

PREDICCIÓN DEL CONTENIDO DE PROTEÍNA EN GRANO DE TRIGO (*Triticum aestivum* L) MEDIANTE EL ÍNDICE DE VERDOR DE LA HOJA BANDERA

HE ECHEVERRÍA, GA STUDDERT

Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce. E_mail: hecheverr@balcarce.inta.gov.ar. C.C. 276 (7620) Balcarce, Buenos Aires-Argentina

Recibido 8 de noviembre de 2000, aceptado 21 de febrero de 2001

PREDICTION OF WHEAT (*Triticum aestivum* L) GRAIN PROTEIN CONTENT THROUGH FLAG LEAF GREENNESS INDEX

The aim of this work was to determine: a) the usefulness of flag leaf greenness index to detect nitrogen availability b) if there was a relationship between flag leaf nitrogen concentration and its greenness index, c) if flag leaf greenness index at grain filling was related to grain protein content at harvest, and d) if flag leaf greenness index at heading could be used to predict wheat grain protein content changes due to topdressed nitrogen at heading. Two field studies were conducted on a Petrocalcic Paleudoll. A hard red spring wheat (ProINTA Oasis) was used. Both experiments were carried on with a split-split plot design that evaluated different preceding crops (corn, soybean and sunflower) or tillage systems (no till and conventional tillage) in the main plots, two nitrogen rates (0 and 120 kg N ha⁻¹) at sowing in the subplots, and three nitrogen rates (0, 20 and 40 kg N ha⁻¹) topdressed two days after heading in the sub-subplots. Flag leaf greenness index can be used to evaluate nitrogen availability for different preceding crops, tillage systems and nitrogen fertilization. For both experiments, flag leaf nitrogen concentration was related to the greenness index ($r^2=0.89$). Flag leaf greenness index at grain filling was positively correlated with grain protein content ($r^2=0.89$). When the flag leaf greenness index at heading was 35 SPAD units, nitrogen fertilization at heading with 20 and 40 kg ha⁻¹ increased grain protein content 1.2 and 2.2 per cent points, respectively. When the greenness index was 45 SPAD units, those fertilizer applications increased grain protein contents 0.5 and 1.0 per cent points, respectively. It is concluded that, when there is no water deficit during grain filling, flag leaf greenness index at heading is a good indication of the likelihood of wheat grain protein content response to topdressed nitrogen at heading.

Key words: Wheat grain protein, Topdressed nitrogen, Greenness index, Flag leaf nitrogen.

INTRODUCCION

En la última década se difundieron prácticas agronómicas tendientes a incrementar los rendimientos de los cultivos extensivos en la región Pampeana. Entre aquéllas, se destaca la de la fertilización nitrogenada en trigo (*Triticum aestivum* L.) a fin de incrementar los rendimientos de granos. A fin de efectuar un uso racional de los fertilizantes nitrogenados, se calibraron métodos de diagnóstico de requerimiento de los mismos (Berardo 1994; Gonzalez Montaner *et al.* 1997). En ellos se recomienda la aplicación de nitrógeno tanto a la siembra como al macollaje, debido a la elevada eficiencia de uso de dicho nutriente en ambos momentos (Laurent *et al.* 1996; López *et al.* 1998). Fertilizaciones posteriores al macollaje generaron en algunas ocasiones repuestas

positivas en el rendimiento de granos (Morris, Paulsen 1985), mientras que en otras no se mejora el rendimiento (Smith *et al.* 1989; Sarandón, Gianibelli 1990).

A fin de revertir la pérdida de calidad de la producción triguera Argentina, desde 1995 se incluyó al contenido de proteínas en los estándares de comercialización del trigo. El precio del mismo se incrementa o disminuye en un 2%, por cada unidad de proteína por encima o debajo, respectivamente, de una base de 11%. En diferentes ambientes, se determinó que el contenido proteico de los granos de trigo incrementa con la aplicación de fertilizantes nitrogenados entre floración y antésis (Gravelle *et al.* 1988; Smith *et al.* 1989). Esta práctica es factible en sistemas extensivos bajo riego o en años en los que el agua almacenada en el perfil del suelo, en dichos

momentos, es elevada. No obstante, si el fertilizante aplicado no es tomado por la planta se podría incrementar el lavado de nitratos, afectando la calidad del ambiente. Por lo tanto, se consideró de interés desarrollar métodos de diagnóstico que permitan establecer las condiciones en las cuales son necesarias aplicaciones de nitrógeno en estadios avanzados del cultivo de trigo.

