

Métodos de diagnóstico de requerimiento de nitrógeno en trigo en el sudeste bonaerense

H. Echeverría, P. Barbieri, H. Sainz Rozas y F. Covacevich

Introducción

En el sudeste bonaerense el trigo es el cultivo de invierno que ocupa la mayor superficie. El uso más intenso del suelo en los últimos años, ha resultado en una disminución del contenido de MO, por lo que se observa una respuesta generalizada al agregado de nitrógeno (N) en trigo, particularmente bajo siembra directa (Falotico *et al.*, 1999).

En la actualidad, el método de diagnóstico más difundido en la zona para determinar la necesidad de fertilización con N, se basa en la medición del contenido de nitratos en el suelo al momento de la siembra (0-60 cm) (Gonzalez Montaner *et al.*, 1997). Para variedades tradicionales con antecesor soja y bajo siembra directa, Calviño *et al.* (2002) determinaron una dosis óptima de 150-X (siendo X la cantidad de N en el suelo hasta los 60 cm a la siembra), con respuestas de aproximadamente 30 kg de trigo por cada kg N (siembra + fertilizante). Sin embargo, en dicho trabajo, la aplicación de N se realizó cuando el cultivo se encontraba en tres hojas y, por lo tanto, plantea dudas acerca del uso de dicho umbral cuando el N es aplicado a la siembra.

En el sudeste bonaerense, a diferencia de otras zonas trigueras de Argentina, es poco probable que ocurran deficiencias hídricas tempranas (Calviño y Sadras, 2002), siendo más frecuente que las mismas puedan ocurrir hacia fin de ciclo. Por lo tanto, cuando las aplicaciones de N son realizadas a la siembra, se aumenta el tiempo de exposición de dicho nutriente a los mecanismos de pérdida, entre ellos el lavado de nitratos y/o desnitrificación, que pueden afectar la eficiencia de uso del N. En consecuencia, la determinación del contenido de N mineral a la siembra del cultivo sería una herramienta de diagnóstico poco confiable cuando se presentan dichas condiciones.

Otra alternativa que puede ser utilizada en estadios más avanzados del cultivo, es la determinación de la concentración de nitratos (N-NO_3^-) en seudotallos (Viglezzi *et al.*, 1996a; Strada *et al.*, 2000). El análisis de tejido tiene las ventajas de requerir menos tiempo y esfuerzo para la obtención de las muestras y que la planta puede ser un mejor integrador de los factores que determinan la disponibilidad de N en el suelo (Echeverría *et al.*, 2000). Se ha determinado que el estadio fenológico en el cual se obtiene el rango de concentración más amplio, es cerca de doble arruga (Castellarín *et al.*, 1999; Echeverría *et al.*, 2000). Para el sudeste bonaerense, en este estadio fenológico se han establecido umbrales de respuesta de 4,6 y 7,9 g $\text{N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ para rendimientos de 2400 a 5700 (Viglezzi *et al.*, 1996a) y de 3300 a 5900 kg ha^{-1} (Strada *et al.*, 2000), respectivamente.

Si bien estos resultados aportan umbrales de respuesta a la fertilización obtenidos en trigo bajo diferentes manejos (variedades, fechas de siembra y antecesores), los mismos fueron establecidos para un mismo sitio y con resultados de una sola campaña. Iversen *et al.* (1985a) reportaron que la concentración de N-NO_3^- en base de tallo de maíz no fue un buen estimador de la disponibilidad de N para el cultivo, cuando dicha metodología de diagnóstico se estudió para diferentes condiciones de manejo, sitios y años.

El objetivo de este trabajo fue: a) determinar la respuesta del cultivo de trigo a la aplicación de N a la siembra o al macollaje, en sitios del sudeste bonaerense, b) validar la metodología de diagnóstico

basada en la determinación del contenido de nitratos a la siembra y al macollaje, y c) establecer la relación entre el rendimiento relativo en grano de trigo con la concentración de N-NO_3^- en los seudotallos al macollaje.

