

¿El Nan mejora el diagnóstico de nitrógeno en trigo?

N. Reussi Calvo^{1,2}, H. Sainz Rozas², H.E. Echeverría², A. Berardo¹ y N. Diovisalvi¹

Introducción

El aporte de nitrógeno (N) por mineralización es una de las principales fuentes de N para los cultivos, particularmente en suelos con altos contenidos de materia orgánica (MO) (Echeverría y Ferrari, 1993). En general, el aporte de N por mineralización representa el 30% de la demanda de N del trigo (González Montaner et al., 1997) y 60% del maíz (Steinbach et al. 2004). La determinación del contenido de $N-NH_4^+$ producido en incubación anaeróbica (Nan) de muestras de suelo (0-20 cm) sería un indicador confiable para estimar el aporte de N por mineralización, dado que se correlaciona estrechamente con el N potencialmente mineralizable (Soon et al., 2007). Para el sudeste bonaerense, Echeverría et al. (2000) obtuvieron una estrecha correlación entre el Nan y el N potencialmente mineralizable. Además, el Nan es un indicador relativamente simple y sensible a los cambios producidos por las prácticas de manejo y sistemas de labranza (Fabrizzi et al., 2003). Es válido mencionar que el relativamente corto periodo de incubación de las muestras de suelo (7 días a 40 °C) respecto a otras metodologías representa una gran ventaja y facilita su utilización como método de rutina.

En un relevamiento de suelo realizado en la provincia de Buenos Aires, Reussi Calvo et al. (2011) determinaron niveles promedio de Nan desde 25 hasta 115 mg kg⁻¹ según la zona, siendo mayores los valores promedios en el este y menores en el oeste (**Figura 1**). Esto constituye una evidencia de los diferentes potenciales de mineralización de N que poseen los suelos, los cuales deberían ser considerados al momento de ajustar la dosis de N para los cultivos (Sainz Rozas et al., 2008; Reussi Calvo et al., 2013). Es válido recordar que el potencial de mineralización de N de los suelos se ve afectado, entre otros factores, por la historia agrícola (Genovese et al., 2009), las prácticas de manejo (Studdert y Echeverría, 2006) y las condiciones climáticas (Álvarez y Steinbach, 2011).

En la actualidad, la metodología más difundida para el diagnóstico de N en trigo se basa principalmente en la determinación del contenido de N como nitratos ($N-NO_3^-$) en el suelo (0-60 cm) al momento de la siembra (Calviño et al., 2002; Barbieri et al., 2009). Para su empleo, se han propuestos distintos umbrales de disponibilidad de N (suelo+fertilizante), los cuales varían según la zona, sistema de labranza y el rendimiento objetivo del cultivo (Barbieri et al., 2009). No obstante, este tipo de modelos simplificados no contemplan de forma directa el aporte de N por mineralización. Además, en las últimas décadas, en toda la región pampeana y en el sudeste bonaerense en particular, se ha dado un proceso de intensificación

de la actividad agrícola el cual ha ocasionado una reducción en el contenido de MO de los suelos (Sainz Rozas et al., 2011). A su vez, la implementación de sistemas de labranza conservacionistas como la siembra directa (SD) y periodos de barbecho cortos, por alta frecuencia del cultivo de soja como antecesor, afectan la capacidad de mineralización de N del suelo (Studdert y Echeverría, 2000). En tales situaciones de manejo, la concentración de $N-NO_3^-$ en el suelo a la siembra de los cultivos es generalmente baja y poco variable, lo que afectaría la precisión de modelos basados únicamente en la medición del contenido de $N-NO_3^-$, dado que no se producen las condiciones ni el tiempo necesario para que se exprese la capacidad de mineralización de N del suelo. En general entre 38 y 54% de la variación en el rendimiento del trigo es explicada por la disponibilidad de $N-NO_3^-$ (0-60 cm) al momento de la siembra (Barbieri et al., 2009).