La concentración de nitrógeno en la hoja bandera se utilizó para caracterizar el estado nitrogenado del cultivo (Donohue, Braunn 1984) y para estimar la probabilidad de respuesta en el contenido de proteínas por la fertilización nitrogenada en floración (Stark, Tindall 1992; Tindall *et al.* 1995). Para las condiciones del sudeste bonaerense se determinó la relación entre la concentración de nitrógeno de la hoja bandera y el contenido proteico de los granos. Se sugirió que la concentración de la misma, en floración, es un buen indicador de la respuesta del contenido proteico de los granos, al agregado de nitrógeno (Echeverría, Studdert 1998). No obstante, el tiempo requerido para efectuar el muestreo, secado, molienda y determinación del contenido de nitrógeno de las hojas, hacen que esta metodología tenga escasas posibilidades de ser implementada en la práctica.

El medidor de clorofila Minolta SPAD 502 surge como una alternativa, al posibilitar la determinación rápida y sencilla de un índice de verdor (IV) que se relaciona con el contenido de clorofila (Finnan *et al.* 1997) y de nitrógeno de las hojas (Okamoto, Horino 1994). De esta manera, una determinación no destructiva posibilitaría caracterizar el estado nitrogenado de los cultivos (Jeminson, Litle 1996; Sainz Rozas, Echeverría 1998). Se hipotetiza que, en condiciones no limitante de agua, el medidor de clorofila, al permitir valorar el contenido de nitrógeno en la hoja bandera del trigo, permite predecir el contenido de proteína del grano y es un aceptable estimador del eventual incremento del contenido de proteínas por aplicaciones de nitrógeno en floración. Por lo tanto, se plantean como objetivos establecer: a) la utilidad del IV para detectar diferencias en la disponibilidad de nitrógeno b) la relación entre el IV y la concentración de nitrógeno de la hoja bandera del trigo, c) la relación entre el

contenido de proteína de los granos y el IV en la hoja bandera del trigo durante el llenado de granos y d) la relación entre el IV en floración y los cambios del contenido proteico de los granos de trigo, por aplicaciones de nitrógeno en la floración del cultivo.

MATERIALES Y METODOS

En el campo experimental de la EEA INTA de Balcarce (latitud 37°45'S, longitud 58°18'O, altitud 130 m), durante las campañas agrícolas 1995 y 1996, se llevaron a cabo dos experimentos (Exp. 1 y Exp. 2, respectivamente) sobre un Paleudoll Petrocálcico, franco, illítico, térmico, con 5,7 y 5,5 mg kg⁻¹ de materia orgánica y 5,7 y 5,8 de pH, respectivamente. En ambos experimentos se adicionaron 22 kg ha⁻¹ de fósforo como superfosfato triple de calcio (0-46-0) a la siembra del trigo de la variedad ProINTA Oasis (270-300 semillas m⁻²). Los experimentos se realizaron con un diseño en bloques con tres repeticiones y un arreglo en parcelas sub-subdivididas. En el Exp. 1, sembrado el 8 de agosto, se evaluaron, en la parcela principal tres secuencias de cultivos [maíz (*Zea mays* L.)-maíz-trigo (MMT), girasol (*Helianthus annuus* L.)-girasol-trigo (GGT) y soja (*Glycine max* L.)-soja-trigo (SST)] con diferentes cultivos antecesores para el trigo (maíz, girasol y soja, respectivamente). En las sub-parcelas, hubo dos niveles de nitrógeno aplicados a la siembra (0 y 120 kg ha⁻¹), y en las sub-subparcelas, tres niveles de fertilización nitrogenada en floración (0, 20 y 40 kg ha⁻¹). La fertilización de floración se realizó el 8 de noviembre (uno o dos días luego de la emergencia de las espigas, código 59 de Zadoks) (Zadoks *et al.* 1974). En el Exp. 2, sembrado el 18 de julio, se evaluaron dos sistemas de labranza [convencional (LC) y siembra directa (SD)] en la parcela principal, dos dosis de nitrógeno a la siembra (0 y 120 kg ha⁻¹) en las sub-parcelas y tres dosis de nitrógeno (0, 20 y 40 kg ha⁻¹) aplicadas a la floración (5 de noviembre, Zadoks 59) en las sub-subparcelas. En todos los casos, la fuente de nitrógeno fue urea (46-0-0) que se aplicó al voleo antes de la última labor a la siembra, y al voleo a la floración siendo inmediatamente incorporada con una lámina de agua de 10-15 mm.