Materiales y Métodos

Durante las campañas 2002 y 2003 se condujeron ensayos de fertilización en las localidades de Otamendi, Balcarce y Tandil. Los mismos se realizaron sobre suelos Argiudoles Típicos, bajo labranza convencional, a excepción de Balcarce en 2002 que se realizó bajo siembra directa, en la Tabla 1 se presentan algunas características de los sitios experimentales. El diseño experimental utilizado fue en BCA con tres repeticiones y los tratamientos fueron cuatro dosis de N: testigo, 100, 150 y 200 kg N, aplicadas a la siembra y al macollaje. El fertilizante ha aplicar se calculó como la dosis utilizada menos el contenido de N-NO_3^- en el suelo en presiembra (0-60 cm de profundidad). El cultivar utilizado fue Buck Sureño (BS) y Baguette 10 (B 10) se emplearon las técnicas usuales de los productores de cada área, los ensayos se condujeron sin deficiencias de P. Se realizó un adecuado control de malezas y se efectuaron aplicaciones preventivas de fungicida.

Al estadio fenológico de doble arruga se efectuó un muestreo de suelo para determinar el contenido de nitratos (0-60 cm), y se tomaron 25 plantas de cada parcela de BS antes de las 10 hs., a las cuales se les seccionaron las raíces y las láminas de las hojas. Posteriormente, las muestras fueron lavadas y llevadas a estufa hasta peso constante, y la extracción del contenido de N-NO_3^- se realizó en forma análoga a la reportada por Echeverría (1985). La cuantificación de nitratos se efectuó por colorimetría con ácido fenol disulfónico.

En madurez fisiológica, se determinó el rendimiento del cultivo al 14 % de humedad. En cada sitio y año se estimaron las pérdidas aparentes por lavado, mediante la utilización del modelo de Burns (1974).

El rendimiento relativo (RR) se calculó como la relación entre el rendimiento de cada tratamiento, y el rendimiento promedio de la dosis más elevada de N. La dosis necesaria para el 95 % del RR se obtuvo en base al ajuste de un modelo cuadrático utilizando la rutina NLIN del programa Statistical Analysis System. Los resultados fueron analizados utilizando las rutinas incluidas en dicho programa.

Resultados y Discusión

Las precipitaciones registradas en la campaña 2002 en las tres localidades fueron de 450 a 700 mm. En todos los sitios, luego de la aplicación del fertilizante, se produjeron excesos hídricos de relevancia; esta situación se veía agravada por la elevada disponibilidad hídrica en el perfil del suelo a la siembra del trigo. Durante la campaña 2003 las precipitaciones ocurridas fueron ligeramente inferiores (300 a 550 mm), sin excesos hídricos luego de la aplicación del fertilizante.

Tabla 1. Algunas características edáficas y de manejo de los sitios experimentales

| 2002 | | | | | |
|----------|---------|--------------------------|-----|-----------|---|
| Sitios | MO % | P mg kg ⁻¹ | pH | Antecesor | N disponible (0-60 cm) Kg ha ⁻¹ |
| Otamendi | 5.1 | 19,7 | 6,2 | Girasol | 19,8 |
| Tandil | 5.3 | 20,3 | 6,0 | Maíz | 19,1 |
| Balcarce | 5.7 | 14,3 | 6,0 | Soja | 24,5 |
| 2003 | | | | | |
| Otamendi | 5,1 | 19,7 | 6,2 | Girasol | 24,3 |
| Tandil | 5,8 | 25,9 | 6,0 | Maíz | 35,3 |
| Balcarce | 4,2 | 17,1 | 6,2 | Girasol | 24,0 |

El rendimiento en grano para BS varió desde 1600 a 5000 kg ha⁻¹ para la campaña 2002, y de 2000 a 6200 kg ha⁻¹ en 2003. Para B10 dicha variación fue de 2667 a 6308 Kg ha⁻¹ en la campaña 2002, y de 2460 a 8026 kg ha⁻¹ para la campaña 2003. Los rendimientos obtenidos serían consecuencia de las muy favorables condiciones meteorológicas, en particular para la campaña 2003, en la que a la adecuada provisión de agua se sumó una menor temperatura en el período crítico de definición del rendimiento y llenado de los granos. La menor temperatura al finalizar el ciclo, habría favorecido en mayor medida a B 10 respecto a BS, puesto que B 10 prolongó en mayor medida el ciclo del cultivo. En ambas estaciones de crecimiento, la fertilización incrementó significativamente el rendimiento en grano (Tabla 2). Los incrementos en rendimiento fueron debidos, principalmente, al aumento en el número de granos ($r^2= 0,97$, $p<0,01$ $r^2= 0,93$ $p<0,01$ para 2002 y 2003, respectivamente), dado que el rendimiento no mostró una estrecha asociación con el peso de los mismos ($r^2= 0,014$ $p>0,48$, $r^2= 0,05$ $p>0,17$, para 2002 y 2003, respectivamente).