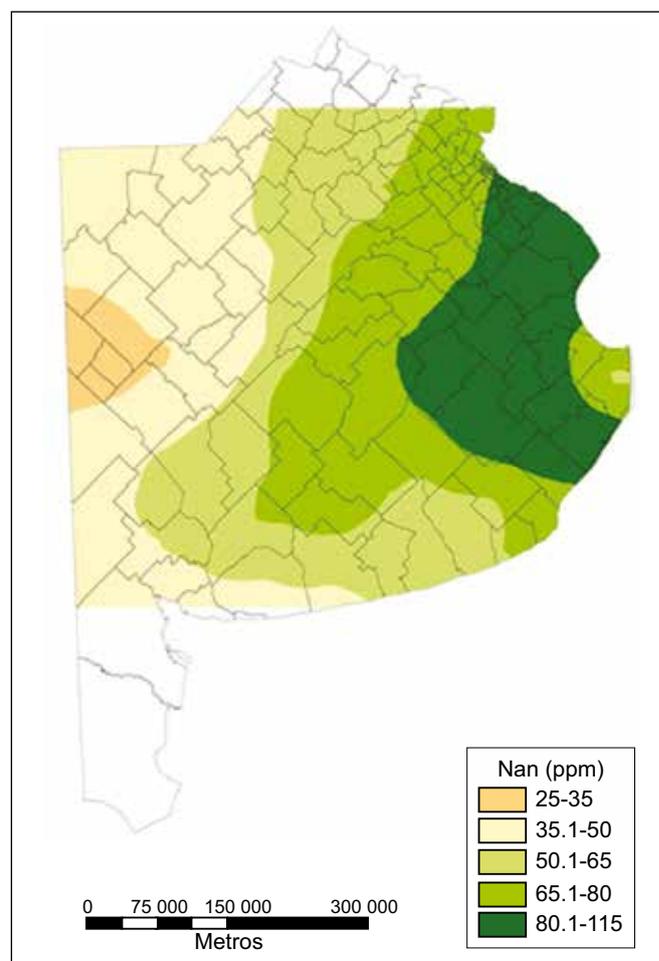


Figura 1. Niveles promedio de nitrógeno anaeróbico (Nan) en el estrato superficial (0-20 cm) de suelos agrícolas de la provincia de Buenos Aires. n = 3240 (Reussi Calvo et al., 2011).

¹ Laboratorio de suelos FERTILAB. Correo electrónico: nreussicalvo@laboratoriofertilab.com.ar

² Unidad Integrada Balcarce

Lo mencionado plantea la necesidad de contar con herramientas que permitan cuantificar el aporte de N por mineralización durante el ciclo del cultivo, lo que mejoraría la estimación del N disponible y de la dosis de N a aplicar, aumentando de esta manera la eficiencia de uso del N. Como fue mencionado, el Nan sería un indicador sensible y simple para tal fin, sin embargo, en la actualidad no existe información acerca de la utilidad del uso de un índice combinado ($N-NO_3^- + Nan$), como alternativa a la utilización del índice simple ($N-NO_3^-$), para mejorar el diagnóstico de la disponibilidad de N en el cultivo de trigo. Por lo tanto, los objetivos del presente trabajo fueron evaluar la contribución del Nan al rendimiento del cultivo de trigo, a la exportación de N en grano y a la respuesta a la fertilización nitrogenada.

Materiales y métodos

Se realizaron un total de 28 ensayos bajo SD, durante los años 2006, 2008, 2009, 2010 y 2011 en lotes con diferente historia agrícola del sur de la provincia de Buenos Aires. Los ambientes seleccionados están ubicados en las localidades de Maipú, General Madariaga, Balcarce, Miramar, Otamendi, Pieres y Lobería (**Figura 2**). Los suelos predominantes son Argiudoles típicos y Paleudoles Petrocálcicos con textura superficial franca, sub-superficial franco arcillosa y franco arenosa por debajo de los 110 cm de profundidad.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones y los tratamientos evaluados fueron con y sin aplicación de N. La dosis de N empleada fue aquella que permitió obtener la máxima repuesta, la cual varió desde 90 hasta 200 kg N ha⁻¹ según el sitio experimental (Reussi Calvo et al., 2013). Para que el fósforo (P) y el azufre (S) no fueran limitantes se aplicó a la siembra una dosis de 25 y 20 kg ha⁻¹ de P y S, respectivamente. El fertilizante nitrogenado se aplicó al voleo en el estado de dos o tres hojas del trigo bajo la forma de urea (46-0-0). A la siembra del cultivo se

realizaron muestreos de suelo en superficie (0-20 cm) para determinar el contenido de MO, pH y Nan, y en el perfil (0-20, 20-40 y 40-60 cm) para $N-NO_3^-$. El Nan se obtuvo por incubación de la muestra de suelo en anaerobiosis durante 7 días a 40 °C (**Foto 1**) (Soon et al., 2007). En la **Tabla 1** se presentan algunas características de suelo de los sitios experimentales.

A la cosecha se determinó el rendimiento y se expresó al 14% de humedad. La concentración de N total en grano se determinó por el método de combustión seca de Dumas, utilizando un analizador TruSpec CNS. Los valores de concentración de N en grano se transformaron a proteína empleando un factor de 5.7. La exportación de N en grano se determinó como el producto entre el rendimiento del cultivo con 0% de humedad y la concentración de dicho nutriente en grano.

Los efectos de los tratamientos fueron evaluados por análisis de la varianza utilizando el PROC ANOVA del programa SAS (SAS Institute, 1988). Se realizó análisis de regresión multivariada empleando el procedimiento PROC REG (SAS Institute, 1988).

