

FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO DE REQUERIMIENTO DE NITRÓGENO EN TRIGO

H. Echeverría, P. Barbieri, H. Sainz Rozas y F. Covacevich
Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce
hecheverr@balcarce.inta.gov.ar

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 materia orgánica (MO), y por consiguiente, 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 para maximizar el rendimiento, se basa en la medición del contenido de nitratos en el suelo (0-60 cm) al momento de la siembra (Gonzalez Montaner et al., 1997). Bajo siembra directa y con antecesor soja, se ha determinado una dosis óptima de 150-X (siendo X la cantidad de N en el suelo hasta los 60 cm a la siembra en kg N/ha), para variedades tradicionales, y de 170-X para una variedad de germoplasma de origen francés (Calviño et al., 2002). Sin embargo, en dicho trabajo la aplicación de N se realizó cuando el cultivo se encontraba con tres hojas desarrolladas, 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 en los primeros estadios de desarrollo del cultivo (Calviño y Sadras, 2002) siendo más frecuente que las mismas puedan ocurrir desde mediados a fin del 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 la desnitrificación, los 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 con fines de diagnóstico de requerimiento de N, en estadios más avanzados del cultivo, es la determinación de la concentración de nitratos (N-NO_3^-) en la base de los seudotallos (Viglezzi et al., 1996; Strada et al., 2000). El análisis del contenido de nitratos tiene las ventajas de requerir menos tiempo y esfuerzo para la obtención de las muestras y de 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 ápice en 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 g $\text{N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ para rendimientos máximos de 5700 (Viglezzi et al., 1996) y de 7,9 g $\text{N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ para rendimientos máximos de 5900 kg ha^{-1} (Strada et al., 2000).

Si bien estos resultados fueron obtenidos bajo diferentes manejos (variedades, fechas de siembra y antecesores), la diferencia en los valores de umbral de respuesta

plantea dudas a la hora de implementar en la práctica esta metodología con fines de diagnóstico de requerimiento de N. Iversen et al. (1985), reportaron que la concentración de nitratos en la base de los tallos de maíz no fue un buen estimador de la disponibilidad de N para el cultivo, cuando dicha metodología de diagnóstico se estudio para diferentes condiciones de manejo, sitios y años.

En base a estos antecedentes y para cultivos de trigo realizados en la zona periserrana del sudeste bonaerense, se plantean como objetivos: a) determinar la magnitud de la respuesta del cultivo de trigo a la aplicación de N a la siembra o al macollaje, b) validar la metodología de diagnóstico basada en la determinación del contenido de nitratos en el suelo a la siembra y al macollaje, y c) establecer la relación entre el rendimiento relativo en grano de trigo con la concentración de nitratos en los seudotallos al estadio de macollaje.

Materiales y Métodos

Durante dos campañas se condujeron ensayos de fertilización sobre suelos Argiudoles, en las localidades de Otamendi, Balcarce y Tandil, las que son representativas de la zona periserrana del sudeste bonaerense (Tabla 1). En la segunda campaña se perdió el ensayo realizado en Balcarce. En cada sitio se realizaron dos ensayos, uno con el cultivar de tipo tradicional Buck Sureño (BS) y otro con el cultivar de germoplasma francés Baguette 10 (B10). El diseño experimental utilizado fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones y los tratamientos fueron cuatro dosis de N: testigo, 100, 150 y 200 kg N/ha. El fertilizante a aplicar a la siembra o al macollaje se calculó como la dosis mencionada menos el contenido de N-NO_3^- (kg/ha) en el suelo determinado en presiembra (0-60 cm de profundidad). Se emplearon las técnicas usuales de los productores de cada sitio, los ensayos se condujeron sin deficiencias de P. Se realizó un adecuado control de malezas y se efectuaron aplicaciones preventivas de fungicida.

Durante el macollaje (estadio fenológico de doble arruga), se efectuó un muestreo de suelo para determinar el contenido de nitratos (0-60 cm), y se tomaron 25 seudotallos de cada parcela de BS. El muestreo de plantas se realizó antes de las 10 horas y en el campo se seccionaron las raíces y las láminas de las hojas, a fin de minimizar cambios en la concentración de nitrato. 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 cosechó 1 m² de cada parcela y se determinó el rendimiento del cultivo a 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.

