

NITRÓGENO INCUBADO EN ANAEROBIOSIS: ¿HERRAMIENTA COMPLEMENTARIA PARA EL DIAGNÓSTICO DE NITRÓGENO EN TRIGO?

Nahuel Reussi Calvo¹, Hernán Sainz Rozas^{2,3}, Hernán Echeverría², Angel Berardo¹, y Natalia Diovisalvi¹

¹Laboratorio de suelos FERTILAB, ²Unidad Integrada Balcarce, ³CONICET

E-mail: nreussicalvo@laboratoriofertilab.com.ar

1. Introducción

La metodología más difundida para el diagnóstico de nitrógeno (N), se basa principalmente en la determinación del contenido de nitrato en el suelo (0-60 cm) al momento de la siembra (Calviño et al., 2002; Barbieri et al., 2009; Garcia et al., 2010). 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. Para el área de Balcarce, Tandil y Mar del Plata, Barbieri et al. (2009) determinaron niveles críticos de N disponible de 180 kg N ha⁻¹ para variedades francesas. Estos niveles críticos son superiores a los determinados en macollaje del cultivo (145 kg N ha⁻¹), debido a la menor eficiencia de utilización del N del suelo o el aplicado a la siembra, particularmente en años con elevadas precipitaciones, y también por el consumo inicial del cultivo.

En los últimos años, se ha producido un proceso de intensificación de la actividad agrícola en toda la región pampeana que ha ocasionado una disminución en el contenido de materia orgánica (MO) de los suelos (Alvarez & Steinbach, 2006; Sainz Rozas et al., 2011), lo que sumado a la implementación de sistemas de labranza conservacionistas como la siembra directa (SD) y períodos de barbecho cortos (por la frecuencia del antecesor soja) han provocado una disminución del aporte de N por mineralización. En tales situaciones de manejo, la concentración de N-nitrato en el suelo a la siembra de los cultivos es generalmente muy baja y poco variable. Esto afecta la precisión del método de diagnóstico de requerimiento de N dado que no se dan las condiciones y el tiempo necesario para que se exprese la capacidad de mineralización de N del suelo. Por lo tanto, el N disponible, en general solo explica entre el 38 y 54% de la variación en rendimiento del trigo (Barbieri et al., 2009).

Lo mencionado plantea la necesidad de contar con herramientas complementarias para cuantificar el aporte de N por mineralización, lo que permitiría mejorar la estimación del N disponible para el cultivo y el diagnóstico de la fertilización. La determinación del contenido de N-amonio producido en incubación anaeróbica (Nan) de muestras de suelo del estrato superficial

parecería ser un indicador confiable para tal fin, dado que se correlaciona estrechamente con el N potencialmente mineralizable (Echeverría et al., 2000). Además, el Nan es un indicador sensible a los cambios producidos por las prácticas de manejo (Fabrizzi et al., 2003). Es válido mencionar, que este método se basa en la realización de una incubación anaeróbica corta de 7 días a 40°C, con posterior determinación de N-amonio mediante destilación por arrastre de vapor (Keeney, 1982). Para el cultivo de maíz, Sainz Rozas et al. (2008), determinaron que el empleo del Nan permitió mejorar el ajuste de la dosis de N en el estadio de V₆, sin embargo, la información disponible para cultivos de invierno es escasa. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el empleo del Nan como herramienta complementaria al análisis N-nitrato en suelo a la siembra para el diagnóstico de N en trigo.

2. Materiales y Métodos

Se realizaron un total de 22 ensayos, durante los años 2006, 2008, 2009 y 2010, en lotes con diferente historia agrícola del sudeste bonaerense bajo SD. Los ambientes seleccionados están ubicados en los partidos de Maipú, General Madariaga, Balcarce, Miramar, Otamendi, Pieres, Lobería.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones y los tratamientos evaluados fueron diferentes dosis de N, las cuales variaron según el sitio experimental (desde 50 hasta 210 kg N ha⁻¹). No obstante, en este trabajo solo se presentará la información sobre el tratamiento testigo. Para que el fósforo (P) y el azufre (S) no sean limitantes se aplicó a la siembra una dosis de 25 y 20 kg ha⁻¹ de P y S, respectivamente. El tamaño de la unidad experimental fue de 30 m² (3 m de ancho por 10 m de largo). Las malezas, insectos y enfermedades fueron controlados adecuadamente empleando la tecnología de los productores de cada área.