En las dos variedades, la aplicación al macollaje produjo mayores rendimientos que a la siembra en el 2002 (Tabla 2). En el 2003, no se observaron diferencias por el momento de fertilización, lo que podría deberse al corto período entre ambos momentos de fertilización, y a las escasas precipitaciones registradas luego de las aplicaciones de N.

Tabla 2. Rendimiento del cultivo de trigo en la campaña 2002 y 2003 en función de la dosis de N en tres localidades del sudeste bonaerense

| Tratamientos | | Sitio Experimental | | | | | |
|--------------|------------|--------------------|----------|--------------|---------|----------|---------|
| | | Otamendi | | Tandil | | Balcarce | |
| Momento | Dosis de N | BS | B10 | BS | B10 | BS | B10 |
| 2002 | | | | | | | |
| | Testigo | 1637,4 c | 2666,7 c | 2614,5 c | 3290,0c | 3945,0b | 4236,5b |
| | 100 | 3610,7 b | 4546,8 b | 4536,9 b | 4492,4b | 4664,0a | 6355,5a |
| | 150 | 3946,3 ab | 5404,2 a | 4887,9 ab ab | 5409,2a | 5168,6a | 6253,0a |
| | 200 | 4239,8 a | 6185,7 a | 5205,6 a | 5836,9a | 5161,2a | 6307,7a |
| Prom. | Siembra | 3756,3 b | 5138,6 b | 4777.7 b | 5022,0b | 4968,7a | 6213,2a |
| momento | Macollaje | 4108,1 a | 5619,2 a | 5203.0 a | 5470,3a | 5027,2a | 6397,7a |
| 2003 | | | | | | | |
| | Testigo | 4093,7 c | 5010,3 b | 3534,6 c | 5121,9b | 2105,7b | 2460,2b |
| | 100 | 5151,9 b | 7258,4 a | 4964,6 b | 7257,5a | 3581,7ab | 3499,1a |
| | 150 | 5922,8 a | 7819,4 a | 6106,3 a | 7101,9a | 4295,9a | 3960,9a |
| | 200 | 6377,3 a | 8026,6 a | 5960,1ab | 7808,5a | 4191,4a | 3801,5a |
| Prom. | Siembra | 5794,7 a | 7626,8 a | 5651,3 a | 7408,7a | 4125,0a | 3761,6a |
| momento | Macollaje | 5840,0 a | 7776,1 a | 5702,6 a | 7369,3a | 3921,0a | 3746,1a |

Díaz Zorita (2000), en el oeste de Buenos Aires, sólo encontró respuestas a la fertilización al macollaje en el año con mayores precipitaciones en setiembre, debido a que en los años con escasas precipitaciones durante ese mes, la absorción de N se afectó. Similares resultados fueron reportados por Barbagelata *et al.* (2001), en ensayos realizados en Paraná, bajo siembra directa.

La diferencia en respuesta entre ambos años, podría ser atribuida a los excesos hídricos ocurridos durante las etapas iniciales del ciclo del cultivo en el 2002, los que habrían favorecido las pérdidas de N del sistema. A los efectos de corroborar esta hipótesis, se estimaron las pérdidas por lavado según el modelo de Burns (1974) para las aplicaciones de N a la siembra y hasta el macollaje. Las pérdidas aparentes por lavado de $N-NO_3^-$ fueron superiores en el 2002 respecto al 2003 (Tabla 3), indicando que las diferencias obtenidas en la cantidad de N recuperado por el cultivo, serían, en parte, atribuidas a dicho mecanismo de pérdida.