Características de las campañas

Se presentan como modelo a las características climáticas registradas en la localidad de Balcarce, las que son representativas de las tres localidades. La temperatura media del aire durante el ciclo del cultivo de trigo en la campaña 2002, fue superior al promedio histórico y al correspondiente a la campaña 2003 en 0,1 y 0,4 °C, respectivamente (Tabla 2). La mayor diferencia se determinó en el periodo de finalización del ciclo del cultivo ya que durante octubre, noviembre y diciembre, dicha diferencia fue de 0,8 y 1,3 °C, respectivamente.

En general, la radiación incidente en la campaña 2002 fue inferior a la histórica durante los períodos vegetativos y hasta mediados del mes de septiembre, y posteriormente igualó o superó los valores históricos en los períodos posteriores (datos no mostrados). Sin embargo, se registraron algunas caídas en la radiación particularmente a mediados del mes de noviembre respecto del promedio histórico. La radiación incidente de la campaña 2003 osciló con valores superiores e inferiores a los históricos durante todo el ciclo, sin diferencias de importancia.

Las precipitaciones registradas en Balcarce en el período junio-diciembre 2002 superaron holgadamente los promedios históricos para dicho período. Se registraron precipitaciones acumuladas de 714 mm, las que fueron particularmente abundantes en los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre. Considerando que los requerimientos hídricos del cultivo de trigo son de aproximadamente 380-400 mm, la disponibilidad de agua no habría limitado el crecimiento y rendimiento del cultivo y se produjeron excesos hídricos de relevancia. Esta situación se vería agravada por la elevada disponibilidad hídrica en el perfil del suelo a la siembra del trigo. Durante la campaña agrícola 2003, las precipitaciones registradas fueron superiores a la media histórica, aunque inferiores a las de la campaña previa ya que se registraron 618 mm (Tabla 2).

Tabla 1. Algunas características relevantes de los sitios evaluados

| | Otamendi 2002 | Tandil 2002 | Balcarce 2002 | Otamendi 2003 | Tandil 2003 |
|--|------------------|----------------|--------------------|------------------|----------------|
| P disponible (kg ha⁻¹) | 19,7 | 20,3 | 14,3 | 19,7 | 25,9 |
| Materia orgánica (%) | 5,1 | 5,3 | 5,7 | 6,3 | 5,8 |
| pH | 6,2 | 6,0 | 6,0 | 6,2 | 6,0 |
| C.E. (ds⁻¹ m) | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| N disponible 0-60 cm (kg ha⁻¹) | 19,8 | 9,1 | 24,5 | 24,3 | 35,3 |
| Sistema de labranza | Convencional | Convencional | Siembra directa | Convencional | Convencional |
| Cultivo antecesor | Girasol | Maíz | Soja | Girasol | Maíz |
| Fecha de siembra | 29 de julio | 13 de agosto | 30 de julio | 4 de agosto | 21 de julio |
| Densidad de siembra (kg ha⁻¹) | 100 | 150 | 120 | 150 | 145 |
| Aplicación de N a la siembra | 2 de agosto | 13 de agosto | 3 de agosto | 7 de agosto | 22 de julio |

| | | | | | |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| Aplicación de N al macollaje | 24 de set. | 27 de set. | 23 de set. | 2 de oct. | 1 de oct. |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|

En síntesis, el efecto de las elevadas precipitaciones sobre el desarrollo del trigo y, particularmente, sobre la disponibilidad de N, fue el rasgo distintivo de la primer campaña, mientras que las menores temperaturas al finalizar el ciclo del cultivo las de la segunda campaña. Esto último se vio reflejado claramente en el retraso en la maduración del cultivo y habría permitido prolongar el periodo de captación del N liberado por mineralización

Tabla 2. Mediana de las precipitaciones y temperaturas históricas, y precipitaciones y temperatura de la campaña 2002 y 2003 en Balcarce.

| | Período | J | J | A | S | O | N | D | Jul-Dic |
|------------------------|-----------|-----|-----|-----|------|------|------|------|---------|
| Temperatura | 2002 | 7,0 | 7,7 | 9,9 | 10,1 | 15,1 | 16,8 | 19,4 | |
| Temperatura | 2003 | 9,5 | 7,5 | 8,3 | 10,5 | 13,9 | 15,5 | 18,0 | |
| Mediana Temp. | 1983-2001 | 8,4 | 7,5 | 9,6 | 10,7 | 13,7 | 16,2 | 19,1 | |
| Precipitaciones | 2002 | 16 | 45 | 96 | 90 | 276 | 169 | 39 | 714 |
| Precipitaciones | 2003 | 61 | 69 | 49 | 54 | 108 | 142 | 136 | 618 |
| Mediana Precip. | 1983-2001 | 36 | 36 | 39 | 52 | 93 | 89 | 91 | 399 |