A la siembra del cultivo se realizaron muestreos de suelo en superficie (0-20 cm) para determinar el contenido de MO y Nan, y en el perfil (0-20, 20-40 y 40-60 cm) para N-nitrato. La concentración de N-nitrato de algunas muestras se determinó por colorimetría y otras por potenciometría. Para poder estimar la disponibilidad de N (kg ha⁻¹) en los primeros 60cm de profundidad se empleó una densidad promedio de 1.2 Mg m⁻³ (Fabrizzi et al., 2005). La MO se determinó por el método Walkley y Black (Nelson & Sommers, 1996) y el Nan se obtuvo según la metodología descrita por Echeverría et al. (2000). Para algunas relaciones la concentración de Nan se transformó a kg ha⁻¹ utilizando la densidad mencionada. En la Tabla 1 se presentan algunas características de suelo de los sitios experimentales.

Tabla 1. Características de suelo y cultivo antecesor de los diferentes sitios experimentales. MO= materia orgánica.

Sitio/año	Cultivo antecesor	MO (%)	Nan (mg kg ⁻¹)	N-nitrato (kg ha ⁻¹) (0-60cm)
Balcarce 2006	Maiz	5,0	58	39
Balcarce 2006	Girasol	4,5	45	40
Balcarce 2008	Girasol	5,9	48	75
Balcarce 2009	Soja	5,8	69	61
Balcarce 2009	Girasol	5,0	73	46
Balcarce 2010	Soja	5,0	54	62
Lobería 2009	Girasol	5,9	68	59
Lobería 2010	Girasol	5,0	74	84
Madariaga 2009	Soja	6,8	80	150
Madariaga 2009	Maiz	6,4	74	130
Maipú 2009	Soja	4,8	54	117
Maipú 2010	Soja	5,9	73	43
Maipú 2010	Girasol	4,9	61	58
Miramar 2009	Girasol	5,9	51	91
Miramar 2009	Girasol	6,0	60	93
Miramar 2009	Soja	6,4	68	130
Miramar 2010	Soja	4,4	50	68
Otamendi 2008	Soja	6,1	48	59
Otamendi 2008	Soja	6,0	48	54
Pieres 2009	Girasol	5,3	60	59
Pieres 2009	Soja	5,5	55	116
Pieres 2010	Soja	5,4	56	68

A la cosecha se determinó el rendimiento del cultivo mediante el corte de plantas a nivel del suelo de 9 surcos al azar de 1m de longitud (1,8 m²) y las espigas fueron desgranadas en una trilladora estacionaria. Se midió el contenido de humedad en grano y el rendimiento se expresó al 14%.

Se realizó análisis de regresión utilizando el programa estadístico SAS (SAS Institute, 1988).

3. Resultados y discusión

El contenido de MO vario desde 4.4 hasta 6.8% mientras que la concentración de Nan y la disponibilidad de N-nitrato oscilaron entre 45 y 80 mg kg⁻¹ y entre 39 y 150 kg N ha⁻¹, respectivamente (Tabla 1). Estas variaciones en los niveles de MO, Nan y N-nitrato deben atribuirse, principalmente, al efecto de las diferentes historias agrícolas y de manejo de los suelos. Además, los elevados niveles de N-nitrato (superiores a 100 kg ha⁻¹) determinados a la siembra del trigo en el año 2009 se explicarían

Prohibida su reproducción total o parcial sin el consentimiento previo escrito del autor.

en parte por las bajas precipitaciones registrada en la región durante los cultivos estivales de la campaña 2008 (desde 260 a 380 mm), y por ende, una baja exportación del nutriente.

El rendimiento promedio del cultivo de trigo fue de 3450 ± 355 , 4330 ± 210 , 5020 ± 760 y 5288 ± 1010 kg ha⁻¹ para el año 2006, 2008, 2009 y 2010, respectivamente. 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. En la Figura 1a se presenta la relación entre el rendimiento del trigo y la disponibilidad inicial de N-nitrato a la siembra. En la misma se observa que el contenido de N-nitrato explicó el 42% de la variabilidad en el rendimiento, lo que pone de manifiesto la importancia de dicha variable para el diagnóstico de N en trigo. Varios trabajos han reportado que el contenido de N-nitrato a la siembra es un buen indicador de la disponibilidad de N para el cultivo (Calviño et al., 2002; Barbieri et al., 2009). Por otra parte, la concentración de Nan solamente explicó una menor proporción de la variabilidad en rendimiento respecto a la disponibilidad de N-nitrato a la siembra del cultivo ($r^2 = 30$ y 42 para Nan y N-nitrato, respectivamente). No obstante, la capacidad predictiva del rendimiento mejoró considerablemente cuando ambas variables fueran empleadas (Figura 1b). La disponibilidad total de N del suelo (N-nitrato+Nan) explicó el 55% de la variación en rendimiento, no obstante, es válido mencionar que existe variaciones en rendimiento entre sitios por efecto de tipo de suelo y antecesor (Echeverría et al., 1992), y entre años por las precipitaciones (Calviño & Sadras, 2002). A modo de ejemplo, cuando en la Figura 1b no se consideró un sitio con baja disponibilidad hídrica (punto rojo), la capacidad predictiva del modelo (r^2) aumento al 60%.