Cuando se relacionó el contenido de N disponible determinado a la siembra con el RR del cultivo, se observa que, para la campaña 2003, a un mismo nivel de N disponible se obtiene un mayor RR en ambas variedades, lo que concuerda con lo comentado respecto a las pérdidas de N luego de la siembra en la campaña 2002 (Figura 1). Cuando se relacionó el N disponible determinado al macollaje, las diferencias fueron menores entre años y sólo B 10 en el 2003 manifestó mayor RR (Figura 1). Esto último, consecuencia de la mayor duración del ciclo, estaría sugiriendo una mayor eficiencia de utilización del N.

Tabla 3. Pérdidas estimadas por lavado de $N-NO_3^-$ para el cultivo de trigo en función de la dosis de N en localidades del sudeste bonaerense en las campañas 2002 y 2003

| Tratamientos | 2002 | | | 2003 | | |
|-----------------------------|----------------------------------|--------|----------|----------|--------|----------|
| Disponibilidad de N (Ns+Nf) | Otamendi | Tandil | Balcarce | Otamendi | Tandil | Balcarce |
| | -----kg N ha ⁻¹ ----- | | | | | |
| 100 | 43 | 52 | 44 | 20 | 0 | 14 |
| 150 | 64 | 77 | 65 | 26 | 0 | 20 |
| 200 | 84 | 101 | 86 | 31 | 0 | 25 |

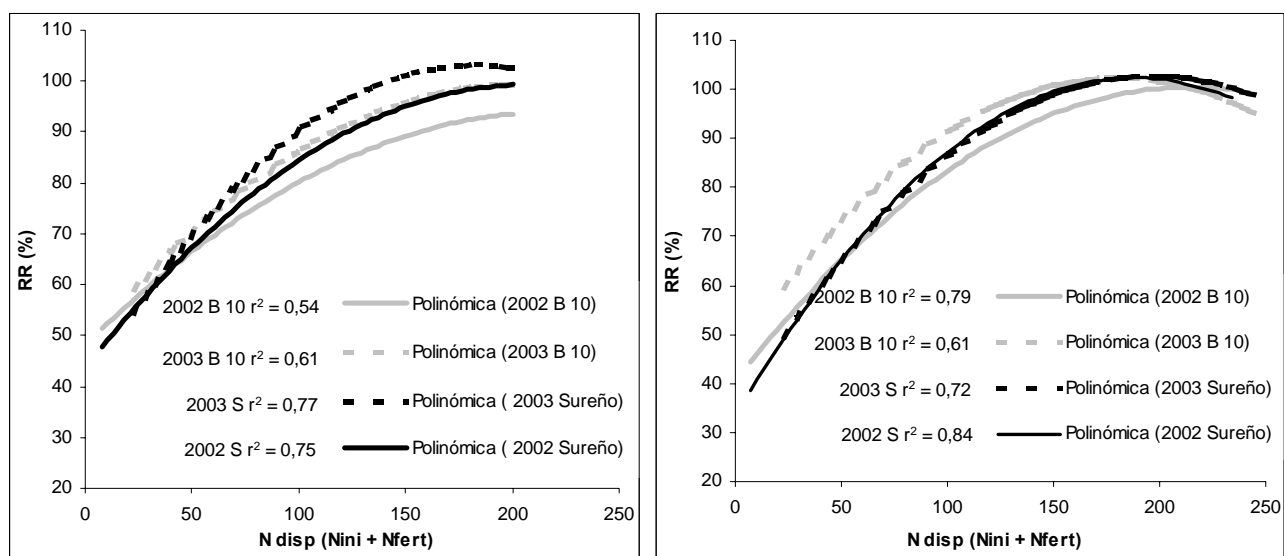


Figura 1: Relación del rendimiento relativo (RR) con el N disponible en el suelo a la siembra (izquierda) y el macollaje (derecha), en las campañas 2002 y 2003 para Baguette 10 (B 10) y B Sureño (BS)

