

# EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO DE FERTILIDAD NITROGENADA PARA EL CULTIVO DE TRIGO EN LA REGIÓN PAMPEANA

Manuel Ferrari <sup>(1)</sup>; Julio Castellarín <sup>(2)</sup>; Hernán Sainz Rozas <sup>(3)</sup>; Hugo Vivas <sup>(4)</sup>; Ricardo Melchiori <sup>(5)</sup> y Vicente Gudelj <sup>(6)</sup>

<sup>(1)</sup> EEA-INTA Pergamino, Avda. Frondizi km 4,5, (B2700WAA) Pergamino, Buenos Aires <sup>(2)</sup> EEA-INTA Oliveros <sup>(3)</sup> EEA-INTA Balcarce <sup>(4)</sup> EEA-INTA Rafaela <sup>(5)</sup> EEA-INTA Paraná <sup>(6)</sup> EEA-INTA Marcos Juárez.  
mferrari@pergamino.inta.gov.ar

Presentado al XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.  
AACs. Rosario, 31 de Mayo al 4 de Junio de 2010.

## Introducción

Después del agua, el nitrógeno (N) constituye el principal factor limitante de la productividad del cultivo de trigo. Un manejo eficiente de este nutriente requiere de la elaboración de un correcto diagnóstico de sus necesidades a fines de efectuar recomendaciones ajustadas de fertilización que optimicen la nutrición nitrogenada del cultivo. Dentro de las opciones de herramientas de diagnóstico se encuentran la disponibilidad de N a la siembra (suelo + fertilizante) hasta los 60 cm de profundidad (González Montaner et al., 1991) y el índice de verdor determinado con un clorofímetro portátil (Fox et al., 1994). Recientemente se han desarrollado también otros métodos, como el basado en sensores ópticos remotos que evalúan la reflectancia del canopeo del cultivo (Raun et al., 2005). En la Región Pampeana se han realizado varios estudios tendientes a generar información sobre la aplicabilidad de estos enfoques bajo distintas condiciones agroecológicas y a establecer niveles críticos u otros procedimientos para asistir la toma de decisión de fertilización nitrogenada del cultivo. Sin embargo, dichos esfuerzos han sido muy localizados y, por otra parte, no en todas las zonas se han investigado los diferentes métodos mencionados. El objetivo de este trabajo fue evaluar la disponibilidad de N a la siembra, el índice de verdor, y la reflectancia del canopeo como indicadores de los requerimientos de fertilización nitrogenada del cultivo de trigo en cuatro áreas dentro de la Región Pampeana.

## Materiales y métodos

Durante la campaña 2007/08 se instalaron 7 ensayos de fertilización nitrogenada de trigo en lotes manejados

bajo siembra directa (SD) en las áreas de influencia de las Estaciones Experimentales de INTA de Pergamino, Oliveros, Balcarce y Rafaela. Las características de los sitios experimentales y algunos datos de manejo de los cultivos de trigo se informan en la Tabla 1. El diseño utilizado fue en bloques completos aleatorizados con 4 repeticiones. Los tratamientos consistieron en 5 niveles de N aplicados como urea a la siembra: N0=0, N1=50, N2=100, N3=150 y N4=200 kg N ha<sup>-1</sup>. En tres ensayos (PE, CL y CC - ver Tabla 1) fue evaluado también un sexto tratamiento (N1 R), el que inicialmente fue idéntico al de 50 kg N ha<sup>-1</sup> pero que luego recibiría una segunda fertilización nitrogenada en base a las mediciones de reflectancia a realizar durante el ciclo del cultivo. A fines de asegurar la suficiencia de fósforo (P) y azufre (S), todas las parcelas recibieron aportes de 15-25 kg P ha<sup>-1</sup> y de 15-22 kg S ha<sup>-1</sup> antes o durante la operación de siembra.

En pre-siembra y antes de la aplicación de los fertilizantes se extrajeron muestras de suelo de los espesores 0-20, 20-40 y 40-60 cm para la determinación de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (método del ácido fenoldisulfónico). En cada bloque se tomó una muestra compuesta (10-15 submuestras) para cada profundidad. La dotación de N en el suelo (Ns) hasta los 60 cm de profundidad fue obtenida en base a las concentraciones de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y la densidad aparente de cada espesor de suelo muestreado. La disponibilidad de N a la siembra (Nd) en cada tratamiento fue luego calculada como la suma de Ns y la dosis de N del fertilizante (Nf) aplicada (Nd = Ns + Nf [kg N ha<sup>-1</sup>]).

