

APLICACIÓN DE UREA FOLIAR AL CULTIVO DE TRIGO EN ANTESIS BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS HÍDRICO

GUILLERMO ADRIÁN DIVITO¹; HERNÁN EDUARDO ECHEVERRÍA^{1,2};
PABLO BARBIERI³ & HERNÁN SAINZ ROZAS^{2,3}

¹ Fac. de Ciencias Agrarias (UNMDP); ² Est. Exp. Agropecuaria INTA, Balcarce, Buenos Aires, Argentina, ³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). C.C. 276, (7620) Balcarce, Argentina.
E-mail: hecheverr@balcarce.inta.gov.ar

Recibido: 30/11/07

Aceptado: 05/05/08

RESUMEN

Las aplicaciones de nitrógeno (N) foliar en el período comprendido entre hoja bandera y antesis permiten optimizar el rendimiento y/o mejorar la calidad del grano de trigo, aunque pueden causar efectos fitotóxicos que impactan negativamente sobre ambos parámetros. Se plantea evaluar el efecto de la dosis de N, el momento de fertilización y el empleo de un inhibidor de la actividad ureásica en aplicaciones de urea foliar en el estadio de antesis, en condiciones de déficit hídrico en el período comprendido entre el momento de fertilización y madurez fisiológica. La experiencia se realizó en 2006 en Balcarce, Buenos Aires, y se evaluaron tres dosis de N: 30, 40 y 50 kg ha⁻¹, tres momentos de aplicación: mañana, medio día y tarde, y la adición o no de un inhibidor de la ureasa, n(n-butyl) thiophosphoric tiamide (NBPT), en un diseño en bloques con arreglo factorial de los tratamientos. Se utilizó como testigo un tratamiento sin N y sin NBPT.

La aplicación de dosis crecientes de N foliar afectó negativamente al cultivo generando caídas en los valores de índice de verdor (IV) a los 5, 8 y 14 días post fertilización (DPF). La adición de N provocó caídas en los valores de radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAint) a los 2 DPF por efecto fitotóxico (80 y 67%, para los tratamientos testigo y fertilizados, respectivamente), pero a los 28 DPF los tratamientos fertilizados superaron al testigo (55 y 40%, respectivamente), siendo la dosis de 50 kg ha⁻¹ la que menor proporción de radiación logró interceptar entre los tratamientos fertilizados. A pesar que el daño al cultivo coincidió con el período crítico en que se define su rendimiento, tanto éste como el contenido de proteína de los tratamientos fertilizados fueron levemente superiores al testigo. Ambos parámetros no fueron afectados por el momento de fertilización y la dosis de N, aunque la adición de NBPT incrementó levemente el rendimiento (4.027 y 4.141 kg ha⁻¹).

Palabras clave. Nitrógeno, urea en solución, fitotoxicidad.

WHEAT FOLIAR UREA APPLICATION AT ANTHESIS UNDER WATER STRESS CONDITIONS

ABSTRACT

The foliar nitrogen (N) applications in the period from leaf flag to anthesis enable yield optimization and/or to improve grain quality, but can generate phytotoxicity that impacts negatively on both parameters. The aim of this work was to evaluate the effect of N rates, fertilization moments and the use of a urease activity inhibitor in foliar urea applications at anthesis under water stress conditions.

The experiment was carried out during 2006 in Balcarce, Buenos Aires, in a wheat crop with 80 kg ha⁻¹ of diamonic phosphate applied at planting and 120 kg ha⁻¹ of urea applied at tillering. Three foliar N rates applied at anthesis (30, 40 and 50 kg ha⁻¹); three application moments (morning, mid-day and afternoon) and the addition or not of a urease inhibitor, n(n-butyl) thiophosphoric tiamide (NBPT), were evaluated in a randomized complete block design with a factorial arrangement of the treatments. A check treatment without N and without NBPT was included in the experiment. The wheat crop suffered water stress after the foliar application period.

The application of increasing foliar N rates generated reductions in the greenness index (IV) values at 5, 8 and 14 days post fertilization (DPF). At 2 DPF, the addition of foliar urea caused reductions in the photosynthetically active radiation interception (RFAint) due to phytotoxicity effects (80 and 67% reductions for the check and fertilized treatments, respectively), but at 28 DPF fertilized treatments surpassed the check (55 and 40%, respectively), being the rate of 50 kg ha⁻¹ the one which intercepted the smallest proportion of radiation among fertilized treatments. Wheat yield and protein content of fertilized treatments were slightly greater than the check plots in spite of crop damage due to foliar fertilization coinciding with the critical period when yield is defined. Both parameters were not affected by the moment or rate of N fertilization although NBPT addition increased the yield slightly (4,027 and 4,141 kg ha⁻¹).