Resultados y discusión

Los valores de pH de los suelos estudiados se ubicaron dentro del rango citado por Sainz Rozas et al. (2011) para suelos agrícolas de la zona. El contenido de MO varió desde 4.4 hasta 6.8%, la concentración de Nan entre 34 y 94 mg kg⁻¹ y la disponibilidad de $N-NO_3^-$ entre 39 y 130 kg N ha⁻¹ (**Tabla 1**). Estas variaciones en los niveles de MO, Nan y $N-NO_3^-$ deben atribuirse, principalmente, al efecto de las diferentes historias agrícolas y de manejo de los suelos. En un relevamiento de suelos, Sainz Rozas et al. (2011) determinaron valores medios de MO en el estrato superficial de 5.5 y 8.8% para condiciones agrícolas y prístinas, respectivamente. Los mayores niveles de $N-NO_3^-$ determinados a la siembra del trigo para la mayoría de los sitios del 2009 se explicarían en

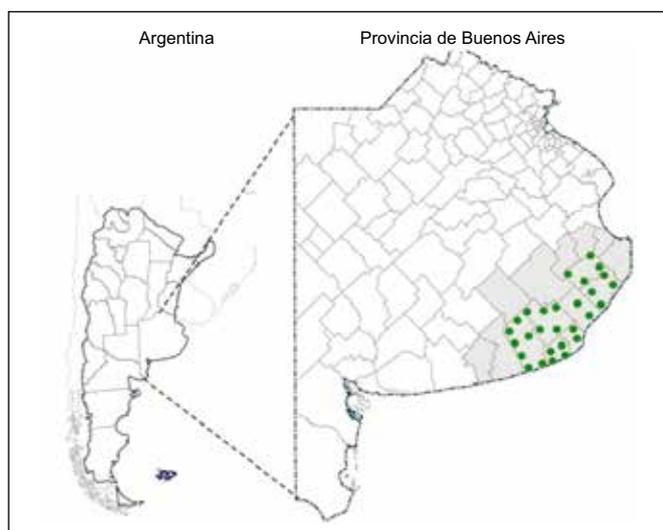


Figura 2. Ubicación de los diferentes sitios experimentales (puntos verdes).

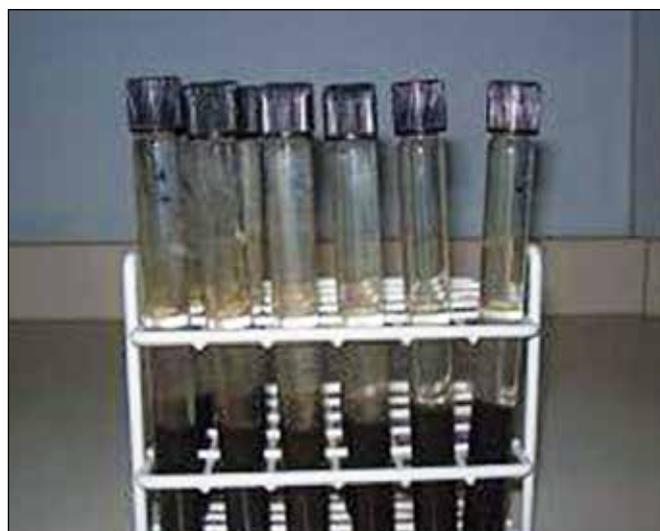


Foto 1. Tubos con muestras para determinar el Nan mediante incubación en anaerobiosis.

Tabla 1. Cultivo antecesor, años de agricultura (AA), propiedades de suelo y precipitaciones (Pp) para el periodo julio-diciembre en los diferentes sitios experimentales, materia orgánica (MO), nitrógeno anaeróbico (Nan), N-NO₃⁻ = disponibilidad de N en pre-siembra.

Año/sitio	Cultivo antecesor	AA	MO %	pH	Nan mg kg ⁻¹ 0 - 20 cm	N-NO ₃ ⁻ kg ha ⁻¹ 0 - 60 cm	Pp mm
2006-Balcarce 1	Maíz	15	5.0	5.8	58	39	314
2006-Balcarce 2	Girasol	20	4.5	5.7	45	40	327
2008-Balcarce	Girasol	15	5.9	6.2	48	75	330
2008-Otamendi 1	Soja	15	6.1	5.8	48	59	330
2008-Otamendi 2	Soja	20	6.0	6.1	48	54	310
2009-G. Madariaga 1	Soja	2	6.8	5.6	93	120	410
2009-G. Madariaga 2	Maíz	6	6.4	5.8	74	130	410
2009-Maipú	Soja	20	4.8	5.7	54	117	380
2009-Pieres 1	Soja	8	5.5	6.4	60	59	303
2009-Pieres 2	Soja	15	5.3	5.8	60	59	320
2009-Miramar 1	Girasol	10	5.9	5.9	51	91	317
2009-Miramar 2	Girasol	10	6.0	6.0	60	93	317
2009-Miramar 3	Soja	7	6.4	5.9	68	130	325
2009-Lobería	Girasol	4	5.9	6.2	68	59	344
2009-Balcarce 1	Soja	12	5.8	5.9	69	61	352
2009-Balcarce 2	Girasol	5	5.0	6.5	74	46	352
2010-Miramar 1	Soja	12	5.5	5.9	50	46	491
2010-Miramar 2	Soja	12	4.4	5.7	50	68	480
2010-Pieres	Soja	15	5.4	5.8	56	68	428
2010-Maipú 1	Soja	7	5.9	5.9	73	43	445
2010-Maipú 2	Girasol	9	4.9	5.7	61	58	445
2010-G. Madariaga	Maíz	5	6.6	5.8	73	84	360
2010-Lobería	Girasol	2	5.0	6.8	74	84	433
2010-Balcarce	Soja	15	5.0	6.1	54	62	412
2011-Miramar	Soja	10	6.5	5.6	58	81	450
2011-G. Madariaga	Soja	6	6.5	5.8	77	74	355
2011-Maipú	Girasol	6	5.6	5.9	73	78	350
2011-Lobería	Soja	2	5.0	6.3	94	47	450
Promedio		10	5.6	6.0	62	74	377
Desvío estándar		5.5	6.7	0.3	14	27.4	54.8