El 8 de noviembre de 1995 (Exp. 1) y el 5 de noviembre de 1996 (Exp. 2), uno a dos días luego de la emergencia de las espigas (Zadoks 59), en cada subparcela se determinó el IV de la hoja bandera (IV en floración), con el medidor de clorofila Minolta SPAD 502. Para ello se promediaron las lecturas de 30 láminas, aproximadamente a la mitad de la distancia entre el tallo y el ápice de la hoja, y a la mitad de la distancia entre el borde de la hoja y la nervadura media de la misma. Dichas láminas fueron removidas y constituyeron una muestra compuesta

por subparcela. El 23 de noviembre de 1995 (Exp. 1) y el 24 de noviembre de 1996 (Exp. 2), cuando el cultivo se encontraba en comienzo de grano lechoso (Zadoks 73), se efectuaron una segunda determinación de IV (IV en llenado) y muestreo de láminas de hoja bandera. En este caso se tomaron muestras de cada sub-subparcela ($n=54$ y $n=36$ en la primera y segunda campaña, respectivamente). Las láminas fueron secadas a 60 °C hasta peso constante y molidas (1 mm). Posteriormente, se determinó el contenido de N total por Kjeldhal según Nelson y Sommers (1973).

A la madurez del cultivo, sobre 0,5 m², se determinó rendimiento en grano (13% de humedad), peso de mil granos y concentración de N para determinar proteína (N en grano x 5.7).

Se realizó el análisis de regresión entre algunas de las variables analizadas y, cuando el análisis de la varianza indicó diferencias significativas ($P<0,05$), se aplicó la prueba de Duncan para comparar las medias de tratamientos. También se realizaron análisis de regresión entre las variables evaluadas.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Exp. 1, el trigo luego de soja (SST) y de maíz (MMT) sin el agregado de nitrógeno presentaron el mayor y el menor ($P<0,05$) rendimiento de granos, respectivamente. Por el contrario, las respuestas al agregado de nitrógeno a la siembra fueron la

menor (140 kg ha⁻¹) y la mayor (1476 kg ha⁻¹), respectivamente. El trigo luego de girasol (GGT) ocupó una posición intermedia en cuanto a rendimiento y respuesta a la fertilización nitrogenada (550 kg ha⁻¹). En el Exp. 2, sin el agregado de nitrógeno a la siembra, LC superó en rendimiento a SD ($P<0,05$), mientras que no se determinaron diferencias entre sistemas de labranza cuando se fertilizó con 120 kg ha⁻¹ de nitrógeno a la siembra del cultivo, siendo la respuesta en rendimiento de granos de 728 y 1442 kg ha⁻¹, respectivamente. El rendimiento de granos no se modificó por aplicaciones de nitrógeno en floración en ninguna de las dos campañas (Echeverría, Studdert 1998). El efecto del cultivo antecesor y del sistema de labranza podría explicarse, principalmente, por la diferente disponibilidad de nitrógeno, lo que confirmaría resultados obtenidos con anterioridad (Echeverría *et al.* 1992; Falotico *et al.* 1999; Studdert. *et al.* 2000.)

En los tratamientos sin el agregado de nitrógeno en floración, la fertilización a la siembra permitió incrementos significativos ($P<0,05$) del contenido de proteína, en ambas campañas (2,4 puntos porcentuales en promedio). Por otro lado, aplicaciones de 20 y 40 kg ha⁻¹ de nitrógeno en floración incrementaron el contenido de proteína en los

Tabla 1. Análisis de varianza del índice de verdor (IV) de la hoja bandera en floración y en llenado de grano, para el Experimento 1 y el Experimento 2.

Table 1. Analysis of variance of greenness index (IV) of flag leaf at heading and milk stage for Experiment 1 and Experiment 2.

Fuente de variación	IV en floración		IV en llenado	
	Grados de libertad	Nivel de probabilidad	Grados de libertad	Nivel de probabilidad
Experimento 1				
Cultivo previo (CP)	2	0,010	2	0,001
N siembra (NS)	1	0,035	1	0,001
CP x NS	2	0,029	2	0,009
N floración (NE)	--	--	2	0,001
CP x NE	--	--	4	0,245
NS x NE	--	--	2	0,131
CP x NS x NE	--	--	4	0,971
CV (%)		7,8		5,9
Experimento 2				
Labranza (L)	1	0,066	1	0,088
N siembra (NS)	1	0,004	1	0,003
L x NS	1	0,049	1	0,368
N floración (NE)	--	--	2	0,001
L x NE	--	--	2	0,164
NS x NE	--	--	2	0,001
L x NS x NE	--	--	2	0,159
CV (%)		6,4		2,9

testigos 1,25 y 1,85 puntos porcentuales, respectivamente (promedio para ambos años). Asimismo, aplicaciones de las mismas dosis de nitrógeno en floración a los tratamientos que habían recibido fertilización a la siembra, permitieron incrementos de tan sólo 0,54 y 0,84 puntos porcentuales, respectivamente (Echeverría, Studdert 1998). Para idénticas dosis de nitrógeno en floración y en secano, Bergh *et al.* (2000) reportaron incrementos ligeramente superiores para trigo candeal (*Triticum durum* Desf.).