Key words. Nitrogen, urea solution, phytotoxicity.

INTRODUCCIÓN

La fertilización con nitrógeno (N) de base (siembra o macollaje) en trigo tiene por finalidad maximizar el rendimiento y dado que para un genotipo determinado el rendimiento en grano se relaciona inversamente con la concentración de proteína (Quattrocchio *et al.*, 2004), para aumentar este último parámetro se debe recurrir a mayores dosis de N aplicadas en estadios iniciales del cultivo o a su aplicación foliar en el período comprendido entre hoja bandera y antesis (Bergh *et al.*, 2006). La urea en solución (20% de N kg kg⁻¹) con bajo contenido de biuret, es el fertilizante foliar de mayor uso, debido a que presenta menor fitotoxicidad que otras fuentes líquidas, aunque es usual que genere algún tipo de daño (Gooding & Davies, 1992). En general, se acepta que tanto elevadas concentraciones de NH₄⁺ como de urea serían responsables de interferencias en el metabolismo del carbono y de necrosis celular (Krogmeier *et al.*, 1989; Gooding & Davies, 1992), siendo el área foliar afectada determinante de la respuesta que mostrará el cultivo. La cantidad de producto potencialmente fitotóxico que se pone en contacto con el follaje determinará el nivel de daño generado. La aplicación de 30 kg N ha⁻¹ es la dosis más difundida aunque se ha reportado que aplicaciones de 40 kg N ha⁻¹ no provocaron fitotoxicidad en algunas circunstancias (Bergh *et al.*, 2006).

Las condiciones ambientales al momento de la aplicación son responsables del nivel de daño causado por el fertilizante debido a su relación con la tasa con que éste se absorbe. Una rápida absorción, favorecida por ausencia de estrés hídrico, presencia de rocío sobre el follaje, etc., incrementa el nivel de daño. En condiciones de laboratorio, la absorción de urea acompaña la tasa de transpiración de las hojas, con mayor tasa al mediodía (Palta *et al.*, 1991). A campo, el frecuente déficit hídrico que ocurre al mediodía (Dardanelli *et al.*, 2003) genera que dicha tasa varíe respecto a lo observado en laboratorio. Por esto, para éstas últimas condiciones, las aplicaciones realizadas por la mañana, cuando el cultivo no sufre aún déficit hídrico, serían las que más predisponen a la ocurrencia de lesiones (Gooding & Davies, 1992). No obstante, la pérdida de turgencia y la disminución del crecimiento producto del déficit hídrico (Hale & Orcutt, 1987) podrían incidir en la susceptibilidad a la acción fitotóxica y en la capacidad de recuperación del cultivo.

La hidrólisis de la urea es catalizada por la ureasa (Sirko & Brodzik, 2000) y existen compuestos tales como el n(n-butyl) thiophosphoric tiamide (NBPT), capaces de inhibir su actividad. Estos productos modifican la velocidad de formación de amonio, y con ello se podría variar la fitotoxicidad causada por la urea foliar.

Las aplicaciones foliares en momentos cercanos a la antesis y el lapso de tiempo durante el cual el fertilizante se absorbe y metaboliza, coinciden con el período crítico para la definición del rendimiento y contenido de proteína (Abatte *et al.*, 1994). Por esto, el eventual daño por fitotoxicidad que se genere sobre el mismo podría repercutir negativamente en uno o ambos parámetros.

Para situaciones de estrés hídrico en momentos cercanos a la antesis del trigo, se desconoce el efecto del momento, dosis y empleo del NBPT en aplicaciones de urea foliar. Para estas condiciones se hipotetiza que: el aumento de la dosis de N y las aplicaciones por la mañana, incrementan el daño por fitotoxicidad, y que el agregado del NBPT lo reduce. Se plantearon como objetivos: describir la evolución del índice de verdor (IV) y la radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAint) luego de la aplicación de urea foliar, y determinar el rendimiento, la proteína y la proporción del N que se recupera en el grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en 2006 en un lote de producción de Balcarce (37°45' S, 58°18' W), Buenos Aires, sobre un suelo Paleudol Petrocálcico, Serie Balcarce de 80 cm de profundidad y bajo labranza convencional. El lote se mantuvo bajo agricultura continua por más de 15 años, siendo el cultivo antecesor soja (*Glycine max* (L.) Merr.). Se utilizaron registros de las temperaturas y precipitaciones de la Estación Meteorológica de la EEA INTA Balcarce, ubicada a 1.000 m del ensayo. A la siembra se determinó un contenido de 24 kg N (como NO₃⁻) ha⁻¹ (0-60 cm) y de 7 mg P kg⁻¹ (0-20 cm). El 5 de julio se sembró el trigo variedad *Baguette 11* y se fertilizó con 80 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico (grado 18-20-0) en la línea de siembra. Al macollaje se aplicó 120 kg ha⁻¹ de urea granulada (grado 46-0-0).