Tabla 2. Modelos para estimar el rendimiento del testigo (RT), la extracción de N en grano y la respuesta a N, propiedades de suelo y precipitaciones (Pp) para el periodo julio-diciembre, nitrógeno anaeróbico (Nan) (mg kg⁻¹, 0-20 cm) y N-NO₃⁻ = disponibilidad de N en pre-siembra (kg ha⁻¹, 0-60 cm).

Modelo	R ²
1) RT (kg ha ⁻¹) = 3609 + 18.8 * N-NO ₃ ⁻	0.24
2) RT (kg ha ⁻¹) = - 1555 + 80.7 * N-NO ₃ ⁻ - 0.38 * (N-NO ₃ ⁻) ² + Nan * 47.4	0.66
3) N en grano (kg ha ⁻¹) = 57.8 + 0.17 * N-NO ₃ ⁻	0.11
4) N en grano (kg ha ⁻¹) = 19.1 + 0.13 * N-NO ₃ ⁻ + 0.66 * Nan	0.58
5) Respuesta a N (kg ha ⁻¹) = - 625.7 + 7.2 * Pp - 31.4 * Nan + 0.28 * RT	0.58

parte por las bajas precipitaciones registradas durante la estación de crecimiento de los cultivos estivales en la campaña 2008 (desde 260 hasta 380 mm), lo cual habría limitado el consumo de N.

Por otra parte, la concentración de Nan se ubicó dentro de los valores reportados por otros autores (Reussi Calvo et al., 2011). Urquieta (2008) determinó contenidos de Nan promedios en suelos prístinos de 138 mg kg^{-1} , con valores máximos y mínimos de 222 y 71 mg kg^{-1} , respectivamente. Por lo tanto, los suelos empleados en este estudio poseen un amplio rango de valores de Nan y, por ende, representan situaciones con diferente potencial de mineralización de N.

El rendimiento promedio del cultivo de trigo sin fertilización fue de 3450, 4330, 5020, 5288 y 6262 kg ha^{-1} , y la respuesta promedio a N de 1296, 717, 1001, 1624 y 1559 kg ha^{-1} para el año 2006, 2008, 2009, 2010 y 2011, respectivamente (Figura 3A). En general, la disponibilidad hídrica promedio durante el ciclo del cultivo fue mayor en el año 2010 y 2011 respecto a los demás años (321, 323, 350, 440 y 401 mm para el año

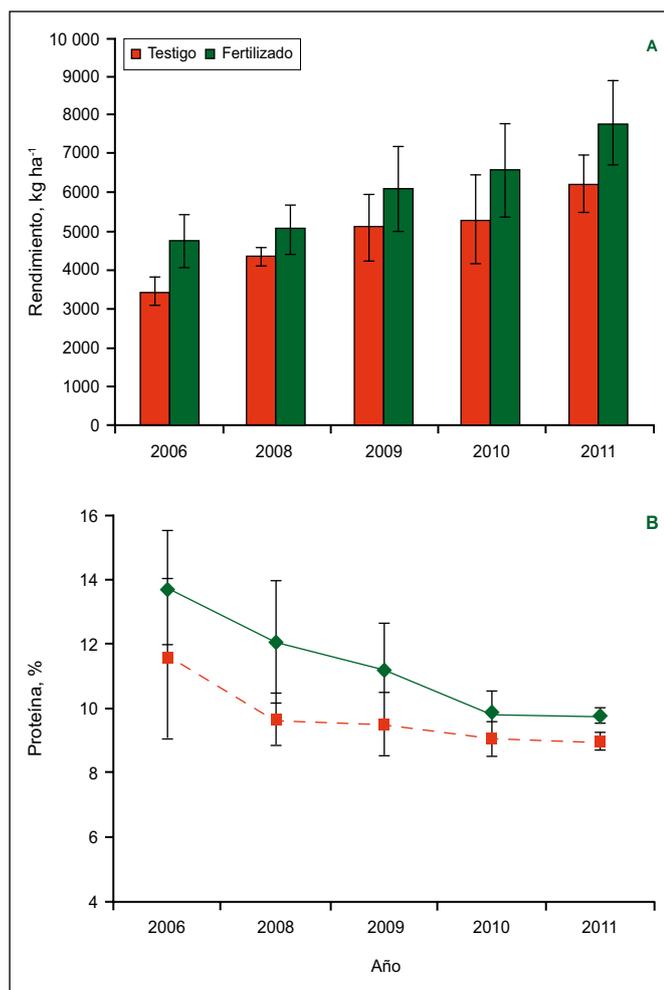


Figura 3. Rendimiento (A) y contenido de proteína promedio (B) para los tratamientos con y sin el agregado de nitrógeno. n = número de experimentos por año. La barra indica el desvío estándar del rendimiento o proteína dentro de cada año.