Estos resultados indican que el contenido de N-nitrato inicial junto con la estimación del aporte por mineralización (Nan), deberían ser considerados en forma conjunta con el objetivo de cuantificar con mayor precisión la disponibilidad de N para el cultivo. A partir de esta información es posible realizar una mejor estimación del rendimiento del cultivo sin fertilizante y de la dosis de N para un determinado rendimiento objetivo. En la Tabla 2 se presentan las dosis de N a aplicar para diferentes escenarios de disponibilidad de N-nitrato inicial y Nan, empleando el modelo de la Figura 1b y para rendimiento objetivo de 6000 kg ha⁻¹. En la misma se observa que a medida que aumenta el contenido de Nan, para una misma disponibilidad de N-nitrato, la dosis de N disminuye. Estos resultados indican que la incorporación del Nan en el modelo de diagnóstico evitaría la subestimación de la dosis de N en situaciones de bajo Nan y también la sobrestimación de la misma para contenidos de Nan medios a altos. A modo de ejemplo, las dosis de N estimadas en la Tabla 2 para niveles de Nan medios-altos (60

y 80 mg kg^{-1}), son inferiores a la determinada aplicando el modelo sugerido por Barbieri et al. (2009), quienes no consideran el Nan en el diagnóstico. Según estos autores para disponibilidades de N-nitrato a la siembra de 40 y 80 kg ha^{-1} se debería aplicar una dosis de 140 y 100 kg N ha^{-1} , respectivamente. En síntesis, la incorporación del Nan en el modelo de diagnóstico permitiría ajustar sensiblemente la dosis de N a utilizar, y por ende, mejorar la rentabilidad de la práctica de fertilización.

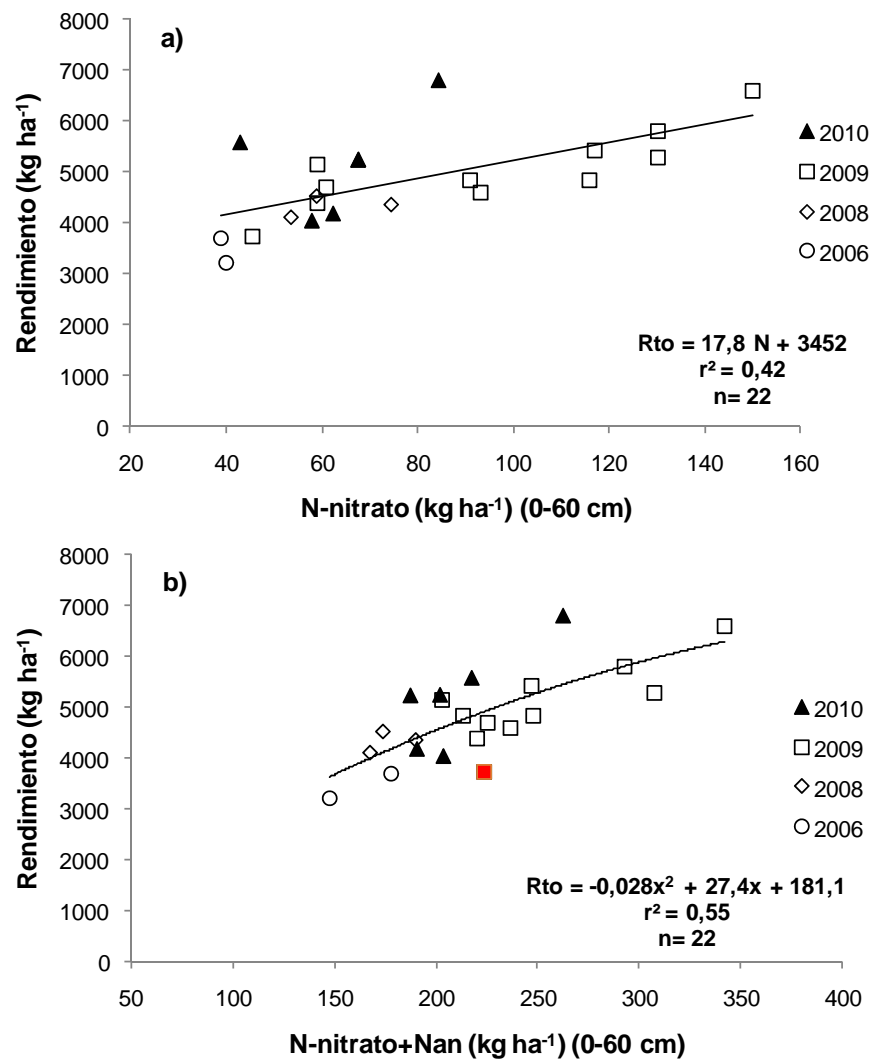


Figura 1. Relación entre el rendimiento del testigo y la disponibilidad inicial de N-nitrato (a), y la disponibilidad total de N del suelo (N-nitrato+Nan) a la siembra del cultivo de trigo (b). n= número de sitios experimentales. El punto rojo= Sitio con limitaciones hídricas (el ajuste del modelo sin dicho sitio es del 60%).