El IV medido en floración (Zadoks 59) fue afectado ($P<0,05$) por la interacción entre el nitrógeno aplicado a la siembra y el cultivo antecesor en el Exp. 1, y entre el nitrógeno aplicado a la siembra y la labranza en la Exp. 2

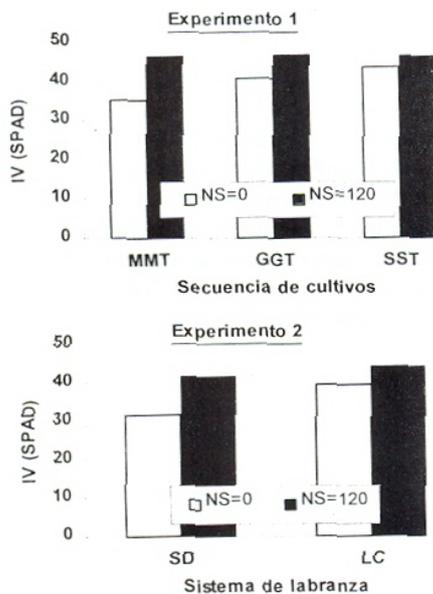


Figura 1. Índice de verdor (IV) de la hoja bandera en floración (Zadoks 59) en función de: la secuencia de cultivos en el Experimento 1 y de sistema de labranza en el Experimento 2, para dos dosis (0 y 120 kg ha⁻¹) de nitrógeno aplicado a la siembra. NS = nitrógeno a la siembra, M= maíz, G= girasol, S= soja, T= trigo, SD= siembra directa, LC= labranza convencional. Duncan ($P=0,05$) 3,65.

Figure 1. Flag leaf greenness index (IV) at heading (Zadoks 59) as a function of crop sequence (Experiment 1) or tillage system (Experiment 2) for two nitrogen rates (0 and 120 kg ha⁻¹) at sowing. NS = nitrogen at sowing. M=corn, G=sunflower, S=soybean, T=wheat, SD=no tillage, LC=conventional tillage. Duncan ($P=0,05$) 3,65.

(Tabla 1). El efecto del cultivo antecesor (Exp.1) y del sistema de labranza (Exp. 2) sobre los rendimientos, ya comentados, se pusieron de manifiesto en el IV en floración, correspondiendo los menores valores a MMT sin nitrógeno en la Exp. 1 y a SD sin nitrógeno en la Exp. 2 (Figura 1). Para ambos experimentos, se determinaron relaciones significativas ($P<0,05$) entre el rendimiento de granos y el IV en floración ($r^2=0,64$ y $r^2=0,95$, respectivamente). Estos resultados sugerirían que, al igual que para maíz (Sainz Rozas, Echeverría 1998), el IV medido en estadios avanzados del cultivo de trigo, sería un estimador promisorio de la nutrición nitrogenada del cultivo (Falotico *et al.* 1999).

En el Exp. 1, para el IV en llenado de granos (Zadoks 73), se determinó efecto significativo ($P<0,05$) de la aplicación de nitrógeno en floración, y de la interacción entre el cultivo antecesor y el nitrógeno aplicado a la siembra (Tabla 1). La aplicación de nitrógeno en floración incrementó ($P<0,05$) los valores de IV en llenado en hoja bandera, correspondiendo valores promedio de 45,5, 46,8 y 47,8 unidades SPAD para los tratamientos con 0, 20 y 40 kg ha⁻¹ de nitrógeno, respectivamente. Sin el agregado de nitrógeno a la siembra, SST se asoció a los mayores valores de IV en dicha hoja (48,0 unidades SPAD) y a un menor incremento por el agregado de 120 kg ha⁻¹ de nitrógeno a la siembra (2,0 unidades SPAD). Por el contrario, para MMT, los testigos tuvieron las menores lecturas (35,0 unidades SPAD) y la mayor respuesta por el agregado de nitrógeno a la siembra (5,0 unidades SPAD). La lectura de IV en llenado del trigo, con girasol como antecesor (GGT), se ubicaron en una posición intermedia (Figura 2).