2006, 2008, 2009, 2010 y 2011, respectivamente), lo cual ayudaría a explicar en parte las variaciones en los rendimientos entre años. Además, es válido mencionar que la variabilidad en los rendimientos dentro de cada año muestra la diferente potencialidad de los sitios, la cual depende de la disponibilidad de agua, de N y del tipo de suelo (Figura 3A). De manera contraria al rendimiento, el contenido de proteína promedio de los testigos fue de 11.6; 9.7; 9.5; 9.1 y 9.0%, siendo la

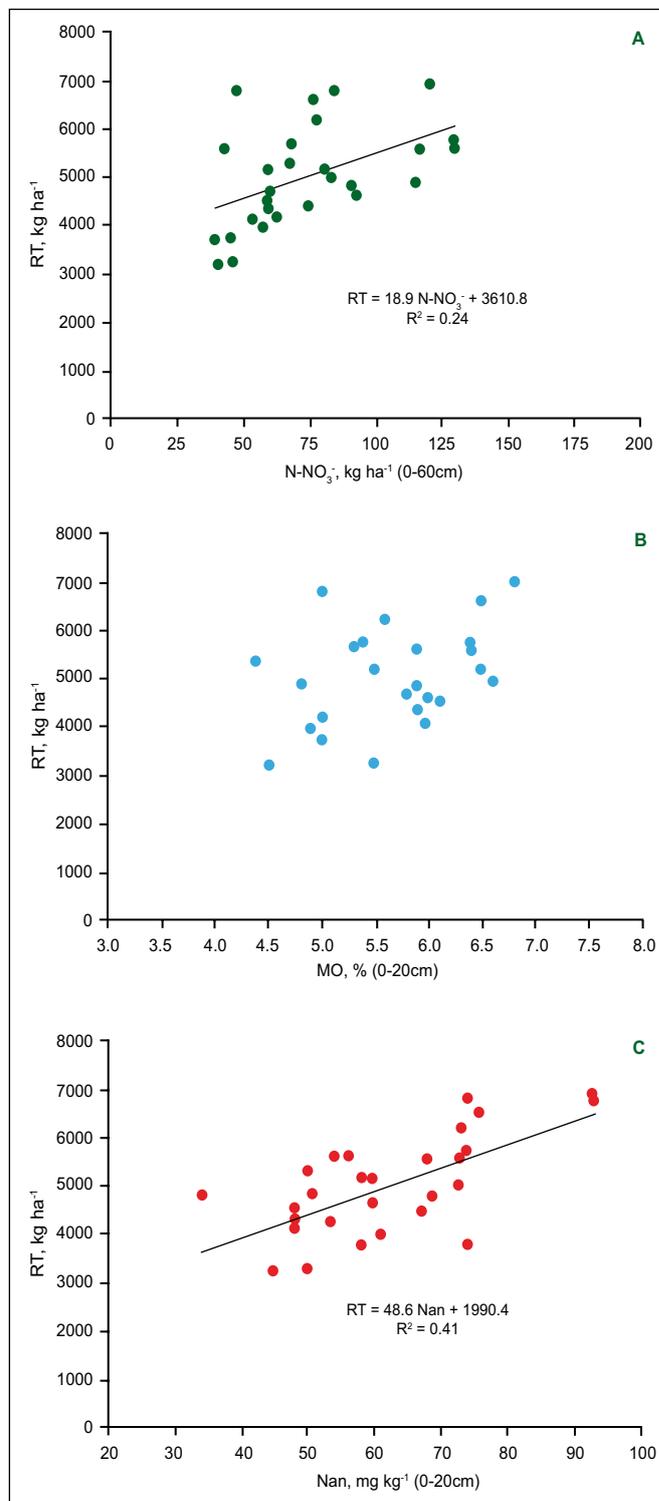


Figura 4. Relación entre el rendimiento del testigo (RT) y la disponibilidad de $N-NO_3^-$ en pre-siembr (A), el contenido de MO (B), y la concentración de Nan en suelo (C).

respuesta promedio a N de 2.5; 2.4; 1.7; 0.8 y 0.8% para el año 2006, 2008, 2009, 2010 y 2011, respectivamente (**Figura 3B**). Otros autores han observado relaciones inversas entre el rendimiento del cultivo de trigo y el contenido de proteína en grano (Fowler, 2003), situación que en general también se presenta en los sistemas productivos de la Región Pampeana.