Prohibida su reproducción total o parcial sin el consentimiento previo escrito del autor.

Tabla 2. Estimación de la dosis de N a aplicar en función de la disponibilidad de N-nitrato (0-60cm) y la concentración de Nan (0-20cm) para un rendimiento objetivo de 6000 kg ha⁻¹. Rto sin N= rendimiento del lote sin fertilizar. En Nan se transformó a kg ha⁻¹ empleando una densidad de 1.2 Mg m⁻³.

¹ = N-nitrato (kg ha ⁻¹) (0-60cm)	Nan (mg kg ⁻¹)	N-nitrato+Nan (kg ha ⁻¹)	Rto sin N ¹ (kg ha ⁻¹)	Respuesta ² (kg ha ⁻¹)	Dosis de N ³ (kg ha ⁻¹)
40	45	148	3620	2380	143
40	60	184	4275	1725	104
40	80	232	5030	970	58
60	45	168	3994	2006	120
60	60	204	4600	1395	84
60	80	252	5308	692	42
80	45	188	4340	1660	100
80	60	224	4915	1085	65
80	80	272	5560	440	26
100	45	208	4670	1331	80
100	60	244	5200	800	48
100	80	292	5795	205	12

rendimiento del testigo estimado a partir de la ecuación de la Figura 1b ($Rto = -0,028x^2 + 27,4x + 181,1$).

²= rendimiento objetivo (6000 kg ha⁻¹) menos rendimiento del testigo sin N.

³= se considero un requerimiento de 30 kg N ton de grano y una eficiencia de recuperación de N del fertilizante aplicado a la siembra del 50% (o sea, para una respuesta de 1000 kg ha⁻¹ se considera una dosis de 60 kg N ha⁻¹).

4. Conclusiones

La incorporación del Nan junto a la disponibilidad inicial de N-Nitrato mejora el diagnóstico de las necesidades de N para el cultivo de trigo. Esto contribuiría a mejorar la sustentabilidad económica y ambiental de los sistemas de producción.

5. Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias a la colaboración de Agropecuaria Don Vicente, Mosaic Argentina, Yara Fertilizantes y Profertil S.A.

6. Bibliografía

- Alvarez R. y H.S. Steinbach. 2006. Efecto de la agricultura sobre el nivel de materia orgánica. In: Alvarez R (Ed). *Materia orgánica. Valores agronómicos y dinámica de suelos pampeanos. EFA, Buenos Aires, Argentina. pp: 41-53*
- 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.
- Echeverría H.E., C.A. Navarro and F.H. Andrade. 1992. Nitrogen nutrition of wheat following different crops. *J. of Agric. Sci. Cambridge* 118: 157-163.
- Barbieri P.A., H.R. Sainz Rozas and H.E. Echeverría. 2008. Time of nitrogen application affects nitrogen use efficiency of wheat in the humid pampas of Argentina. *Can J. Plant Sci.* 88: 849-857.
- 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.
- Calviño P. and V.O. Sadras. 2002. On-farm assessment of constraints to wheat yield in the south-eastern Pampas. *Field Crops Res.* 74: 1-11.
- 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.
- Fabrizzi K.P., A. Morón and 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.
- Fabrizzi K. P., F.O. García, J. L. Costa, and L.I. Picone. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Res.* 81: 57-69.
- García F., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, I. Ciampitti, A. Correndo, F. Bauschen, A. Berardo y N. Reussi Calvo. 2010. *La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros diez años 2000-2009.* 62 p.
- Keeney D.R. 1982. Nitrogen availability indices. In Page, A.L. et al. (eds) *Methods of Soil Analysis. Part 2 Agron. Monog 9 ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, EEUU. Pp: 711-733.*
- Nelson D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In *Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods*, ed. D. L. Sparks, 961-1010. Madison, WI: ASA-SSSA.
- Sainz Rozas H., P. Calviño, H. Echeverría, M. Redolatti and P. Barbieri. 2008. Contribution of anaerobically mineralized nitrogen to reliability of planting or presidedress soil nitrogen test in maize. *Agron. J.* 100:1020-1025.
- 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. *Cien. Suelo (en prensa).*
- SAS INSTITUTE INC. 1988. *SAS/STAT Users Guide. Version 6.03 Edition. Cary, NC.*