Para la campaña 2002 se estimó el efecto del exceso de precipitaciones sobre el lavado de nitratos en el perfil del suelo, con un modelo efectuado por el Ing. M. DiNápoli en base a las ecuaciones descriptas por Burns (1974). Cuando se fertilizó a la siembra, se estimaron pérdidas de importancia y las mismas estuvieron asociadas a la dosis de N aplicado (Figura 1). Para la campaña 2003, al producirse menores excesos hídricos durante los primeros estadios de desarrollo del trigo, el lavado de N fue de menor magnitud. Para la fertilización al macollaje las pérdidas de N por lavado fueron de menor magnitud.

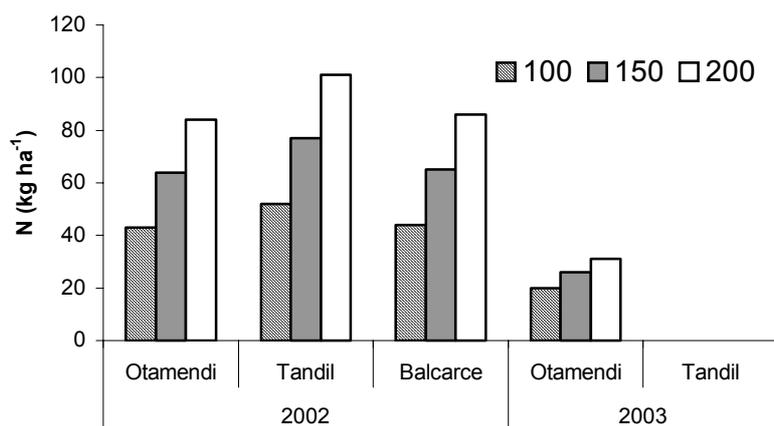


Figura 1. Pérdidas estimadas de N por lavado cuando se fertilizó a la siembra del trigo con los tratamientos 100, 150 y 200 kg N/ha, según el modelo de Burns (1994).

Si bien estos resultados son orientativos, es válido aclarar que la profundidad efectiva del perfil, el contenido inicial de agua y nitratos e inclusive los valores de las constantes físicas del suelo (densidad y retención a capacidad de campo) inciden sobre el resultado del impacto de una determinada precipitación sobre el lavado de nitratos. Más aún, la intensidad de las precipitaciones y la cobertura o rugosidad del suelo, decidirán si el agua infiltra o escurre superficialmente. De todos modos, estos resultados indican que las aplicaciones tempranas de altas dosis de N (en presiembra o a la siembra del trigo), serían más susceptibles de ser perdidas por lavado que las aplicaciones en estadios posteriores del cultivo.

Comparación del comportamiento de dos variedades de trigo

El rendimiento promedio de todos los sitios y tratamientos fue de 4604 kg/ha en la primera campaña, mientras que en la segunda fue de 6636 kg/ha, o sea un incremento del 38%. Los elevados rendimientos en la segunda campaña, serían consecuencia de las excelentes condiciones durante gran parte del ciclo del cultivo, particularmente durante el periodo crítico y el llenado de los granos. En el 2002, el rendimiento promedio de los testigos y los tratamientos fertilizados fue de 2990 y 5142 kg/ha, mientras que en el 2003 estos valores fueron de 4440 y 6652 kg/ha, respectivamente (Figura 2). La relativa constancia en la respuesta (2152 y 2221 kg/ha), sugiere mayor disponibilidad o aprovechamiento del N endógeno en la segunda campaña. Considerando que la disponibilidad de N a la siembra no fue muy diferente (promedio 18 y 30 kg N/ha para 2002 y 2003, respectivamente), estos resultados sugerirían un mayor aporte por mineralización del N orgánico del suelo y/o una mayor eficiencia de utilización del N (EUN) edáfico.