Varios trabajos han reportado que el contenido de $N-NO_3^-$ a la siembra es un aceptable indicador de la disponibilidad de N para el cultivo (Calviño et al., 2002; Barbieri et al., 2012). Sin embargo, en la actualidad, la adopción generalizada de la SD y el incremento del cultivo de soja como antecesor de trigo generan situaciones con baja y poco variable disponibilidad de N a la siembra. Esto justificaría que solo el 24% de la variabilidad en el rendimiento del testigo (RT) fuera explicado por el contenido de $N-NO_3^-$ (**Figura 4A**) y pone de manifiesto las limitaciones del empleo de esta única variable para el diagnóstico de N en trigo (**Tabla 2, Modelo 1**). En dicha figura puede observarse algunos lotes con baja disponibilidad de $N-NO_3^-$ y elevado rendimiento, lo que está sugiriendo un aporte importante del pool de N mineralizable. El contenido de MO del suelo no contribuyó a explicar ($p > 0.05$) la estimación del rendimiento de trigo (**Figura 4B**). Otros autores también han reportado una débil asociación entre el contenido de MO y la respuesta a N en diferentes cultivos (Quiroga et al., 2006; Álvarez y Steinbach, 2006).

Por otra parte, la concentración de Nan tuvo un mayor impacto sobre el RT que el contenido de $N-NO_3^-$, ya que esta única variable explicó el 41% de la variabilidad del rendimiento (**Figura 4C**). Para maíz, Dominguez et al. (2006) determinaron estrechas asociaciones entre el rendimiento del cultivo y la concentración de Nan bajo SD y labranza convencional. Cuando en nuestra experiencia se consideraron ambas variables (disponibilidad $N-NO_3^-$ y Nan), la estimación del RT mejoró considerablemente (**Tabla 2, Modelo 2**). Por lo tanto, estos resultados indican que el contenido de $N-NO_3^-$ inicial junto con la estimación de Nan, deberían ser considerados en forma conjunta con el objetivo de cuantificar con mayor exactitud la disponibilidad de N para el cultivo. A modo de ejemplo, en la **Figura 5A** se observa para una disponibilidad de N en pre-siembra de 60 kg ha^{-1} como se incrementa el rendimiento del trigo sin fertilizante a medida que aumenta el contenido de Nan y, por ende, el aporte de N por mineralización.

Al igual que para el RT, el contenido de $N-NO_3^-$ en pre-siembra no fue un buen predictor de la exportación de N en grano (**Tabla 2, Modelo 3**). Sin embargo, cuando se incorporó el Nan como variable al modelo la estimación mejoró y pasó del 11 al 58% (**Tabla 2, Modelos 3 y 4**). Por lo tanto, la determinación del Nan ayudó a explicar en mayor medida la variación en el

contenido de N en grano que del rendimiento de trigo (51 y 41%, respectivamente; Reussi Calvo et al., 2013). Otros autores, observaron que la incorporación de la concentración de Nan al modelo de $N-NO_3^-$ contribuyó a explicar las variaciones en el contenido de proteína del grano de trigo (Urquieta, 2008). La información

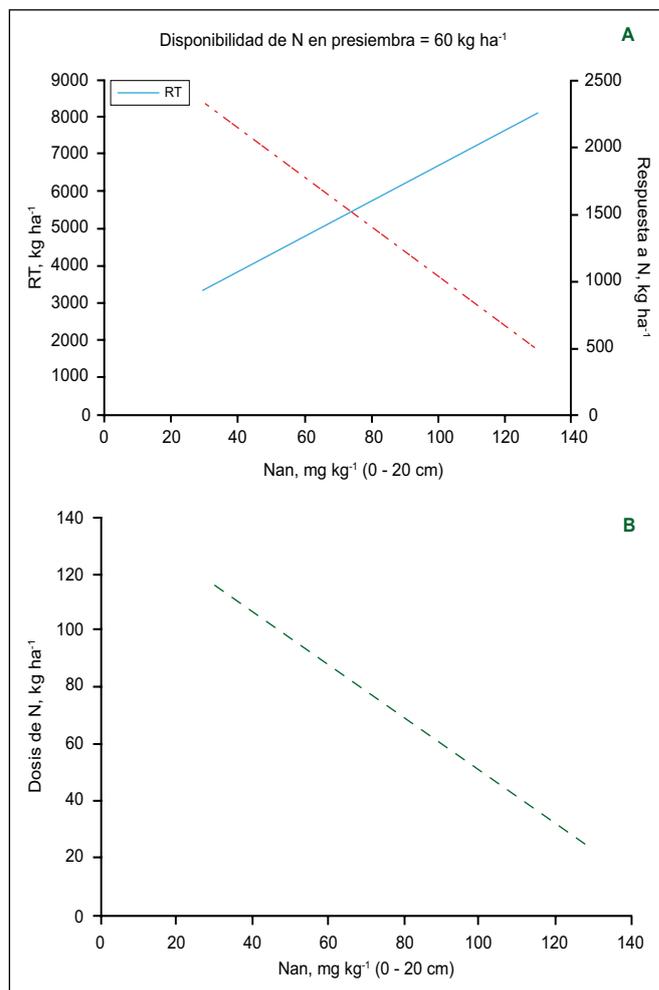


Figura 5. Relación entre la concentración de Nan en pre-siembra y el rendimiento del testigo (RT) y la respuesta a N (A); y la dosis de N (B). Información generada con los modelos 3 y 5 (Tabla 2).