En el comienzo de la elongación de tallos (estados GS 30-32; Zadoks et al., 1974), en todos los ensayos con

Tabla 1. Información sobre los sitios experimentales y datos de manejo de los cultivos.

Ensayo	Localidad (Provincia)	Serie de Suelos (Subgrupo)	ASD <sup>(1)</sup>	Cultivo antecesor	Variedad	Fecha de siembra
PE	Pergamino (Bs. As.)	Pergamino (Argiudol típico)	> 9	Soja de 1ra.	Cronox	13-7-07
NJ	9 de Julio (Bs. As.)	Norumbega (Hapludol éntico)	≥ 5	Soja de 1ra.	Cronox	2-7-07
CL	Oliveros (Santa Fe)	Maciel (Argiudol típico)	> 15	Soja de 1ra.	BioINTA 1002	7-6-07
CC	Oliveros (Santa Fe)	Maciel (Argiudol típico)	> 15	Soja de 1ra.	Cronox	25-6-07
LP <sup>(2)</sup>	Balcarce (Bs. As.)	Balcarce (Argiudol típico)	> 5	Girasol	Baguette 10	8-6-07
ES	Balcarce (Bs. As.)	Mar del Plata (Argiudol típico)	> 5	Girasol	Baguette 19	10-6-07
BI	Bdo. de Irigoyen (Santa Fe)	Maciel (Argiudol típico)	> 15	Maíz	Klein Tauro	19-6-07

(1) ASD = años de siembra directa continua; (2) ensayo parcialmente afectado por heladas

la excepción de BI se determinó el índice de verdor (IV) con un clorofilómetro Minolta SPAD-502 (Minolta Camera Co., Ltd., Japón). Las lecturas de clorofila fueron realizadas en 20 plantas representativas por parcela, efectuando las mediciones en la última hoja expandida y aproximadamente en la mitad del largo de la lámina. En los mismos estados fenológicos, en los tratamientos N1 R y N4 de los ensayos PE, CL y CC también se realizaron mediciones de NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada) con un sensor manual GreenSeeker (NTEch Industries, Inc., Ukiah, CA, EE.UU.), manteniendo una altura de lectura de 0,8-1,0 m por encima del canopeo. Las prescripciones de refertilización del tratamiento N1 R fueron calculadas con algoritmos recientemente ajustados en base a experiencias desarrolladas en nuestro país (Melchiori, com. pers.). Las dosis de N así calculadas fueron aplicadas a las parcelas N1 R como urea poco después (0-5 días) de efectuadas las determinaciones con el sensor. En todos los sitios se registraron lluvias suficientes (>20 mm) en los días siguientes a la aplicación como para asegurar la incorporación del fertilizante al suelo. La evaluación de los rendimientos de grano fue realizada con una cosechadora experimental de parcelas (LP, ES y BI) o mediante muestreo manual de espigas y posterior desgranado de las mismas con trilladora estacionaria (PE, NJ, CL y CC). En todos los casos el peso de grano fue corregido a un contenido de humedad de 13,5%. Los resultados de rendimiento de cada ensayo fueron

sometidos a análisis de varianza, realizándose las comparaciones de medias con el test de diferencias mínimas significativas (DMS;  $\alpha=0,05$ ). Para el análisis conjunto de las respuestas a N obtenidas, los rendimientos medios de los tratamientos N0, N1, N2 y N3 de cada ensayo fueron expresados como *Rendimiento Relativo*, dividiendo su valor por el rendimiento medio alcanzado por el tratamiento N4 ( $RR = \text{Rendimiento } N0, N1, N2 \text{ ó } N3 / \text{Rendimiento } N4$ ). Los niveles críticos de las variables diagnóstico evaluadas fueron determinados mediante el método gráfico de Cate & Nelson (1965), fijándose un RR crítico de 0,90.

## Resultados y discusión

Los rendimientos de grano obtenidos fueron en general

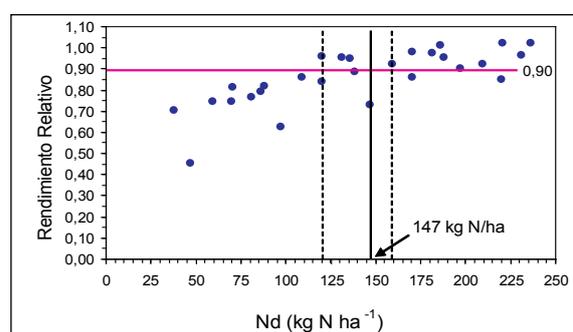


Figura 1. Relación entre los rendimientos relativos y la disponibilidad de N a la siembra (Nd).