Se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones y arreglo factorial de los tratamientos. Se evaluaron tres niveles de N: N30, N40 y N50 (30, 40 y 50 kg de N ha⁻¹), tres momentos de aplicación: M, MD y T (mañana, mediodía y tarde), y la adición o no de NBPT. En cada bloque se colocó un tratamiento testigo sin fertilizar y sin adición de inhibidor. Cada unidad experimental tenía una dimensión de 20 m² (10 m x 2 m).

El 8 de noviembre, en el estadio de antesis (Z65) (Zadoks *et al.*, 1974), se realizaron las aplicaciones foliares de urea en solución (20% de N kg kg⁻¹), sin previa dilución en agua para minimizar el chorreado al suelo. Los tratamientos correspondientes a pulverizaciones en horas de la mañana se realizaron entre las 7:30 y 8:30 hs, entre las 12:00 y 13:00 hs los del mediodía y entre las 17:00 y 18:00 los de la tarde. El NBPT se comercializa como AGROTAIN® y se adicionó al fertilizante a razón de 1,2 cm³ L⁻¹. Para realizar la pulverización se utilizó un pulverizador manual Giber de 1,5 L.

A la madurez del cultivo (Z86), se realizaron gavillas de 2,4 m² por unidad experimental y se pasaron por trilladora estacionaria. El rendimiento en grano se ajustó a 14% de humedad. El contenido de proteína fue estimado a partir del N total en grano (%N x 5,7), determinado por el método de digestión Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982). Se calculó el N total cosechado (NG) como el producto entre el rendimiento y el N total en grano. La eficiencia de recuperación de N (ERN) del fertilizante en grano se calculó según la fórmula: [(NGF-NGT)/dosis de N], donde NGF y NGT son el contenido de N en grano de los tratamientos fertilizados y testigo, respectivamente.

El IV de las hojas se determinó con el medidor de clorofila Minolta SPAD 502. Cada valor de IV resultó del promedio de 10 lecturas sobre la hoja bandera (punto medio entre la base y el extremo de la lámina), de plantas tomadas al azar. Las lecturas se efectuaron sobre zonas foliares sin presencia de enfermedades, en áreas con o sin daño por fitotoxicidad, a los 1, 2, 5, 8 y 14 días post fertilización (DPF). La RFAint se midió con un radiómetro BAR-RAD (www.cavadevices.com), el cual cuantifica el flujo de fotones recibido en un metro lineal. Se determinó la radiación incidente por encima del canopeo y en estratos del mismo donde se observaron las primeras hojas senescentes. La diferencia entre los valores obtenidos entre ambas mediciones se consideró como la RFAint. Las determinaciones se efectuaron a los 2, 5, 9 y 28 DPF. Para cada unidad experimental, el valor de RFAint se obtuvo del promedio de tres mediciones tal como proponen Gallo & Daughtry (1986). Las lecturas de clorofila y la RFAint fueron utilizadas como indicadores de la intensidad de quemado.

Se realizó análisis de la varianza utilizando el procedimiento *General Linear Model* (GLM) del programa *Statistical Analysis System*. Cuando las diferencias entre tratamientos fueron signifi-

cativas se empleó el test de mínima diferencia significativa (MDS), a 0,05 de probabilidad (SAS Institute, 1996). Se utilizó el test de Dunnett (P=0,05) para comparar los tratamientos respecto al testigo para RFAint, rendimiento y proteína (SAS Institute, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La radiación y temperatura permitieron un normal crecimiento y desarrollo del cultivo. Las precipitaciones no limitaron el desarrollo hasta floración, pero desde allí el escaso volumen de aquellas (104 y 163 mm para el bimestre octubre-noviembre de 2006 y promedio 1971/2006, respectivamente) generó que el agua en el suelo no superase el umbral de estrés fisiológico del cultivo (Fig. 1). Este período coincidió con el fin del período crítico para la definición del número de granos (Abbate *et al.*, 1994) y con el llenado de los mismos. Por lo tanto, la aplicación del fertilizante y el período de absorción aconteció en condiciones de estrés hídrico.