Foto 2. Respuesta a nitrógeno (N) en un ambiente con bajo Nan.

EJEMPLO DE EMPLEO DE LOS MODELOS

Datos de suelo en pre-siembra:

Disponibilidad de N (0 - 60 cm) = 74 kg ha⁻¹

Concentración de Nan (0 - 20 cm) = 62 mg kg⁻¹

Suma de precipitaciones julio-diciembre = 430 mm.

A) Modelo 2: Determinación del rendimiento del trigo sin fertilizante (RT)

$$RT \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = - 1555 + 80.7 * N\text{-NO}_3^- - 0.38 * (N\text{-NO}_3^-)^2 + Nan * 47.4$$

$$RT \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = - 1555 + 80.7 * 74 - 0.38 * (74)^2 + 62 * 47.4$$

$$RT \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = 5274$$

B) Modelo 4: Determinación del N exportado en grano

$$N \text{ en grano (kg ha}^{-1}\text{)} = 19.1 + 0.13 * N\text{-NO}_3^- + 0.66 * Nan$$

$$N \text{ en grano (kg ha}^{-1}\text{)} = 19.1 + 0.13 * 74 + 0.66 * 62$$

$$N \text{ en grano (kg ha}^{-1}\text{)} = 69.64$$

C) Estimación del contenido de proteína en grano de testigos

$$\text{Proteína (\%)} = N \text{ en grano} * 100 * 5.7/RT \text{ (seco)}$$

$$\text{Proteína (\%)} = 69.64 * 100 * 5.7/(5274 * 0.86)$$

$$\text{Proteína (\%)} = 8.75$$

D) Modelo 5: Estimación de la respuesta a N

$$\text{Respuesta a N (kg ha}^{-1}\text{)} = - 625.7 + 7.2 * Pp - 31.4 * Nan + 0.28 * RT$$

$$\text{Respuesta a N (kg ha}^{-1}\text{)} = - 625.7 + 7.2 * 430 - 31.4 * 62 + 0.28 * 5274$$

$$\text{Respuesta a N (kg ha}^{-1}\text{)} = 2000$$

$$\text{Dosis de N (kg ha}^{-1}\text{)} = 100 = (2.0 \text{ Mg grano ha}^{-1} * 50 \text{ kg N Mg}^{-1})$$

Figura 6. Ejemplos de modelos aplicados para trigo que incluyen al Nan como variable.

del **Modelo 4** podría ser empleada para estimar la extracción de N en grano y luego la concentración de proteína en los testigos (**Figura 6**).

Para finalizar, se obtuvo un modelo que permitió estimar la respuesta a N en función del contenido de Nan, el total de precipitaciones durante el ciclo del cultivo y el RT (**Tabla 2, Modelo 5**). Los sitios 2008-Balcarce, 2008-Otamendi 2 y 2009-Miramar 3 no fueron considerados por presentar deficiencias hídricas; y 2009-Maipú y 2010-Maipú 2 por problemas de enfermedades. El valor negativo de Nan en el Modelo 5 indica una menor respuesta a N en situaciones con mayor disponibilidad de dicho indicador (**Figura 5A y Foto 2**). Por el contrario, el correspondiente a las precipitaciones y el RT fue positivo y, por ende, una mayor respuesta a N se obtendría en años con mayores precipitaciones y cuando el RT fue elevado. No obstante, es válido mencionar que las principales variables que afectaron la respuesta a N fueron el contenido de Nan y las precipitaciones. Por lo tanto, empleando la información del **Modelo 5 (Figura 6)**, un requerimiento de 30 kg N Mg⁻¹ y una eficiencia de recuperación de N

en planta entre 50-60 % (Velasco et al., 2012) es posible estimar con un 58% de confianza la dosis de N para el cultivo de trigo (**Figura 5B, Figura 6**).

Conclusiones

La incorporación del Nan a los modelos tradicionales de diagnóstico de N en trigo permitió mejorar la estimación del rendimiento del testigo y la exportación de N en grano, respecto de utilizar solo N-NO₃⁻ como indicador de la fertilidad nitrogenada. Con dicha información se pudo desarrollar un modelo para predecir la respuesta a N y, por ende, la dosis de N en función de la suma de las precipitaciones durante el ciclo del trigo, el rendimiento del testigo y el Nan. Este modelo debería ser validado para otras regiones productoras de trigo.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en forma conjunta entre el Laboratorio de suelos FERTILAB y el grupo de suelo del INTA Balcarce, y se agradece la colaboración de Agropecuaria Don Vicente, Mosaic Argentina, Yara Fertilizantes y Profertil S.A.