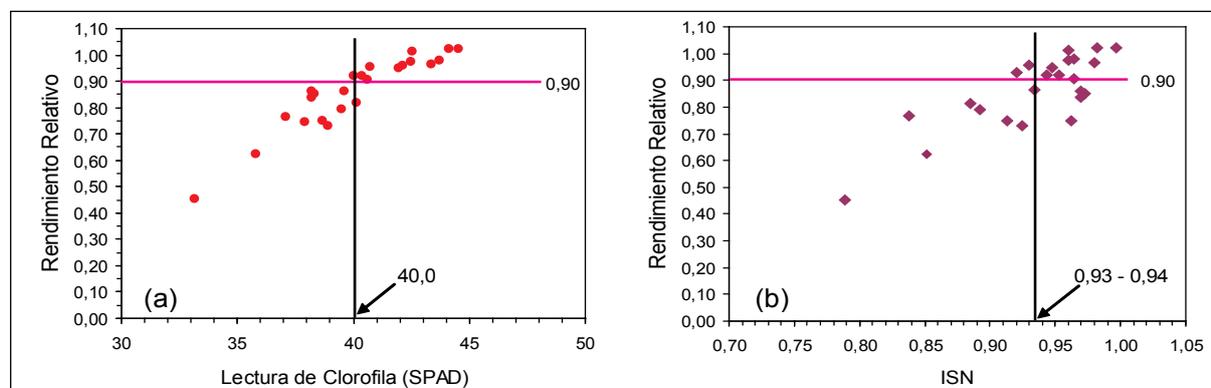


Figura 2. Relación entre los rendimientos relativos y (a) las lecturas absolutas de clorofila en hoja, (b) el Índice de Suficiencia de Nitrógeno (ISN).

Tabla 2. Rendimientos de grano obtenidos en los 7 ensayos.

Tratamiento	Rendimiento de grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) <sup>(1)</sup>						
	PE	NJ	CL	CC	LP	ES	BI
N0	4975 b	5564 c	3299 c	4796 c	1849 e	5341 b	3146 d
N1	5840 a	6665 b	3802 bc	5377 bc	2547 d	6676 a	3654 c
N1 R	5884 a	-----	3828 b	5495 b	-----	-----	-----
N2	5980 a	7107 ab	4060 ab	5525 b	2982 c	6806 a	3962 b
N3	6222 a	7185 a	4066 ab	5473 bc	3684 b	6745 a	4265 a
N4	6099 a	7021 ab	4410 a	6421 a	4075 a	6982 a	4463 a
DMS ( $\alpha=0,05$ )	488	465	516	691	390	509	208
CV (%)	5,6	4,5	8,8	8,3	8,4	5,1	3,5

(1) Para cada ensayo (columna), letras distintas indican diferencias significativas (DMS;  $p < 0,05$ )

elevados. Los valores medios oscilaron entre 1849 y 5564 kg ha<sup>-1</sup> para el tratamiento N0, y entre 4075 y 7021 kg ha<sup>-1</sup> para el N4. En todos los ensayos se detectaron respuestas significativas ( $p < 0,01$ ) al N (Tabla 2). En la Figura 1 se presenta la relación encontrada entre los RR y el Nd ( $N_s + N_f$ ). El análisis gráfico de los resultados reveló la existencia de un rango crítico ubicado entre los 120 y los 160 kg N ha<sup>-1</sup>, permitiendo establecer tentativamente un nivel crítico de Nd de 147 kg N ha<sup>-1</sup>, valor con el cual es posible predecir la respuesta del cultivo a la oferta de N con un 82% de confiabilidad (23 de los 28 puntos se encuentran en los cuadrantes inferior izquierdo y superior derecho). El nivel crítico encontrado es superior al determinado por Salvagiotti et al. (2004) en el centro-sur de Santa Fe (92 kg N ha<sup>-1</sup>) y al reportado por González Montaner et al. (1991) para el sudeste bonaerense (125 kg N ha<sup>-1</sup>), en ambos casos para ensayos con productividades medias inferiores a las obtenidas en este estudio. Sin embargo, el umbral de 147 kg N ha<sup>-1</sup> es idéntico al obtenido por Calviño et al. (2002) en el sudeste de Buenos Aires a partir de experiencias conducidas en SD con rendimientos máximos de 3500 a 7400 kg ha<sup>-1</sup> y que también incluyeron una combinación de variedades tradicionales y de origen francés como en el presente trabajo. La gran similitud con este último nivel crítico sería un reflejo de los altos niveles de productividad general alcanzados en los ensayos aquí informados (Tabla 2) y la consecuente mayor demanda de N por los cultivos.