Índice de verdor (IV)

La aplicación de la urea foliar produjo lesiones necróticas en la hoja bandera, espiga y aristas, tal como reportara Bergh *et al.* (2006). No se determinó interacción entre

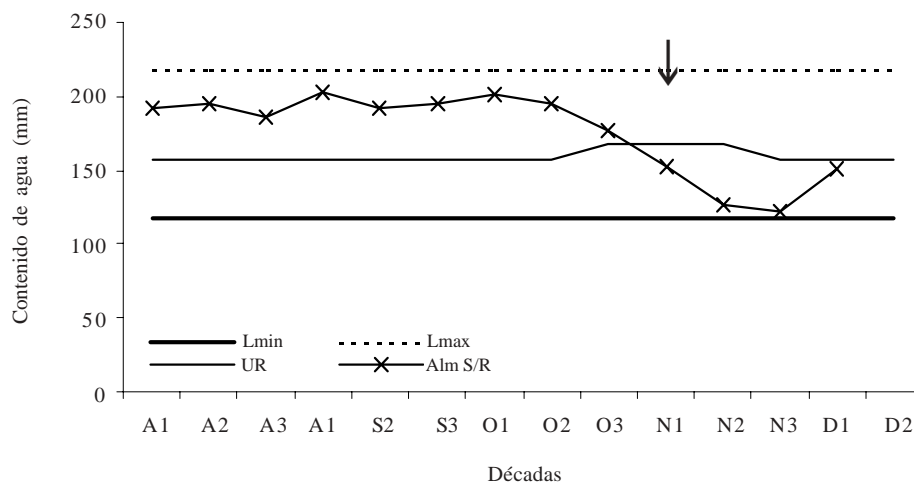


Figura 1. Balance de agua decádico para el cultivo de trigo durante los meses de julio a diciembre de 2006 para el suelo del sitio experimental. Lmin = Límite mínimo de almacenaje de agua, Lmax = Límite máximo de almacenaje de agua, Alm S/R = Almacenaje de agua sin riego. UR = Umbral de estrés fisiológico del cultivo. La flecha indica el momento de aplicado el fertilizante.

Figure 1. Decadic water balance of a wheat crop, from July to December 2006, for the soil of the experimental site. Lmin = minimum water storage limit, Lmax = maximum water storage limit, Alm S/R = Storage of water without watering. UR = Crop physiological stress threshold. The arrow indicates fertilizer application.

los factores de tratamiento en ninguna de las mediciones de IV. Tampoco se determinaron diferencias de los tratamientos respecto al testigo en las mediciones realizadas a 1 y 2 DPF (Fig. 2). No existieron diferencias significativas en los valores de IV entre los tratamientos que recibieron o no el NBPT, pero ambos mostraron menor IV que el testigo a los 5, 8 y 14 DPF (Fig. 2). A los 5 DPF, los trata-

mientos que recibieron 40 y 50 kg N ha⁻¹ mostraron valores estadísticamente menores de IV. La diferencia con respecto al testigo y al tratamiento 30 kg N ha⁻¹ se incrementó a los 8 DPF (Fig. 2). A los 14 DPF, los tratamientos fertilizados evidenciaron un leve aumento en el IV, pero sólo la dosis de 30 kg N ha⁻¹ mostró valores que no difirieron estadísticamente del testigo. Estos resultados su-