Los rendimientos obtenidos en el 2002 indican mayor capacidad productiva de B10, el que en promedio de todas las situaciones aventajó en 957 kg/ha a BS. A su vez, la fertilización al macollaje produjo mayores rendimientos que a la siembra, correspondiendo en promedio de las dosis de 100 y 150 kg N/ha, una diferencia respecto a la siembra de 414 kg/ha (8,7%). En la campaña 2003, la diferencia entre variedades fue mayor aún (1668 kg/ha), sugiriendo que la mayor duración del ciclo del cultivo favoreció más a B10 que a BS. A su vez, la fertilización al macollaje para las dosis de 100 y 150 kg N, superó en promedio a la realizada a la siembra en 343 kg/ha (5,4%), aunque esta diferencia fue no significativa (Figura 2). Esto último podría ser debido al corto periodo entre ambos momentos de fertilización y a las menores precipitaciones registradas en el 2003 luego de las aplicaciones de N a la siembra (Tabla 2).

Un comportamiento diferente al mencionado, respecto a la respuesta del trigo al momento de fertilización, se ha descrito para otras zonas trigueras de la región pampeana. Díaz Zorita (2000), en el oeste de Buenos Aires, sólo encontró respuestas a la fertilización al macollaje en un año con mayores precipitaciones en Setiembre, debido a que en los años con escasas precipitaciones durante ese mes, la absorción de N se vio afectada. Similares resultados fueron reportados por Barbagelata et al. (2001), en ensayos realizados en Paraná (Entre Ríos), bajo siembra directa.

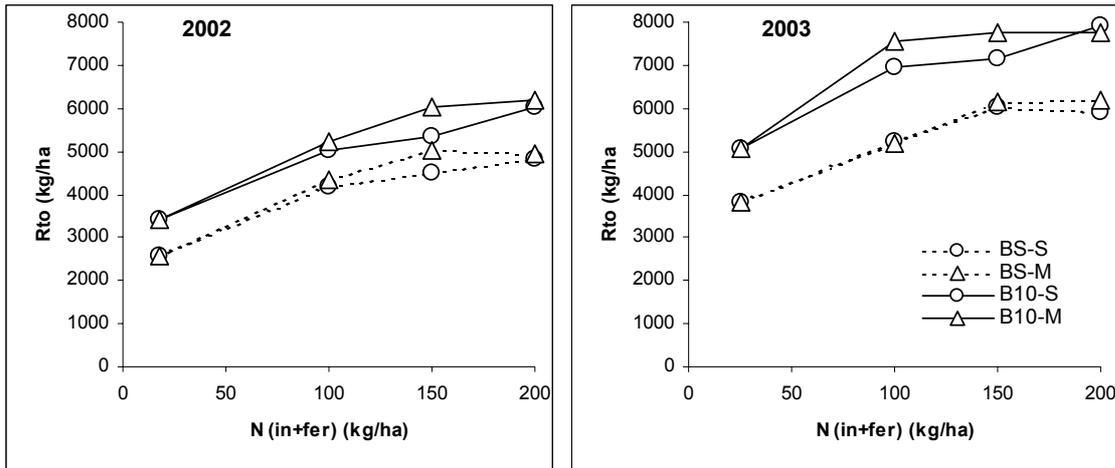


Figura 2. Rendimiento promedio de grano de trigo para tres y dos localidades en 2002 y 2003, respectivamente, en función del N disponible inicial y el aportado por fertilización N (in+fer). B10 = Baguette 10, BS = Buck Sureño, M = fertilización al macollaje y S = fertilización a la siembra.

En la primer campaña, los contenidos de proteína entre las variedades de trigo presentaron un comportamiento inverso al de rendimiento, ya que BS, en promedio de todas las situaciones, aventajó a B10 en 2,44%. La fertilización al macollaje produjo mayores contenidos de proteína que a la siembra, correspondiendo en promedio de todas las situaciones un incremento de 0,31%. En la segunda campaña, la diferencia entre variedades fue menor puesto que BS aventajó a B10 en 1,5%, mientras que entre momentos de fertilización, no se determinaron diferencias (Figura 3).