La relación entre el N disponible determinado a la siembra y el RR, permitió determinar los umbrales para obtener el 95 % del RR. Para la campaña 2002, se determinaron umbrales de 210 y 150 kg N ha⁻¹ para B 10 y BS respectivamente, mientras que para la campaña 2003 los umbrales fueron de 140 y 115 kg N ha⁻¹ para B 10 y BS (Figura 1). El mayor umbral para B 10 respecto a BS para ambas campañas, sería consecuencia de los mayores rendimientos logrados por aquella variedad. No obstante, las diferencias entre campañas estarían reflejando el efecto de los mecanismos de pérdida de N del sistema, ya que para un mismo nivel de RR se requieren umbrales mayores en la campaña 2002 (Tabla 2 y Figura 1). El valor umbral determinado en el 2002 es similar al informado por otros investigadores (Calviño *et al.*, 2002), efectuando el muestreo y aplicación de N a la siembra.

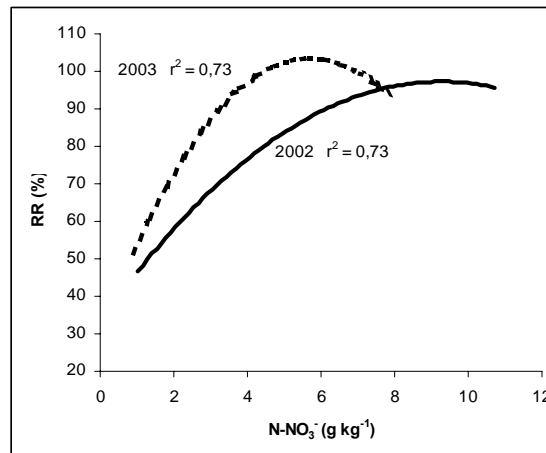
Para la determinación de nitratos en el suelo al estadio de macollaje, los umbrales determinados en el 2002 fueron 150 y 130 kg N ha⁻¹ para B 10 y BS, respectivamente, y para el 2003 de 115 y 127,5 kg N ha⁻¹ para B 10 y BS (Figura 1). El momento de extracción de las muestras de suelo para la determinación de los contenidos de nitratos, resultó en ajustes similares en la campaña 2003 en la que las pérdidas de N fueron menores. Por el contrario, en la campaña 2002, las determinaciones a la siembra presentaron menores ajustes que las realizadas al macollaje (Figura 1). Estos resultados permitirían concluir que la

determinación del contenido de nitratos en el suelo como método de diagnóstico al macollaje, sería más confiable que al momento de la siembra.

Respecto a los umbrales determinados al macollaje, es necesario destacar que los bajos valores del 2003 serían consecuencia de las muy favorables características meteorológicas, ya que no se produjeron déficits hídricos para el cultivo, ni pérdidas de N del sistema, ya que las precipitaciones ocurridas no excedieron la capacidad de retención de los suelos. Por lo tanto, desde un punto de vista práctico, sería conveniente utilizar los umbrales determinados para un año de características más próximas a la mediana, respetando los requerimientos de cada variedad.

La concentración de nitratos en seudotallos al macollaje para BS, fue afectada por la dosis de N, observándose un incremento en la concentración con el aumento de la dosis de N. El contenido de nitratos en planta fue un aceptable estimador de la disponibilidad de N en suelo, dado que incrementos en el contenido de N, se correspondieron con mayores concentraciones en seudotallos ($R^2 = 0,55$). Por lo tanto, esta metodología sería sensible para determinar la oferta de N para el cultivo, lo que es coincidente con lo reportado por Viglezzi *et al.* (1996b) y Strada *et al.* (2000). Esta afirmación se confirma a través de las estrechas relaciones entre el RR y la concentración de nitratos en seudotallos (Figura 2). Sin embargo, a diferencia de lo reportado por estos autores, quienes establecieron que los umbrales se incrementaban con los incrementos en el rendimiento, en esta experiencia los umbrales mostraron un comportamiento inverso, es decir, para la campaña 2002 en la cual se determinaron mayores rendimientos de 5300 kg ha^{-1} , el umbral fue de $7,5 \text{ g kg}^{-1}$, y en la campaña 2003, cuando el rendimiento máximo fue de 6200 kg ha^{-1} , el umbral fue de $3,8 \text{ g kg}^{-1}$. Por lo tanto, si bien esta metodología es sensible para detectar disponibilidad de N durante el macollaje, la misma no sería robusta para ser empleada como metodología de diagnóstico de rendimiento en trigo. Esto puede ser debido a que en el estadio de doble arruga aún no se determinan los componentes del rendimiento del cultivo.