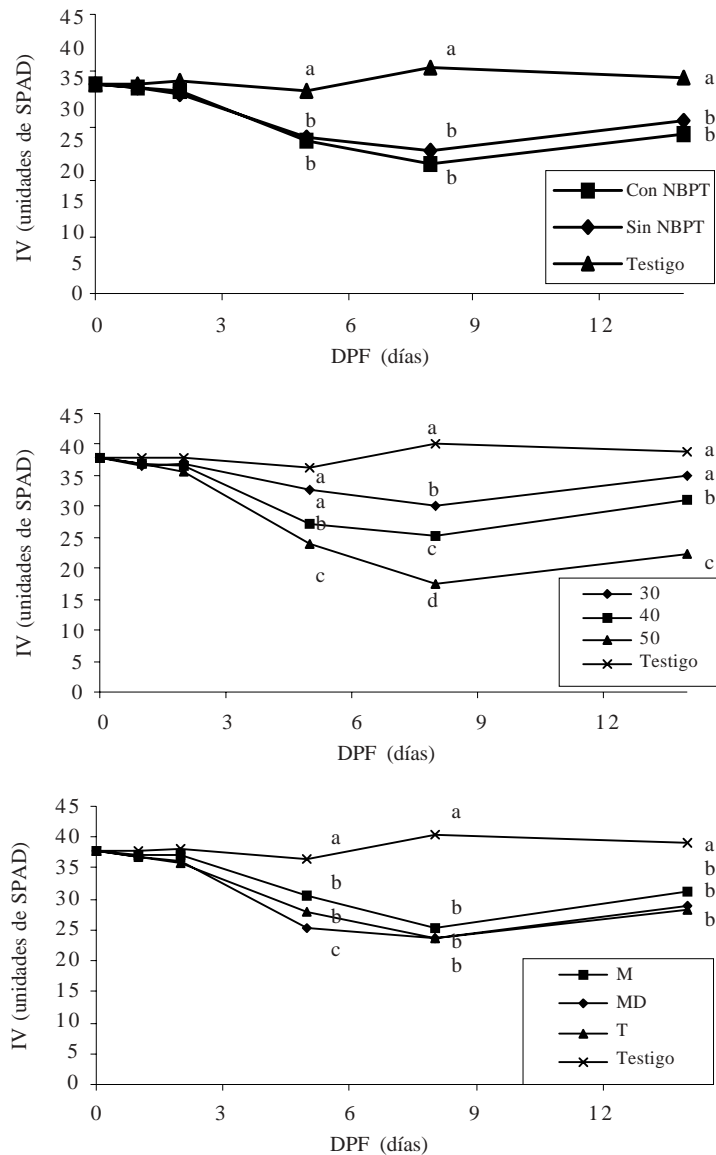


Figura 2. Lecturas de Índice de Verdor (IV) en función de días post fertilización (DPF) para tratamientos con y sin inhibidor de actividad ureásica (arriba), a tres dosis de N (medio) y en momentos del día (M: Mañana, MD: Medio día, T: Tarde) (abajo) Entre aplicaciones de N, letras distintas difieren significativamente según MDS. (P<0,05).

Figure 2. Greenness Index (IV) readings as a function of post fertilization days (DPF) for treatments with and without urease activity inhibitor (top), to three N rates (center) and moments of the day (M: Morning, MD: Mid-day, T: Afternoon) (bottom). Within N applications, different letters represent significant differences according to MDS. (P<0.05).

gerirían que la aplicación de 40 ó 50 kg N ha⁻¹ serían poco recomendables para estas condiciones ambientales.

A partir de los 5 DPF se determinaron diferencias de IV de los distintos momentos de aplicación respecto del testigo. Entre momentos solo hubo diferencias a los 5 DPF, lo que resta relevancia a esta variable en condiciones de estrés hídrico, contrariamente a lo reportado para condiciones de adecuada disponibilidad hídrica (Gooding & Davies, 1992) (Fig. 2).

Radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAint)

La presencia de áreas necróticas como consecuencia de la fitotoxicidad causada por la aplicación de la urea generó caídas en el área foliar del cultivo y como consecuencia de ello en la RFAint. No se determinaron interacciones significativas entre factores de tratamientos sobre la variable RFAint. El estrés hídrico bajo el cual se encontraba el cultivo al momento de la aplicación del fertilizante determinó que los valores de RFAint previos a la aplicación fueran inferiores al 80%. Posteriormente, al agudizarse estas condiciones (28 DPF), los testigos alcanzaron valores cercanos al 40%. Si bien no existieron diferencias significativas entre tratamientos, para ninguna de las fechas en que se efectuaron las mediciones, pudo observarse una menor RFAint de los tratamientos fertilizados respecto del testigo a los 2 DPF (Fig. 3). A los 5 DPF (valores no mostrados) se observaron similares valores de RFAint entre tratamientos fertilizados y testigos; a los 28 DPF (Fig. 3), los tratamientos fertilizados lograron captar una mayor proporción de la RFA incidente que los testigos, evidenciando un efecto positivo de la aplicación del fertilizante. En este momento se determinaron menores valores de RFAint en los tratamientos con 50 kg ha⁻¹ de N.

Los tratamientos correspondientes a las distintas horas del día en las cuales se realizaron las aplicaciones no mostraron diferencias en RFAint. En este sentido, el fuerte estrés causado por el déficit hídrico persistente durante todo el día, podría contribuir a la inexistencia de diferencias entre los momentos de aplicación. Igual comportamiento se determinó por efecto de la adición de NBPT junto al fertilizante (Fig. 3).

La ausencia de diferencias en los valores de IV y RFAint entre los tratamientos con y sin el agregado de NBPT indicaría que en condiciones de estrés hídrico la diferente concentración de urea y NH₄⁺, producto de cambios en la velocidad de metabolización de la urea, no serían causantes de distintos grados de fitotoxicidad. Estos resultados contradicen lo reportado por Hinsvark

et al. (1953) quienes afirman que el NH₃ resultante de la hidrólisis de la urea sería también responsable de las lesiones en el tejido vegetal. Por el contrario, Krogmeier *et al.* (1989) observaron que la mayor concentración de urea en el follaje de plantas de soja, producto de una menor hidrólisis por acción de otro inhibidor de la ureasa (phenylphosphoro-diamidate, PPD), generó mayores niveles de fitotoxicidad que en plantas pulverizadas sólo con urea en solución.