En el Exp. 2, se determinó interacción ($P<0,05$) entre ambos momentos de aplicación de nitrógeno sobre el IV en llenado (Tabla 1). Sin fertilización a la siembra, los valores de IV fueron de 34,3, 40,8 y 44,4 unidades SPAD para 0, 20 y 40 kg ha⁻¹ de nitrógeno, respectivamente, mientras que para los tratamientos fertilizados a la siembra, fueron de 44,8, 45,5 y 46,8 unidades SPAD, respectivamente. El efecto del sistema de labranza sobre el IV determinado en llenado, fue significativo al 9% (Tabla 1). El sistema de LC superó ligeramente a SD, correspon-

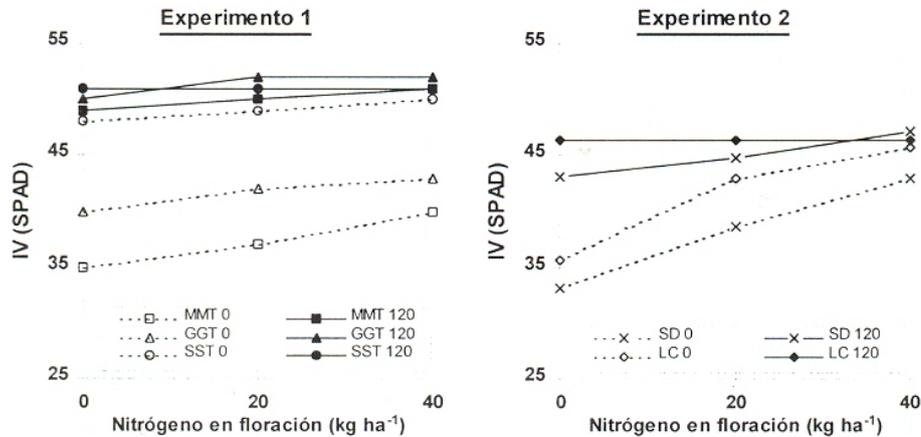


Figura 2. Índice de verdor (IV) de la hoja bandera del trigo en llenado de grano (Zadoks 73) en función de: N aplicado en floración (Zadoks 59), para dos dosis de N aplicado a la siembra (0 y 120 kg ha⁻¹), y para distintas secuencias de cultivos en el Experimento 1 y distintos sistemas de labranza en el Experimento 2. M= maíz, G= girasol, S= soja, T= trigo, SD= siembra directa, LC= labranza convencional. Duncan (p=0,05) 2,17.

Figure 2. Wheat flag leaf greenness index (IV) in the grain filling period (Zadoks 73) as a function of topdressed nitrogen at heading (Zadoks 59) for two nitrogen rates (0 and 120 kg ha⁻¹) at sowing and different crop sequences (Experiment 1) or tillage systems (Experiment 2). M=corn, G=sunflower, S=soybean, T=wheat, SD=no tillage, LC=conventional tillage. Duncan (p=0,05) 2,17.

diéndoles en promedio 43,9 y 41,6 unidades SPAD, respectivamente (Figura 2).

La aplicación de nitrógeno en floración también incrementó la concentración de nitrógeno de la hoja bandera en el período de llenado del grano. En el Exp. 1, sin el agregado de nitrógeno a la siembra, los cultivos antecesores soja (SST) y maíz (MMT) produjeron, respectivamente, la mayor y menor concentración de nitrógeno de dicha hoja (38,2 y 27,1 g kg⁻¹ de nitrógeno, respectivamente), y, a su vez, el menor y mayor incremento por la fertilización en floración (3,0 y 4,2 g kg⁻¹ de nitrógeno, respectivamente). En el Exp. 2, el sistema de SD sin el agregado de nitrógeno a la siembra, presentó las menores concentraciones de nitrógeno de la hoja bandera (21,9 g kg⁻¹ de nitrógeno) y los mayores incrementos de dicha variable, cuando se fertilizó con 40 kg ha⁻¹ de nitrógeno en espigazón (8,5 g N kg⁻¹). Un comportamiento similar se registró en el sistema de LC, pero a niveles ligeramente superiores de concentración de nitrógeno en hoja bandera (Echeverría, Studdert 1998). Por lo tanto, las determinaciones de contenido de nitrógeno en hoja bandera en el período de llenado del grano, mostraron un comportamiento similar al de IV

en llenado.