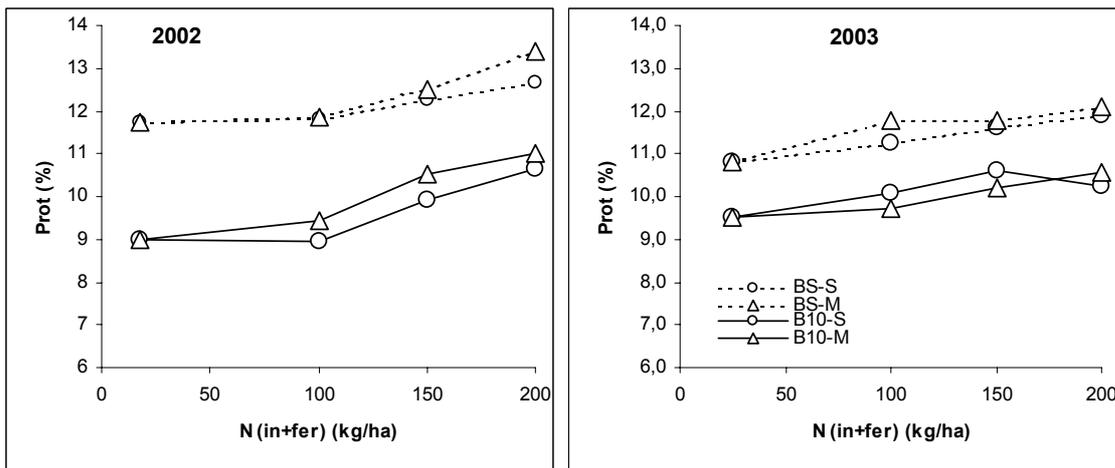


Figura 3. Concentración de proteína en grano de trigo promedio para tres y dos localidades en 2002 y 2003, respectivamente, en función del N disponible inicial y el aportado por fertilización N (in+fer). B10 = Baguette 10, BS = Buck Sureño, M = fertilización al macollaje y S = fertilización a la siembra.

En función del rendimiento y del contenido de proteína es factible estimar la cantidad de N acumulada en grano (Figura 4). En la primer campaña, por la compensación entre ambos componentes, los promedios de las diferencias entre variedades es despreciable (0,6 kg N/ha), e indicarían que ambas variedades manifestaron similar capacidad para captar el N del suelo y que lo particionarían con distinta estrategia: B10 priorizaría el rendimiento y BS el contenido de proteína. Además, es factible concluir que la aplicación de N en macollaje permitió una mayor recuperación de N, que la aplicación a la siembra (15 kg N/ha). En la segunda campaña, B10 acumuló mas N en grano (11 y 17 kg N/ha para el testigo y el promedio de los tratamientos fertilizados, respectivamente), lo que confirmaría que la prolongación del ciclo resultó en condiciones mas favorables para esta variedad. La diferencia en N acumulado por momento de aplicación fue muy pequeña (4 kg N/ha) y confirmaría que durante esta campaña, las pérdidas de N entre siembra y macollaje fueron de menor magnitud.

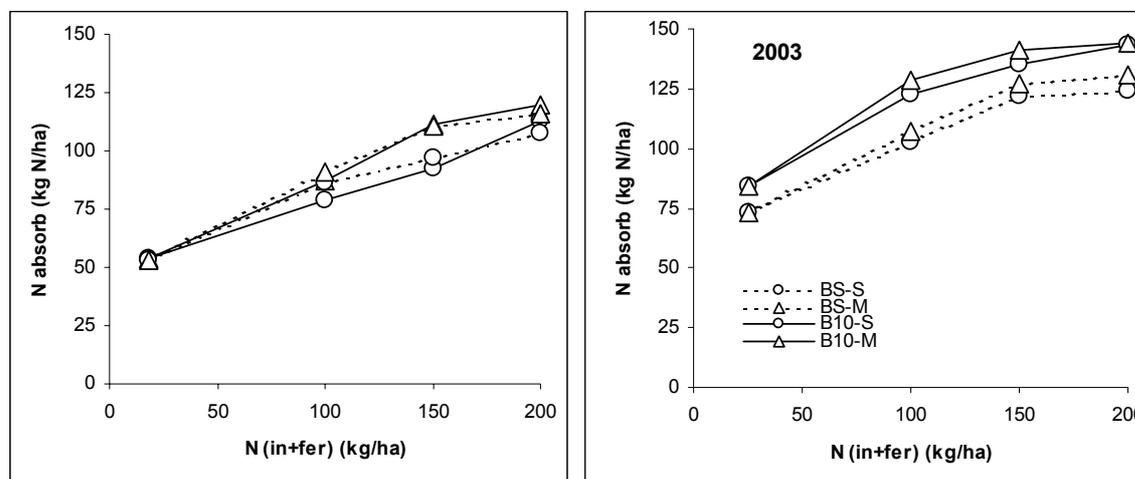


Figura 4. N absorbido en grano promedio para tres y dos localidades en 2002 y 2003, respectivamente, en función del N disponible inicial y el aportado por fertilización N (in+fer). B10 = Baguette 10, BS = Buck Sureño, M = fertilización al macollaje y S = fertilización a la siembra.