Rendimiento, proteína y eficiencia de recuperación del N aplicado

Se determinó un incremento no significativo de rendimiento (119 kg ha⁻¹) y de proteína (0,62%) por el agregado de N (Tabla 1). Posiblemente el aumento en la RFAint a partir de los 28 DPF (Fig. 3) haya sido responsable del mayor rendimiento encontrado. Contrariamente, los menores valores de IV no permitieron explicar este comportamiento. Trabajos realizados con anterioridad demostraron que la aplicación foliar de urea en solución en anthesis puede generar incrementos en el rendimiento cuando la dosis de N aplicada en siembra y/o macollaje no son elevadas (Varga & Svecnjak, 2006), tal como ocurrió en este ensayo. También se han reportado, aunque con aplicaciones de urea-amonio-nitrato (grado 32-0-0), caídas en el rendimiento como consecuencia de lesiones por fitotoxicidad (Bly & Woodard, 2003). Así mismo, datos reportados por distintos autores indican que aplicaciones de N al cultivo posteriores al estado de hoja bandera serían responsables de incrementos en el contenido de N en el grano (Porsborg *et al.*, 2005; Varga & Svecnjak, 2006).

El rendimiento promedio de los tratamientos con NBPT superó a los que sólo tuvieron aplicación de urea foliar (Tabla 1), aunque la diferencia fue de escasa magnitud (113 kg ha⁻¹). El contenido de proteína en grano no mostró cambios como consecuencia del agregado de NBPT. Estos resultados serían consecuencia de la ausencia de diferencias determinadas en los valores de IV y de RFAint de los tratamientos con y sin NBPT (Tabla 1).

La dosis de fertilizante pulverizado sobre el cultivo no afectó el rendimiento (Tabla 1) demostrando que el mayor daño generado por altas dosis de N no fue causa de mermas en aquél. Una mejora en la eficiencia de conversión de la RFAint de las porciones sanas del tejido vegetal podría ser responsable de estos resultados. El contenido de proteína en grano tampoco se modificó con la aplicación de dosis crecientes de N. La ausencia de respuestas en ambos parámetros generó que la ERN cayera con el incremento en la dosis de N aplicada (0,22,