Bibliografía

- Álvarez, R., y H.S. Steinbach. 2006. Valor agronómico de la materia orgánica. En: *Materia Orgánica "Valor Agronómico y Dinámica en Suelos Pampeanos"* (ed. R. Álvarez). Editorial. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. pp. 13-29.
- Álvarez, R., y H.S. Steinbach. 2011. Modeling Apparent Nitrogen Mineralization under Field Conditions Using Regressions and Artificial Neural Networks. *Agron. J.* 103:1159-1168.
- Barbieri, P.A., H.E. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2009. Dosis óptima económica de nitrógeno en trigo según momento de fertilización en el sudeste bonaerense. *Cien. Suelo* 27:115-125.
- Barbieri, P.A., H.E. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2012. Alternatives for Nitrogen Diagnosis for Wheat with Different Yield Potentials in the Humid Pampas of Argentina. *Commun. Soil Sci. Plan.* 43:1512-1522.
- Calviño, P., H.E. Echeverría, y M. Redolatti. 2002. Diagnóstico de nitrógeno en trigo con antecesor soja bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Cien. Suelo* 20:36-42.
- Domínguez, G.F., G.A. Studdert, M.V. Cozzoli, y N.V. Diovisalvi. 2006. Relación entre el nitrógeno potencialmente mineralizable y el rendimiento de maíz. *Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy, 19 al 22 de septiembre de 2006.* En CD.
- Echeverría, H.E., y J.L. Ferrari. 1993. Relevamiento de algunas características de los suelos agrícolas del sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Boletín Técnico N° 112.* EEA INTA Balcarce, Balcarce, Buenos Aires. 18 p.
- Echeverría, H.E., N. San Martín, y R. Bergonzi. 2000. Métodos rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. *Cien. Suelo* 18:9-16.
- Fabrizzi, K.P., A. Morón, y F.O. García. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:1831-1841.
- Fowler, D.B. 2003. Crop Nitrogen Demand and Grain Protein Concentration of 10 Spring and Winter Wheat. *Agron. J.* 95:260-265.
- Genovese, F., H.E. Echeverría, G.A. Studdert, y H. Sainz Rozas. 2009. Nitrógeno de amino-azúcares en suelos: calibración y relación con el nitrógeno incubado anaeróbico. *Cien. Suelo* 27:225-236.
- Gonzalez Montaner, J.H., G.A. Maddonni, y M.R. DiNapoli. 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.
- Quiroga, A., D. Funaro, E. Noellemeyer, y N. Peinemann. 2006. Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 90:63-68.
- Reussi Calvo, N., M. Calandroni, N. Peralta, F. Cabria y A. Berardo. 2011. Niveles de nitrógeno incubado en anaerobiosis y materia orgánica en suelos agrícolas de la provincia de Buenos Aires. Primer Seminario-Taller Nacional de cartografía digital: dando los primeros pasos. 9, 10 y 11 de Noviembre. Villa Merlo, San Luis, Argentina.
- Reussi Calvo, N.I., H. Sainz Roza, H.E. Echeverría y A. Berardo. 2013. Contribution of anaerobiosis incubated nitrogen to the diagnosis of nitrogen status in spring wheat. *Agron. J.* 2: doi:10.2134/agronj2012.0287.
- Sainz Rozas, H., H.E. Echeverría, y H. Angelini. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. *Ci. Suelo* 29:29-37.
- Sainz Rozas, H., P. Calviño, H. Echeverría, M. Redolatti y P. Barbieri. 2008. Contribution of anaerobically mineralized nitrogen to reliability of planting or presidedress soil nitrogen test in maize. *Agronomy journal* 100:1020-1025.
- SAS INSTITUTE INC. 1988. SAS/STAT Users Guide. Version 6.03 Edition. Cary, NC.
- Soon, Y.K., A. Haq, y M.A. Arshad. 2007. Sensitivity of nitrogen mineralization indicators to crop and soil management. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 38:2029-2043.
- Steinbach, H.S., R. Álvarez, y C. Valente. 2004. Balance between mineralization and immobilization of nitrogen as affected by soil mineral nitrogen level. *Agrochimica* 48:204-212.
- Studdert, G.A., y H.E. Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1496-1503.
- Studdert, G.A. y H.E. Echeverría. 2006. Relación entre el cultivo antecesor y la disponibilidad de nitrógeno para el trigo en la rotación. *Cien. Suelo* 24:89-96.
- Urquieta, J.F. 2008. Nitrógeno potencialmente mineralizable anaeróbico en suelos del sudeste bonaerense y su relación con la respuesta a nitrógeno en trigo. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina.
- Velasco, J.L., H. Sainz Rozas, H. Echeverría, y P. Barbieri. 2012. Optimizing fertilizer nitrogen use efficiency by intensively managed spring wheat in humid regions: Effect of split application. *Can. J. Plant Science.* 92:1-10.★