El N absorbido por el testigo de cada año, permitiría estimar el aporte por mineralización del suelo, asumiendo iguales pérdidas entre variedades. Para la primer campaña, la mineralización sería de 57 kg N/ha, para ambas variedades, mientras que para el 2003 este valor sería de 74 kg N/ha para BS y de 90 kg N/ha para B10. Estos resultados confirman las mejores condiciones de la campaña 2003 respecto a 2002 y que B10 aprovechó mejor el N mineralizado.

El incremento de rendimiento en grano por la adición de N permite estimar la EUN para las dosis y momento de aplicación del fertilizante nitrogenado (Figura 5). La EUN disminuye con la dosis de N para ambas campañas, pero fue mayor en la segunda que en la primera y particularmente para B10 cuando se fertilizó al macollaje. De todos modos, es de destacar que en todas las situaciones, los valores de EUN fueron muy elevados y aun para las mayores dosis se cubrirían con creces los costos de la fertilización. Las muy favorables condiciones de estas campañas y particularmente la del 2003 justificarían estos resultados.

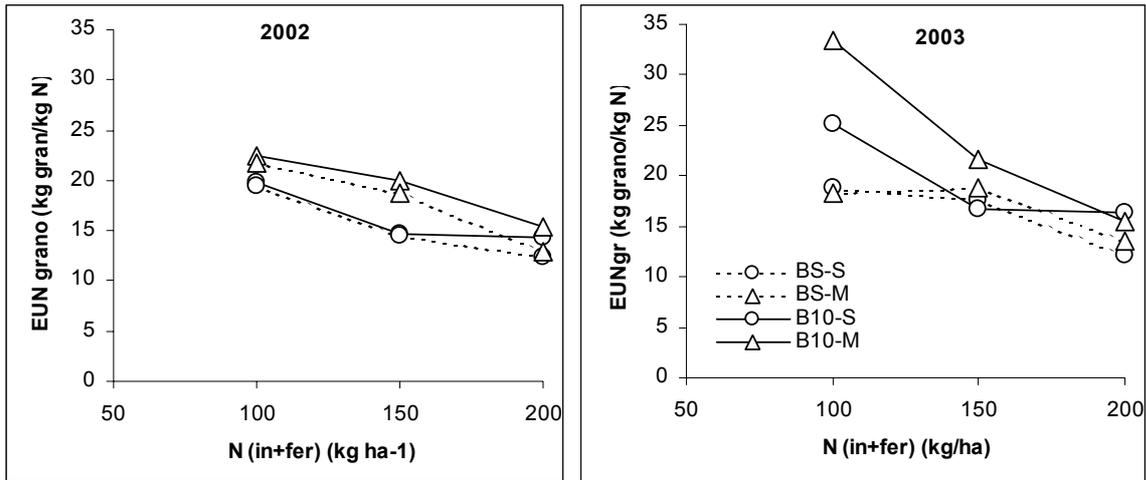


Figura 5. Eficiencia de utilización del N (EUN) del fertilizante. Kg de grano producido por kg de N aplicado promedio para tres y dos localidades en 2002 y 2003, respectivamente, en función del N disponible inicial y el aportado por fertilización N(in+fer). B10 = Baguette 10, BS = Buck Sureño, M = fertilización al macollaje y S = fertilización a la siembra.