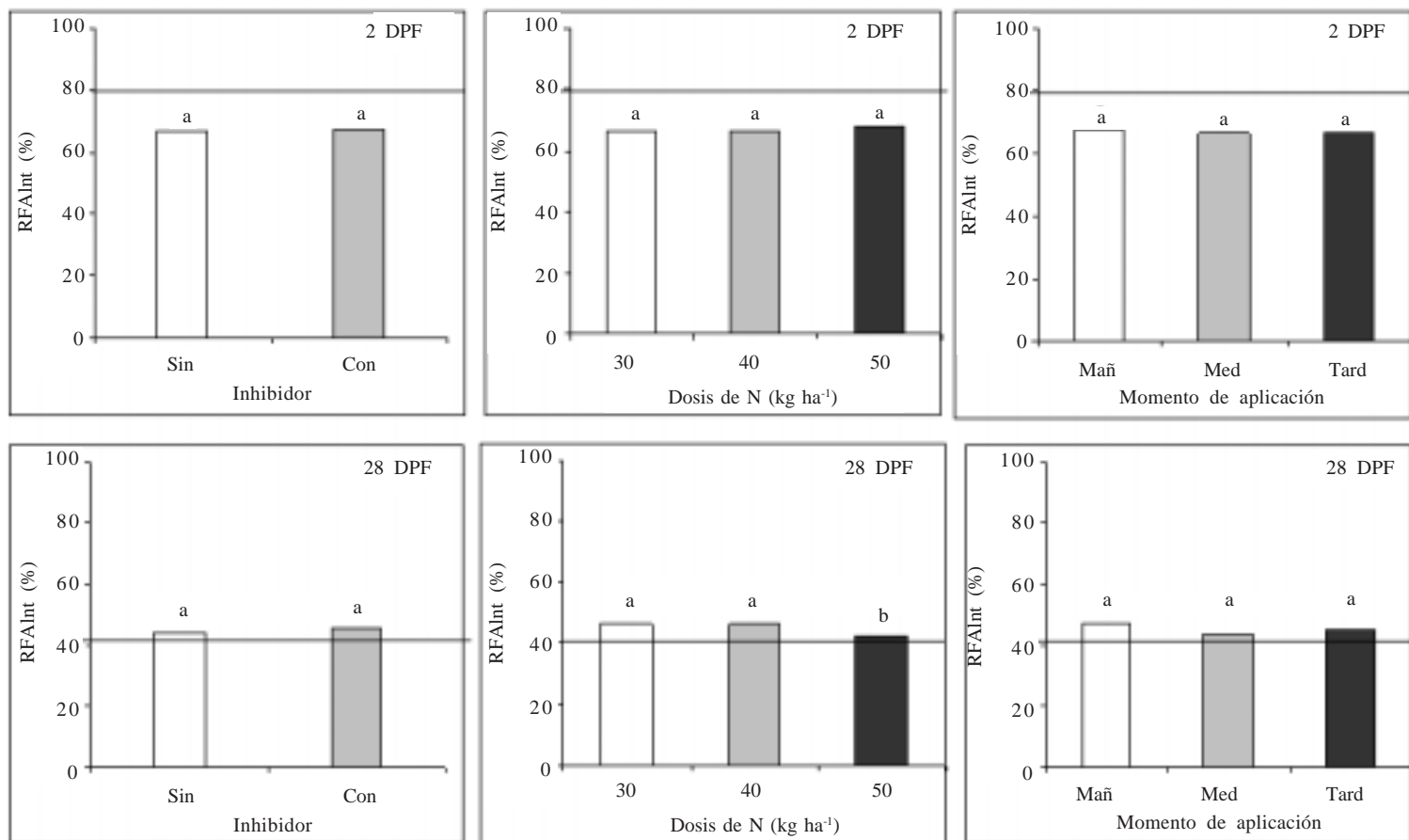


Figura 3. Radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAInt) por el cultivo de trigo con y sin inhibidor de actividad ureásica (izquierda), a tres dosis de N (centro) y en momentos del día (derecha), a los 2 (arriba) y 28 (abajo) días de la fertilización foliar. La línea horizontal corresponde al tratamiento sin aplicación foliar. Entre aplicaciones de N, letras distintas difieren significativamente según MDS ($P < 0,05$).

Figure 3. Intercepted photosynthetically active radiation (RFAInt) of the wheat crop with and without urease activity inhibitor (left), three N rates (center) and moments of the day (right), at 2 (top) and 28 (bottom) days after the fertilizer application (6/12). The horizontal line corresponds to the treatment without N application. Within N applications, different letters differ significantly according to MDS ($P < 0.05$).

Tabla 1. Rendimiento y proteína del cultivo de trigo. (*) Diferencia significativa $P < 0,05$, (NS) diferencia no significativa. Medidas seguidas de letras iguales dentro de cada columna no difieren significativamente. Table 1. Wheat yield and protein content. (*) Significant difference $P < 0,05$, (NS) no significant differences. Values followed by same letters within each column do not differ significantly.

Inhibidor	Momento	Dosis	Rendimiento (kg/ha)	Proteína (%)
Sin	M	30	3.361,1	13,2
		40	4.412,3	13,5
		50	4.317,9	13,6
	MD	30	4.123,3	13,3
		40	3.748,8	13,4
		50	3.898,5	13,6
	T	30	4.684,2	13,2
		40	3.934,5	12,8
		50	3.762,4	13,5
Con	M	30	4.490,3	13,4
		40	4.460,3	13,4
		50	4.052,8	13,2
	MD	30	3.814,2	12,7
		40	3.510,4	13,3
		50	4.177,2	13,0
	T	30	3.928,6	14,0
		40	4.372,1	13,6
		50	4.463,0	13,1
	Testigo		3.965,2	12,7
Promedio Inhibidor		Con	4.141,0a	13,3a
		Sin	4.027,0b	13,3a
Análisis de varianza				
Inhibidor			*	NS
Momento			NS	NS
Dosis			NS	NS
Inhibidor * Momento			NS	NS
Inhibidor * Dosis			NS	NS
Momento * Dosis			NS	NS
Inhibidor * Momento * Dosis			NS	NS
CV (%)			16,0	5,0
Análisis de varianza incluyendo al testigo				
Inhibidor			NS	NS
Momento			NS	NS
Dosis			NS	NS
CV (%)			6,9	3,3

Momento del día: M (Mañana), MD (Medio día), T (Tarde); Dosis 30, 40 y 50 kg de N ha⁻¹

0,17 y 0,16 kg N recuperado/kg de N foliar aplicado para la dosis de 30, 40 y 50 kg N ha⁻¹, respectivamente). Estos valores son marcadamente inferiores a los reportados por Porsborg *et al.* (2005) quienes obtuvieron una ERN cercana a 0,6 kg kg⁻¹. Gooding & Davies (1992) mencionaron que en ocasiones los bajos valores de ERN se deben a pérdidas del fertilizante por volatilización de NH₃. En el caso del cultivo evaluado en el presente trabajo, la falta de humedad produjo depósitos visibles de fertilizante sobre el follaje durante tres días. Este retardo en la absorción posiblemente haya propiciado elevadas pérdidas mediante el mecanismo antes mencionado.