La relación entre el contenido de nitrógeno en hoja bandera e IV en floración y en llenado, para la variedad en estudio, se presenta en la Figura 3. Se determinaron elevados ajustes, tanto para una ecuación de tipo lineal como para una cuadrática ($r^2=0,89$ y $r^2=0,90$, respectivamente). En festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.), Di Salvo *et al.* (1999) determinaron que el IV aumenta a medida que aumenta el nitrógeno en la hoja hasta valores en que las lecturas del IV se saturan. No obstante, probablemente por las menores cantidades de nitrógeno aplicadas en este trabajo respecto al de aquellos autores, no se observó una mejora significativa en el coeficiente de determinación cuando se ajustaron los resultados a una ecuación de tipo cuadrática. Independientemente del tipo de ecuación de ajuste, la relación entre estas variables fue estrecha y lo hallado coincidió con los resultados obtenidos en trigo por otros investigadores (Matsunaka *et al.* 1997; Bergh *et al.* 2000).

En ambos años, el contenido de proteína del grano se relacionó linealmente con las lecturas de IV en hoja bandera en el período de llenado de granos (Figura 4). Estos

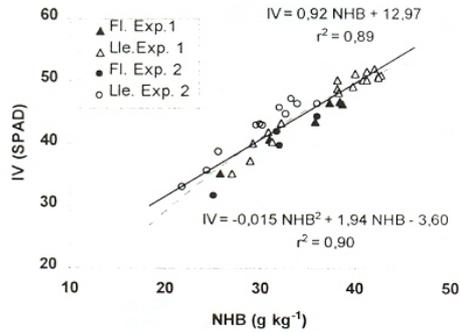


Figura 3. Relación entre el índice de verdor (IV) y la concentración de nitrógeno de la hoja bandera (NHB) de trigo en floración (Zadoks 59) (Fl) y llenado de grano (Zadoks 73) (Lle), en el Experimento 1 (Exp. 1) y en el Experimento 2 (Exp. 2).

Figure 3. Relationship between wheat flag leaf greenness index (IV) and its nitrogen concentration at heading (Zadoks 59) (Fl) and grain filling (Zadoks 73) (Lle), in Experiment 1 (Exp. 1) and Experiment 2 (Exp. 2).

resultados serían consecuencia de la estrecha relación entre el IV y la concentración de nitrógeno en hoja (Figura 3), y de que esta última variable demostró cumplir un rol destacado en la determinación del contenido de proteínas de los granos (Martin del Molino 1992; Tindall *et al.* 1995). Estos resultados sugieren que, en condiciones de adecuado suministro hídrico durante el período de llenado de los granos y para una determinada variedad, las lecturas del IV de la hoja bandera en llenado, permitirían realizar estimaciones del contenido de proteínas de los granos a cosecha. La rapidez y la característica no destructiva de la determinación del IV en la hoja bandera del trigo, se presentan como aspectos relevantes a la hora de estimar el contenido de proteínas de los granos de trigo.

Ante un apropiado abastecimiento de agua, las aplicaciones de urea en floración (Zadoks 59) fueron rápidamente hidrolizadas y absorbidas por el cultivo, puesto que a los 15-20 días de aplicada (Zadoks 73) se determinaron incrementos en el contenido de nitrógeno de la hoja bandera. Dicho incremento estuvo inversamente relacionado a la concentración de nitrógeno de la hoja bandera en floración

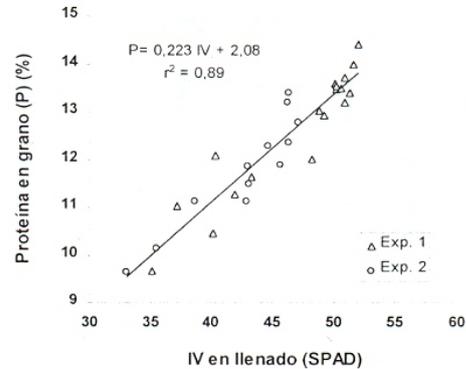


Figura 4. Proteína en grano de trigo en función del índice de verdor (IV) de la hoja bandera en el período de llenado de grano (Zadoks 73) en el Experimento 1 (Exp. 1) y en el Experimento 2 (Exp. 2).

Figure 4. Wheat grain protein content as a function of flag leaf greenness index (IV) at grain filling (Zadoks 73) (Lle), in Experiment 1 (Exp. 1) and Experiment 2 (Exp. 2).

(Echeverría, Studdert 1998). Debido a la estrecha relación entre la concentración de nitrógeno de la hoja y las lecturas del IV, esta última variable determinada en floración también se asoció inversamente con el incremento del contenido de nitrógeno de la hoja bandera en llenado de granos, como consecuencia de aplicaciones de nitrógeno en floración (Figura 5).