La relación entre los RR y el IV posibilitó determinar un nivel crítico de 40 unidades SPAD, valor con el cual pudo anticiparse la respuesta a la fertilización nitrogenada con un 100% de eficacia (Figura 2.a). El umbral encontrado es muy semejante al reportado por Fox et al. (1994) para trigo de invierno (IV=41). A fines de evitar posibles interferencias inducidas por el material genético evaluado, las lecturas de clorofila fueron también expresadas en términos relativos mediante la elaboración de un *Índice de Suficiencia de Nitrógeno* ( $ISN = \text{Lectura } N0, N1, N2 \text{ ó } N3 / \text{Lectura } N4$ ). Sin embargo, e inesperadamente, los valores de ISN mostraron una mayor dispersión a la obtenida cuando los RR se relacionaron con las lecturas absolutas de clorofila (Figura 2.b). Al menos en parte, el muy estrecho ajuste encontrado entre los RR y las lecturas absolutas de clorofila podría ser explicado por el hecho de que el 50% de las mediciones fueron realizadas sobre un mismo cultivar (Cronox; Tabla 1).

Sobre la base de las lecturas de NDVI obtenidas, el algoritmo de recomendación empleado para la refertilización nitrogenada de las parcelas N1 R indicó la aplicación de dosis medias de 6,5; 0,0; y 27,2 kg N ha<sup>-1</sup> para los ensayos CL, CC y PE, respectivamente. Como puede observarse en la Tabla 2, en ninguno de los tres sitios los rendimientos del tratamiento N1 R difirieron significativamente de los del N1. En el caso de CL, dicho resultado sería esperable dada la muy baja dosis de N prescrita. Para el sitio CC, la recomendación de no aplicar fertilizante adicional fue claramente la correcta. En el ensayo PE, en

cambio, la refertilización con 27,2 kg N ha<sup>-1</sup> produjo un incremento de rendimiento de sólo 44 kg trigo ha<sup>-1</sup>, indicando que la prescripción de N habría sido excesiva. Estos últimos resultados sugerirían que es necesario mejorar los ajustes en los algoritmos para incrementar la precisión en la estimación de las dosis de refertilización a fines de poder generalizar el empleo del enfoque a las diversas condiciones agroclimáticas de la Región Pampeana.

## Conclusiones

Para las condiciones bajo las cuales se realizaron estos ensayos puede concluirse que:

- la disponibilidad de N a la siembra permitió predecir satisfactoriamente la respuesta del cultivo a la oferta de N.
- el IV determinado a comienzos de la elongación de tallos anticipó la respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada en forma precisa, desmejorando la confiabilidad de la predicción cuando las lecturas de clorofila fueron expresadas en términos relativos.
- si bien el método basado en la medición del NDVI del canopeo cuando empiezan a elongarse los tallos fue evaluado en sólo 3 ensayos, sus resultados aparentan ser promisorios, aún cuando se requerirían ajustes adicionales para poder emplearlo en forma apropiada bajo las distintas condiciones productivas de la región.

**Agradecimiento:** Este trabajo fue realizado con fondos del proyecto de INTA PNCER 2342.

## Bibliografía

- Calviño, P; H.E. Echeverría & M. Redolatti. 2002. Diagnóstico de nitrógeno en trigo con antecesor soja bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 20: 36-42.
- Cate, RB Jr & L.A. Nelson. 1965. A rapid method for correlation of soil test analyses with plant response data. *North Carolina Agric. Exp. Stn., Int. Soil Testing Series Tech. Bull. n° 1*.
- Fox, R.H; W.P. Piekielek & K.M. Macneal. 1994. Using a chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizer needs of winter wheat. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25:171-181.
- González Montaner, J.H; G.A. Maddonni; N. Mailland & M. Posborg. 1991. Optimización de la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo a partir de un modelo de decisión para la Subregión IV (sudeste de la provincia de Buenos Aires). *Ciencia del Suelo* 9:41-51.
- Raun, W.R; J.B. Solie; M.L. Stone; K.L. Martin; K.W. Freeman. 2005. Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36:2759-2781.
- Salvagiotti, F; G Cordone; J Castellarin; S Bacigaluppo; J Capurro; et. al. 2004. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada en trigo utilizando un umbral de disponibilidad de nitrógeno a la siembra. pp. 50-52 en: *Trigo Campaña 2003/2004, Para Mejorar la Producción* 25. EEA Oliveros, INTA.
- Zadoks, J.C; T.T. Chang & C.F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14:415-421. ■