No se observaron diferencias en el rendimiento ni en el contenido de proteína entre los distintos momentos de aplicación del fertilizante, si bien la pulverización efectuada al mediodía generó una leve merma en el primero. Esto podría estar explicado a partir de que no se registraron diferencias en las proporciones de RFAint y que los valores de IV sólo difirieron en la medición efectuada a los 5 DPF para dichos tratamientos.

A partir de estos resultados y sumado a lo ocurrido con las mediciones de IV y RFAint, se podría afirmar que en condiciones ambientales que impidan que el cultivo pueda alcanzar rendimientos elevados y/o una alta calidad de grano, no sería conveniente la utilización de dosis mayores a los 30 kg de N ha⁻¹ en aplicaciones cercanas a antesis. Asimismo, el momento del día en el cual se efectúa la aplicación y la adición de NBPT pierden relevancia como factor condicionante del daño al cultivo.

CONCLUSIONES

La aplicación de urea foliar al cultivo de trigo en condiciones de déficit hídrico causó lesiones por fitotoxicidad, las cuales se manifestaron en caídas en los valores de IV y en la RFAint. Este comportamiento fue independiente de la dosis de N, del momento de fertilización y de la adición de NBPT. Sin embargo, a pesar de que dicho daño se produjo durante el período crítico para la definición del rendimiento y el contenido de proteína en grano, ninguno de los parámetros presentó diferencias respecto de los testigos sin aplicación foliar.

AGRADECIMIENTO

Trabajo financiado con fondos del proyecto INTA EARN5656 y de la FCA-UNMP AGRxxx/08.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbate, PE; FH Andrade & JP Culot. 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. Boletín Técnico N° 133. 17 p.
- Bergh, R; T Loewy & HE Echeverría. 2006. Importancia de la fertilización nitrogenada sobre la calidad panadera del trigo. Revista de la 37 Fiesta Provincial del Trigo, 4-12/3/2006. Tres Arroyos, Buenos Aires. pp 23-27.
- Bly, GAG & HJ Woodard. 2003. Foliar nitrogen application timing influence on grain yield and protein concentration of hard red winter and spring wheat. *Agronomy Jour.* 95: 335-338.
- Bremner, JM & YC Mulvaney. 1982. Nitrogen total. *In: AL Page et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties.* American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 595-624.
- Dardanelli, J; D Collino; ME Otegui & V Sadras. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. Pp. 377-406. *En: EH Satorre; RL Benech Arnold; GA Slafer; EB de la Fuente; DJ Miralles; et al. (eds.), Producción de Granos.* Editorial Fac de Agronomía-Univ de Buenos Aires.
- Gallo, WP & CST Daughtry. 1986. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in crop canopies. *Agron. J.* 78: 752-756.
- Gooding, MJ & WP Davies. 1992. Foliar urea fertilization of cereals. A review. *Fertilizer Res.* 32: 209-222.
- Hale, M & D Orcutt. 1987. The physiology of plants under stress. Wiley and Sons, Inc. 206 p.
- Hinsvark, ON; SH Wittwer & HB Tukey. 1953. The metabolism of foliar-applied urea. I. Relative rates of C14 O2 production by certain vegetable plants treated with labeled urea. *Plant Physiol.* 28: 70-76.
- Krogmeier, MJ; GW McCarty & JMBremner. 1989. Phytotoxicity of foliar-applied urea. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 86: 8189-8191.
- Palta, JA; IR Fillery; EL Mathews & NC Turner. 1991. Leaf feeding of [15N] urea for labelling wheat with nitrogen. *Aust J Plant Physiol* 18(6): 627-636.
- Porsborg, M; J González Montaner & M Di Napoli. 2005. Late application of nitrogen fertilizer in wheat. 7th International Wheat Conference. Mar del Plata. Argentina. pp 210.
- Quattrocchio, A; HE Echeverría & SI Alonso. 2004. Estrategias de fertilización nitrogenada de cultivares de trigo pan: rendimiento y proteína. 19 Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná-Entre Ríos. 22-25 Junio de 2004. Actas en CD, 8 pág.
- SAS Institute, 1996. The SAS System release 6.12 for Windows. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.
- Sirko, A & R Brodzik. 2000. Plant ureases: roles and regulation. *Acta Biochimica Polonica* 47(4): 1189-1195.
- Varga, B & Z Svecnjak. 2006. The effect of late-season urea spraying on grain yield and quality of winter wheat cultivars under low and high basal nitrogen fertilization. *Field Crops Res.* 96: 125-132.
- Zadoks, JC; TT Chang & CF Konzak. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.