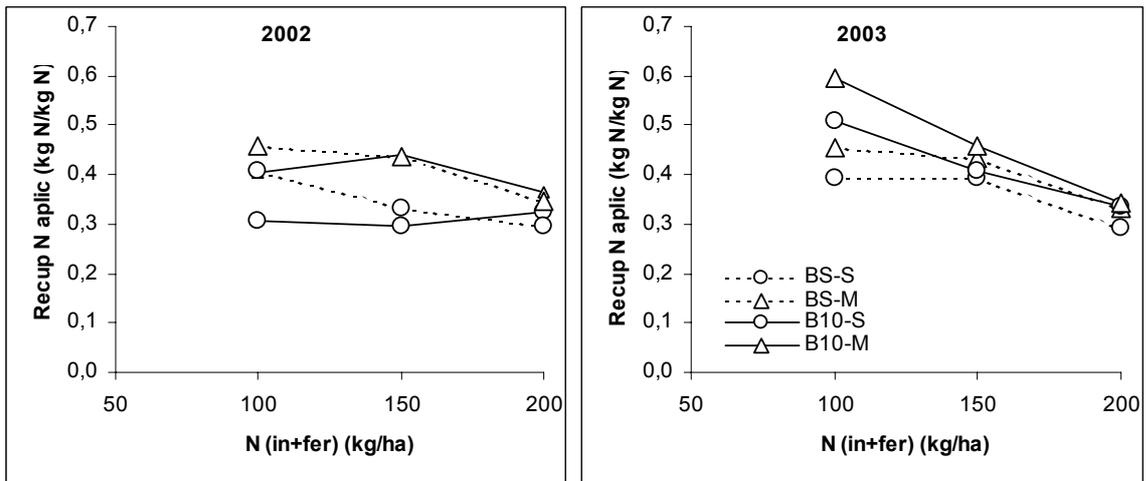


Figura 6: Recuperación del N aplicado en grano promedio para tres y dos localidades en 2002 y 2003, respectivamente, en función del N disponible inicial y el aportado por fertilización N (in+fer). B10 = Baguette 10, BS = Buck Sureño, M = fertilización al macollaje y S = fertilización a la siembra.

La recuperación en el grano del N aplicado por fertilización (Figura 6), fue 8% superior para las aplicaciones al macollaje en la primer campaña y del 5% en la segunda, respecto a las aplicaciones a la siembra. Estos resultados son otra evidencia que confirmaría la ocurrencia de mayores pérdidas de N entre siembra y macollaje en el 2002 que en el 2003. Para ambos años, las diferencias entre las variedades fueron de menor magnitud.

Métodos de diagnóstico de requerimiento de nitrógeno

Cuando se relacionó el contenido de N disponible a la siembra más el aportado por fertilización 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 (Figura 6, izquierda), lo que concuerda con lo comentado respecto a las mayores pérdidas de N luego de la siembra en la campaña 2002. Cuando se relacionó el N disponible determinado al macollaje más el aportado por fertilización, las diferencias fueron menores entre años y solo B 10 en el 2003 manifestó mayor RR (Figura 6, derecha).

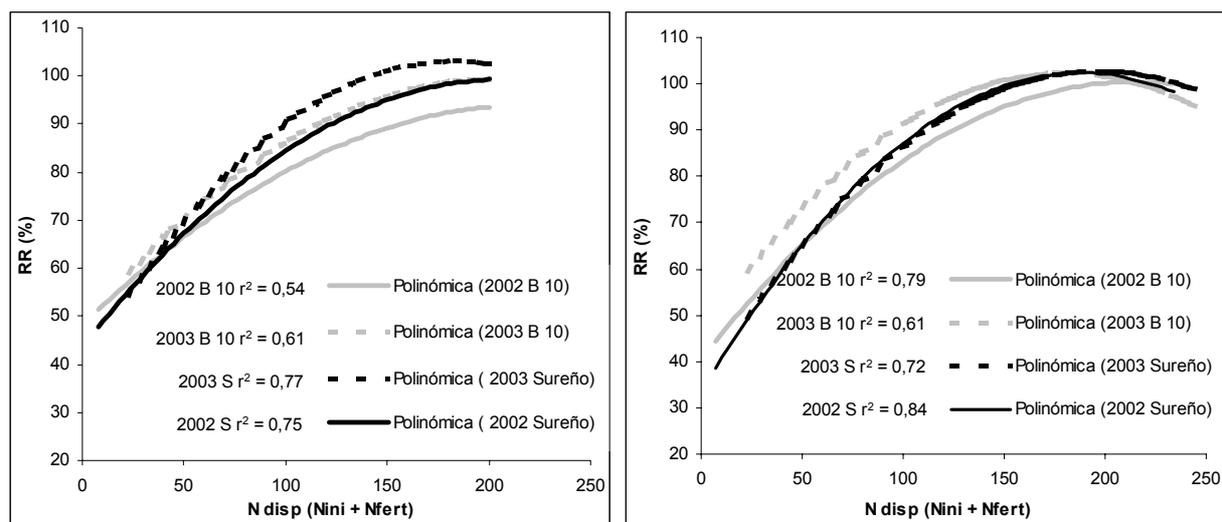


Figura 6: Relación del rendimiento relativo (RR) con el N disponible y el aportado por fertilización N (in+fer) en el suelo a la siembra (izquierda) y al macollaje (derecha), en las campañas 2002 y 2003 para Baguette 10 (B 10) y B Sureño (BS).