Figura 2: Relación del rendimiento relativo (RR) con la concentración de nitratos en seudotallos al macollaje, en las campañas 2002 y 2003 para B Sureño (BS)



Conclusiones

El empleo de la concentración de nitratos en el suelo determinado a la siembra o al macollaje del cultivo, se relacionó con el RR y permitió determinar umbrales de respuesta a la fertilización nitrogenada que variaron en función de las características meteorológicas. El ajuste de dicha relación fue menor para el momento de la siembra. Por lo tanto, esta metodología de diagnóstico de requerimiento de N, sería una herramienta menos confiable que la determinación al momento del macollaje.

La concentración de $N-NO_3^-$ en seudotallos de trigo al estadio fenológico de doble arruga, es un buen estimador de la disponibilidad de N para el cultivo, sin embargo, el uso de esta técnica como método de diagnóstico es de dudosa aplicabilidad.

Agradecimiento: trabajo financiado por: PROFERTIL SA, el Proyecto AGR 163/03 de la FCA-UNMP y por la Estación Experimental Agropecuaria INTA de Balcarce.

Bibliografía

- Barbagelata, P. A.; Paparotti, O. F.; Melchiori, R. J. M. (2001). Efecto del momento de aplicación del nitrógeno sobre el rendimiento del trigo en siembra directa. Actas en CD del V Congreso Nacional de Trigo. Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina.
- Burns, I. G. (1974). A model for predicting the redistribution of salt applied to fallow soils after excess rainfall or evaporation. *J. Soil Sci.* 25: 165-178.
- Calviño, P. A.; Echeverría, H. E.; Redolatti, M. (2002). Diagnóstico de nitrógeno en trigo con antecesor soja bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 20: 36-42.
- Calviño, P. A.; Sadras, V. O. (2002). On-farm assesment of constrints to wheat in relation to different previous crops. *J. Agric. Sci. Cambridge.* 118: 157-163.
- Castellarín, J.; Pedrol, H.; Salvagiotti, F.; Papa, J. C.; Vernizzi, A. (1999). Ajuste del diagnóstico del estado nutricional del cultivo de trigo estableciendo una concentración crítica de nitratos. En: Para Mejorar la Producción. Trigo. Campaña 1999/00. EEA Oliveros INTA
- Díaz-Zorita, M. (2000). Efecto de dos momentos de aplicación de urea sobre la producción de grano de trigo en Drabble (Buenos Aires, Argentina). *Ciencia del Suelo.* 18: 125-131.
- Echeverría, H. E.; Strada, R. A.; Studdert, G. A. (2000). Métodos rápidos de análisis de plantas para evaluar la nutrición nitrogenada del cultivo de trigo. *Ciencia del Suelo.* 18: 105-114.
- Echeverría, H. E. 1985. Factores que alteran la concentración de nitratos en plantas de trigo. *Ciencia del Suelo* 3: 115-123.
- Falotico, J. L.; Studdert, G. A.; Echeverría H. E. (1999). Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional en condiciones de agricultura continua. *Ciencia del Suelo* 17: 15-27.
- Gonzalez Montaner, J. L.; Maddoni, G. A.; Di Nápoli, M. R. (1997). Modeling grain yield and grain yield response to nitrogen in spring wheat crops in the Argentinean Southern Pampa. *Field Crop Research* 51: 241-252.
- Strada R. A.; Echeverría H. E.; Studdert G. A. (2000). Diagnóstico de la respuesta a la fertilización nitrogenada por medio de la concentración de nitratos en seudotallos de trigo. *Ciencia del Suelo.* 18: 64-68.
- Viglezzi A.; Studdert G. A.; Echeverría H. E. (1996b). Nitratos en seudotallos de trigo como indicador de la disponibilidad de nitrógeno. *Ciencia del Suelo* 14: 57-62.