Un comportamiento similar se observó al relacionar el incremento del contenido de proteína de los granos de trigo con las lecturas del IV en hoja bandera en floración (Figura 6). Cuando las lecturas del IV fueron inferiores a 35 unidades SPAD, aplicaciones de nitrógeno de 20 y 40 kg ha⁻¹, produjeron incrementos del contenido de proteína del grano superiores a 1,2 y 2,2 puntos porcentuales, respectivamente. Por el contrario, se registraron incrementos del contenido de proteínas de 0,5 y 1,0 puntos porcentuales cuando las lecturas del IV fueron de 45 unidades SPAD. Las relaciones obtenidas permiten efectuar estimaciones de eventuales incrementos en el contenido de proteínas por aplicaciones de urea en floración, con un método rápido y no destructivo, como es la

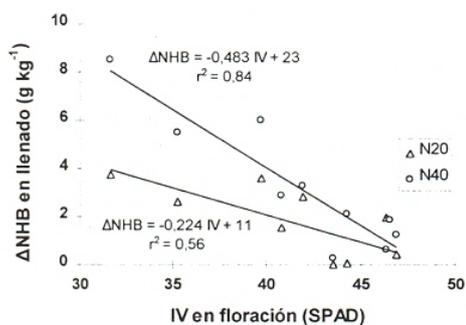


Figura 5. Incremento de la concentración de nitrógeno de la hoja bandera (Δ NHB) en llenado de grano (Zadoks 73) de trigo por aplicaciones de 20 (N20) y 40 (N40) kg ha^{-1} de nitrógeno en floración (Zadoks 59) en función del índice de verdor (IV) de la hoja bandera en floración, en el Experimento 1 (Exp. 1) y en el Experimento 2 (Exp. 2).

Figure 5. Increase of wheat flag leaf nitrogen concentration at grain filling (Zadoks 73) (Δ NHB) due to topdressing of 20 (N20) and 40 (N40) kg ha^{-1} of nitrogen at heading (Zadoks 59) as a function of flag leaf greenness index (IV) at heading, in Experiment 1 (Exp. 1) and Experiment 2 (Exp. 2).

medición del IV en hoja bandera en floración.

En síntesis, en condiciones de adecuado suministro hídrico en el período de llenado de granos, el IV sería un estimador promisorio de la nutrición nitrogenada del cultivo de trigo. Se determinó que las lecturas del IV en la hoja bandera durante el período de llenado de granos, permitieron efectuar estimaciones anticipadas del contenido proteico de los granos. Además, las lecturas del IV en la hoja bandera en floración (15 a 20 días antes al período de llenado) constituyen un buen estimador del contenido de proteínas del cultivo de trigo en respuesta a aplicaciones de urea en el período de floración del mismo. Por lo tanto, las lecturas del IV en hoja bandera en estadios avanzados del cultivo de trigo, surgen como herramientas promisorias a fin de mejorar la calidad de los granos de trigo.

REFERENCIAS

- Berardo A. 1994. Aspectos generales de fertilización y manejo del trigo en el área de influencia de la estación experimental INTA-Balcarce. Boletín Técnico 128. EEA INTA Balcarce. 34 p.
Bergh R, Baez A, Quattrocchio A, Zamora M. 2000.

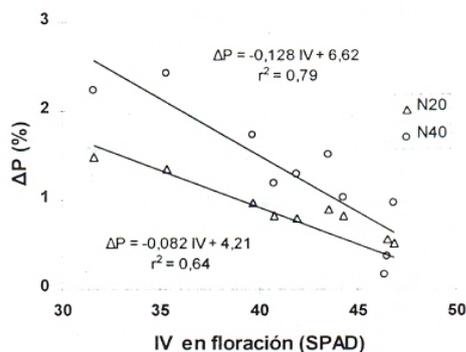


Figura 6. Incremento del contenido de proteínas (Δ P) en el grano de trigo por aplicaciones de 20 (N20) y 40 (N40) kg ha^{-1} de nitrógeno en función del índice de verdor (IV) en la hoja bandera en floración (Zadoks 59) en el Experimento 1 (Exp. 1) y en el Experimento 2 (Exp. 2).

Figure 6. Wheat grain protein content increase (Δ P) due to topdressing of 20 (N20) and 40 (N40) kg ha^{-1} of nitrogen at heading (Zadoks 59) as a function of flag leaf greenness index (IV) at heading, in Experiment 1 (Exp. 1) and Experiment 2 (Exp. 2).