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 primera campaña, se determinaron umbrales de 210 y 150 kg N/ha para B10 y BS, respectivamente, mientras que para la segunda campaña los umbrales fueron de 140 y 115 kg N ha⁻¹ para B10 y BS, respectivamente (Figura 6). 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 primera campaña (Figura 6). 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 para B10 y BS, respectivamente, y para el 2003 de 115 y 127,5 kg N/ha para B10 y BS, respectivamente (Figura 6). 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 6). 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 en base a la determinación de nitratos en el suelo al macollaje, es necesario destacar que los bajos valores del 2003 serían consecuencia de las muy favorables características meteorológicas, y 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 los 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 7). 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 muestran un comportamiento inverso, es decir, para la campaña 2002 en la cual se determinaron rendimientos máximos de 5300 kg/ha el umbral fue de 7,5 g $N-NO_3^- kg^{-1}$ y en la campaña 2003 cuando el rendimiento máximo fue de 6200 kg/ha, el umbral fue de 3,8 g $N-NO_3^- kg^{-1}$. 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 requerimiento de N en trigo. Esto puede ser debido a que en el estadio de doble arruga, aun no se determinan los componentes del rendimiento del cultivo y al efecto de las condiciones ambientales previo a la toma de la muestra (radiación, temperatura y humedad de suelo) sobre la concentración de nitratos en planta.

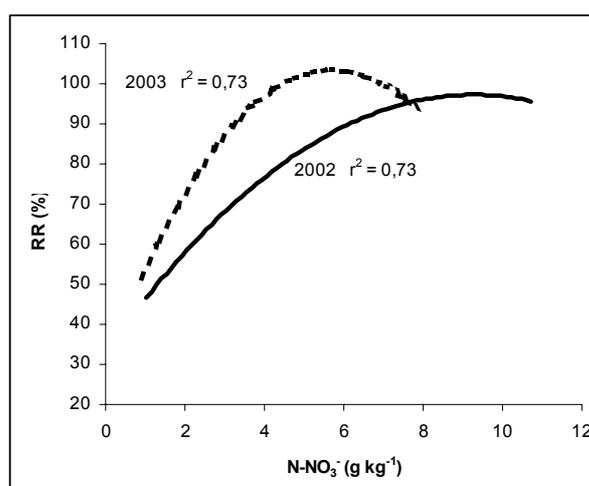


Figura 7: Relación del rendimiento relativo (RR) con la concentración de nitratos en seudotallos al macollaje, en las campañas 2002 y 2003 para B Sureño.

Consideraciones finales

La primer campaña agrícola (2002), se caracterizó por excesivas precipitaciones las que favorecieron las pérdidas de N por lavado, especialmente cuando se realizaron aplicaciones a la siembra del cultivo. La variedad B10, se destacó por su elevado potencial de rendimiento y pobres características respecto a la calidad de los granos. La variedad BS manifestó menores techos productivos pero con mayor contenido de proteína. No se determinaron diferencias entre las variedades en la capacidad para utilizar el N disponible, sino más bien con la partición del N absorbido.

En la segunda campaña (2003), no se registraron pérdidas de nitratos relevantes en el período siembra-macollaje, lo que permitió mejorar la oferta de N desde el suelo. Además, las menores temperaturas alargaron el ciclo del cultivo y permitieron captar más N por mineralización, particularmente por la variedad B 10, la que confirmó y amplió la mayor capacidad productiva respecto a BS. Esta última confirmó su mayor capacidad para acumular proteínas.

En la primer campaña se determinó que el momento de aplicación de N condicionó la disponibilidad para el cultivo, las aplicaciones de N en macollaje permitió una mayor recuperación de N en grano, que a la siembra del trigo. Esto no se produjo en la segunda campaña.

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 nitratos 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 de requerimiento de N es de dudosa aplicabilidad debido a la poca consistencia de los umbrales determinados.

Bibliografía

- BARBAGELATA, P.A.; PAPANOTTI O.F. y 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. y 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. y SADRAS V. O. 2002. On-farm assesment of constraints 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

- DIAZ-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. y 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. y 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. y DI NAPOLI 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.
- IVERSEN K.V.; FOX R.H. y PIEKIELEK . 1985. The relationship of nitrate concentration in young corn stalks to soil nitrogen availability and grain yields. *Agron. J.*, 77: 927-932.
- 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. y ECHEVERRÍA H. E. 1996. Nitratos en seudotallos de trigo como indicador de la disponibilidad de nitrógeno. *Ciencia del Suelo* 14: 57-62.