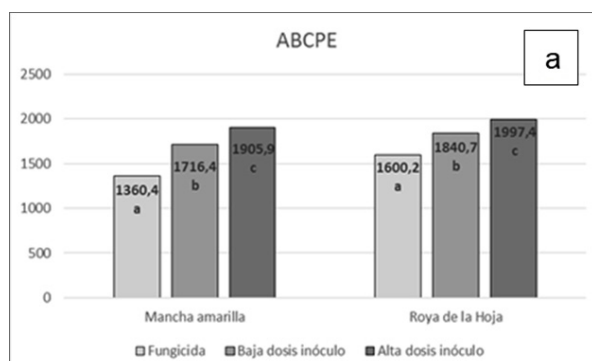


Figura 1. a) ABCPE para la interacción Patógeno × Fungicida b) Biomasa aérea (gr ms/m²) en antesis y cosecha para el tratamiento Fungicida c) Rendimiento (kg/ha) para el tratamiento Fungicida d) % N en grano para la interacción Patógeno × Fungicida e) N acumulado en granos (gr N/m²) para la interacción Patógeno × Fungicida f) N removilizado (gr N/m²) para la interacción Patógeno × Fungicida g) N absorbido post-antesis (gr N/m²) para el tratamiento Patógeno.

Coincidiendo con Dimmock y Gooding (2002a), inoculaciones con *P.tritici repentis* provocan aumentos en el % de proteína en el grano al impedir la normal acumulación de carbohidratos en estos, por una disminución del área foliar en el periodo de llenado, generando una mayor concentración de N. Para ambas enfermedades, el aumento en la dosis de inóculo generó una disminución en el N

Tabla 1. ANVA de ABCPE, Biomasa en antesis y cosecha, rendimiento, N acumulado en granos, N removilizado, N absorbido post antesis y % N en grano de cultivares de trigo con diferentes concentraciones de inóculo de *Puccinia triticina* y *Pyrenophora tritici-repentis*.

Fuente de variación	ABCPE	Biomasa-antesis	Biomasa-cosecha	Rendimiento	gr N grano/m ²	gr N removilizado/m ²	gr N absorbido post-antesis/m ²	%N grano
Patógeno (Pa)	1037943 (P=0,001)	7682485 (P= 0,020)	1,467E+08 (P=0,406)	4295 (P=0,985)	0,098 (P=0,950)	550,2 (P=0,056)	544,2 (P=0,097)	0,007 (P=0,921)
Fungicida (Fu)	3410519 (P<0,001)	314592 (P=0,028)	1,281E+08 (P=0,005)	25212711 (P=0,050)	55,63 (P=0,003)	20,16 (P=0,024)	8,200 (P=0,280)	0,211 (P=0,215)
Pa x Fu	91126 (P=0,015)	49548 (P=0,441)	1,883E+07 (P=0,247)	490918 (P=0,810)	20,08 (P=0,046)	35,60 (P=0,005)	2,060 (P=0,697)	0,443 (P=0,064)
Cultivar (Cu)	410882 (P<0,001)	149640 (P<0,001)	2,989E+07 (P=<0,001)	6084945 (P<0,001)	17,81 (P<0,001)	24,00 (P=0,051)	29,92 (P=0,038)	0,233 (P<0,001)
Pa x Cu	88992 (P<0,001)	75701 (P=0,080)	9,714E+06 (P=0,151)	634323 (P=0,227)	3,136 (P=0,449)	27,32 (P=0,025)	18,03 (P=0,273)	0,034 (P=0,590)
Fu x Cu	49731 (P<0,001)	13474 (P=0,996)	3,985E+06 (P= 0,876)	457677 (P=0,506)	3,558 (P=0,336)	2,92 (P=0,999)	1,63 (P=0,999)	0,036 (P=0,613)
Pa x Fu x Cu	28579 (P=0,023)	23445 (P=0,926)	1,041E+06 (P=0,999)	355786 (P= 0,753)	213 (P=0,992)	1,50 (P=0,999)	1,860 (P=0,999)	0,023 (P= 0,910)

acumulado en granos (gr N/m²), aunque esta respuesta fue notoriamente superior cuando *P. tritici-na* fue el patógeno principal, con una disminución en la acumulación de N del 28,3% con respecto al tratamiento FUNG (Fig. 1e). El N removilizado (gr N/m²) desde las estructuras vegetativas hacia los granos, no evidenció diferencias significativas con respecto al tratamiento FUNG cuando *P.tritici-repentis* fue el patógeno predominante, en tanto que, en presencia de *P. triticina*, la removilización de N disminuyó un 27,5% con respecto al tratamiento con fungicida (Fig. 1f). Bancal *et al.*, (2008) afirman que la disminución en la removilización de N estaría explicada por una retención de N en los tejidos. En el caso de infecciones con patógenos biotrófos la retención de asimilados en órganos vegetales y en las pústulas ha sido previamente documentada (Walters, 2007), en contraposición, los necrotófos no provocan este efecto o lo hacen en menor medida (Dimmock y Gooding, 2002a). El N absorbido post-antesis evidenció diferencias significativas (P<0,10) entre patógenos (Tabla 1), mostrando menores valores cuando *P. triticina* fue el patógeno inoculado con respecto a *P. tritici-repentis* (Fig. 1g). Coincidiendo con otros autores, la removilización de N acumulado previo a antesis explicó la mayor parte del N final en los granos (Simpson *et al.*, 1983; Gaju *et al.*, 2014).

Se confirma la hipótesis planteada en cuanto a que patógenos biotróficos como *P. triticina* causan similares disminuciones en el rendimiento, pero afectan más la removilización, absorción post-antesis y acumulación de N en granos que los necrotófos como *P. tritici-repentis*

Referencias bibliográficas

- 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. *Annals of Botany*. 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.
- Critchley C.S. (2001). A physiological explanation for the canopy nitrogen requirement of winter wheat. PhD Thesis. University of Nottingham, UK, 257 pp.
- Dimmock J.P.R.E., Gooding M.J. (2002a). The effects of fungicides on rate and duration of grain filling in winter wheat in relation to maintenance of flag leaf area. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 138: 1-16.
- Dimmock J.P.R.E, Gooding, M.J. (2002b). The influence of foliar diseases, and their control by fungicides, on the protein concentration in wheat grain: a review. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 138: 349-366.
- 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 Research* 155: 213-223
- Pepler S., Gooding M.J., Ford K.E., Ellis R.H., Jones S.A. (2005). A temporal limit to the association between flag leaf life extension by fungicides and wheat yields. *European Journal of Agronomy*. 22:363-373
- Perelló A., Yannicari M., Moreno M.V., Castro A.M. (2012). Genetic analysis and comparative virulence of isolates of *Pyrenophora tritici-repentis* from wheat in Argentina. *African Journal of Microbiology*

- Research Vol. 6(27), pp. 5558-5567.
- Robert C., Bancal M.O., Lannou C. (2004). Wheat leaf rust uredospore production on adult plants: influence of leaf nitrogen content and *Septoria tritici* blotch. *Journal of Phytopathology* 94: 712-721.
- 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 Physiology*. 71: 7-14.
- Spiertz J.H.J., Ellen J. (1978). Effects of nitrogen on crop development and grain growth of winter wheat in relation to assimilation and utilization of assimilates and nutrients. *Netherlands Journal of Agricultural Science, Amsterdam*, v. 26, p. 210-231.
- Walters D.R., Bingham I.J. (2007). Influence of nutrition on disease development caused by fungal pathogens: implications for plant disease control. *Annals of Applied Biology* 151: 307-324.
- Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421.