Fertilización nitrogenada para calidad en trigo candeal. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 7:13-16.

- Di Salvo M, Lattanzzi F, Echeverría HE. 1999. Relación entre el índice de verdor y la concentración de nitrógeno en *Festuca arundinacea* Schreb. Rev. Arg. Prod. Anim. 19:291-299.
Donohue SJ, De Brann. 1984. Wheat grown in the coastal plain region of Virginia. Commun. Soil Sci. Plant Ann. 15:651-661.
Echeverría HE, Navarro CA, Andrade FH. 1992. Nitrogen nutrition of wheat following different crops. J. Agric. Sci. Camb. 118:157-163.
Echeverría HE, Studdert GA. 1998. El contenido de nitrógeno en la hoja bandera del trigo como predictivo del incremento de proteína en el grano por aplicaciones de nitrógeno en espigazón. Rev. Fac. Agron., La Plata 103:27-36.
Falotico JL, Studdert GA, Echeverría HE. 1999. Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional. Ciencia del Suelo 17:9-20.
Finnan JM, Burke JL, Jones MB. 1997. A note on a non-destructive method of chlorophyll determination in wheat (*Triticum aestivum* L.). Irish J. Agric. Food Res. 36:85-89.
González Montaner JH, Maddoni GA. Dinápoli

- MR. 1997. Modelling grain yield and grain yield response to nitrogen in spring wheat crops in the Argentinean Southern Pampa. *Field Crops Res.* 51:241-252.
- Gravelle WD, Aley MM, De Brann, Joseph KDSM. 1988. Split spring N application effects on yield, lodging, and nutrient uptake of soft red winter wheat. *J. Prod. Agric.* 1:249-256.
- Jeminson JM, Litle DE. 1996. Field evaluation of two nitrogen testing methods in Maine. *J. Prod. Agric.* 9:108-113.
- Laurent GC, Lázzari MA, Victoria RL. 1996. Balance del nitrógeno del fertilizante aplicado al trigo en dos épocas diferentes. *Ciencia del Suelo* 14: 7-11.
- López SC, Melaj M, Videla C, Echeverría HE, Bárbaro NO. 1998. Evolución del nitrógeno en un cultivo de trigo en relación al momento y forma de aplicación del fertilizante. *En: Actas IV Congreso Nacional de Trigo. II Simposio Nacional de Cereales de Siembra de Otoño - Invernal.* Mar del Plata. 11-13 de Noviembre de 1998. p 3-34.
- Martin del Molino IM. 1992. Relationship between wheat grain protein percentage and grain yield, plant growth, and nutrition at anthesis. *J. Plant Nutr.* 15:169-178.
- Matsunaka T, Watanabe Y, Miyawaki T, Ichikawa N. 1997. Prediction of grain protein content in winter wheat through leaf color measurements using a chlorophyll meter. *Soil Sci. Plant Nutr.* 43:127-134.
- Morris CF, Paulsen GM. 1985. Development of hard winter wheat after anthesis as affected by N nutrition. *Crop Sci.* 25:1007-1010.
- Nelson DW, Sommers LE. 1973. Determination of total nitrogen in plant material. *Agron. J.* 65:109-112.
- Okamoto M, Horino T. 1994. Relationship of varietal and environmental differences of nitrogen content of rice grain to leaf color. *Breeding Sci.* 44:177-181.
- Sainz Rozas H, Echeverría HE. 1998. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. *Rev. Fac. Agron., La Plata* 103:37-44.
- Sarandón SJ, Gianibelli MC. 1990. Effect of foliar urea spraying and nitrogen application at sowing upon dry matter and nitrogen distribution on wheat (*Triticum aestivum* L). *Agronomie* 10:183-189.
- Smith CJ, Freney JR, Chapman SL, Galbally IE. 1989. Fate of urea nitrogen applied to irrigated wheat at heading. *Aust. J. Agric. Res.* 49:951-963.
- Stark JC, Tindall TA. 1992. Timing split applications of nitrogen for irrigated hard red spring wheat. *J. Prod. Agric.* 5:221-226.
- Studdert GA, Carabaca LS, Echeverría HE. 2000. Estimación del nitrógeno mineralizado para un cultivo de trigo en distintas secuencias de cultivos. *Ciencia del Suelo* 18:17-27.
- Tindall TA, Stark JC, Brooks RH. 1995. Irrigated spring wheat response to topdressed nitrogen as predicted by flag leaf nitrogen concentration. *J. Prod. Agric.* 8:46-52.
- Zadoks JC, Chang TT, Konzak CF. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Res.* 14:415-421.