

¿EL NAN CONTRIBUYE A MEJORAR EL DIAGNÓSTICO DE NITRÓGENO EN MAÍZ?

Reussi Calvo, N^{1,2*}; Sainz Rozas, H.²; Berardo, A.¹; Echeverría, H.² y N. Diovisalvi¹

¹Laboratorio de suelos FERTILAB, ²Unidad Integrada Balcarce

* Autor de contacto: nreussicalvo@laboratoriofertilab.com.ar; Moreno 4524, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina; 0223-4724184.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es el nutriente que con mayor frecuencia limita la producción del maíz en la región pampeana Argentina, producto de los altos requerimientos y por la disminución en los contenidos de materia orgánica (MO) de los suelos (Sainz Rozas *et al.*, 2011). En la actualidad, existen diferentes metodologías para evaluar el estatus nitrogenado del cultivo, entre los que se destaca la determinación del contenido de N-nitrato en pre-siembra y en el estadio de 5-6 hojas del cultivo (Magdoff *et al.*, 1984, Echeverría & Sainz Rozas, 2005).

Para la zona centro y norte de la región pampeana se recomienda la determinación del contenido de N-nitrato en pre-siembra como método de diagnóstico de N, debido a las escasas lluvias invernales y a las mayores temperaturas en relación a la zona sur (Alvarez *et al.*, 2003). Sin embargo, en regiones húmedas y/o con menores temperaturas (sur de la región pampeana) este método de diagnóstico es poco sensible debido a las pérdidas y/o a la baja mineralización de N antes del período de mayor consumo de N por el cultivo (Sainz Rozas *et al.*, 2008). Además, en general, estas zonas se caracterizan por altos contenidos de MO, y por ende, un mayor aporte de N por mineralización, el cual no siempre puede ser evaluado con el muestreo en pre-siembra. Frente a esta situación, Sainz Rozas *et al.* (2000) proponen la determinación del contenido de N-nitrato en el estadio de 5-6 hojas en el estrato 0-30 cm como método de diagnóstico de N, siendo el nivel crítico de 17 y 27 ppm para rendimientos de 8,5 y 13,5 tn ha⁻¹, respectivamente. No obstante, esta metodología presenta la desventaja del escaso tiempo disponible entre la toma de la muestra de suelo y la fertilización, particularmente cuando se siembran grandes superficies donde es necesario adelantar el muestreo de suelo. Por lo tanto, surge la necesidad de contar con algún indicador del aporte de N por mineralización con el objetivo de mejorar la evaluación temprana de la disponibilidad de N para el cultivo. Para tal fin, la determinación del contenido de N-amonio producido en incubación anaeróbica (Nan) de muestras de suelo del estrato superficial (0-20cm) parecería ser un indicador confiable (Echeverría *et al.*, 2000). Para el cultivo de trigo, Reussi Calvo *et al.* (2013) determinaron que la incorporación del Nan al modelo de diagnóstico de N mejoró en un 41 % la explicación de la variación del rendimiento del cultivo. En el sudeste bonaerense, para maíz, Sainz Rozas *et al.* (2008) reportaron que el empleo del Nan permitió ajustar el umbral de respuesta a N en el estadio de seis hojas (V₆), sin embargo, la información es escasa en áreas de mayor potencial de rendimiento donde suele emplearse la determinación de N-nitrato a la siembra. Además, para zonas como el sudeste bonaerense no se ha determinado si la inclusión del Nan mejora la precisión del modelo de diagnóstico basado en la determinación de N-nitrato en pre-siembra. El objetivo de este trabajo fue evaluar el empleo del Nan, como herramienta complementaria a la determinación del contenido de N-nitrato a la siembra del cultivo de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron un total de 14 ensayos durante la campaña 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 y 2011 bajo siembra directa en lotes con diferente historia agrícola del sur de Santa Fé, Carmen de Patagones y en el área de Balcarce. En todos los sitios, el diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron dosis crecientes de N, desde 60 hasta 300 kg N ha⁻¹, según la potencialidad del ambiente. El fertilizante nitrogenado fue aplicado al voleo y/o

incorporado a la siembra del cultivo bajo la forma de Urea (46-0-0). Para que el fósforo (P) y el azufre (S) no sean limitantes se aplicó a la siembra una dosis de 30-40 y 20-25 kg ha⁻¹ de P y S, respectivamente.

A la siembra del cultivo se realizaron muestreos de suelo en superficie (0-20 cm) para determinar el contenido de MO, pH, P-Bray y Nan, y en el perfil (0-20, 20-40 y 40-60 cm) para N-nitrato. El valor de Nan se transformó a kg ha⁻¹ empleando un factor de 3,6 (se considero que el porcentaje que se mineraliza en cultivos de verano es aproximadamente un 50 % mayor a la de trigo). La concentración de N-NO₃⁻ se determinó por potenciometría (Keeney & Nelson, 1982), el contenido de MO por el método Walkley y Black (Nelson & Sommers, 1996), y el pH en relación 1:2,5 (suelo-agua). Además, el Nan se obtuvo según la metodología descrita por Echeverría *et al.* (2000). En la Tabla 1 se presentan algunas características de suelo de los sitios experimentales. A la cosecha se determinó el rendimiento del cultivo mediante el corte de 7.15m lineales de los dos surcos centrales de cada parcela. El rendimiento se expresó al 14 %.

Se realizó análisis de varianza utilizando el programa estadístico SAS (SAS Institute, 1988). Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas se empleó el test de la diferencia mínima significativa (LSD), con un nivel de significancia de 5 % (SAS Institute, 1988).

Tabla 1. Características del suelo a la siembra del maíz. MO= materia orgánica.

Zona ó Localidad	Sitio/año	MO (%)	pH	P Bray (ppm)	Nan (ppm)	N-nitrato (kg ha ⁻¹) (0-60cm)
Sur de Santa Fé	Teodelina/2009	3,5	5,9	7,4	41	64,6
	SG A/2009	2,3	5,5	17,3	34	64,8
	SG B/2009	2,8	5,7	29,2	42	81,6
	Rufino A/2009	2,1	5,8	11,8	31	92,6
	Rufino B/2009	2,3	5,9	7,1	40	82,1
C. Patagones	El Volcán A/2010	1,8	8,2	27,9	37	77,2
	El Volcán B/2010	2,4	7,7	15,8	44	42,3
	El Volcán C/2010	2,2	8,0	14,2	40	50,1
Balcarce	INTA/2006	4,9	5,6	16,3	71	70,8
	Silencio/2007	5,7	5,9	25,7	56	56,2
	Santa Ana/2007	5,6	5,7	12,1	53	53,1
	Santa Ana/2008	5,2	5,6	11,9	87	87,2
	INTA/2008	5,6	5,8	12,7	52	52,1
	Mechongue/2011	5,4	6,1	28,7	43	78,2

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. El contenido de MO vario desde 1,8 hasta 5,7 %, mientras que la concentración de Nan y la disponibilidad de N-nitrato oscilaron entre 31 y 87 ppm y entre 42,3 y 92,6 kg N ha⁻¹, respectivamente (Tabla 1). Estas variaciones en los niveles de MO, Nan y N-nitrato deben atribuirse al efecto de tipo y textura de los suelos y a las diferentes historias agrícolas y de manejo. En un relevamiento de suelos, Sainz Rozas *et al.* (2011) determinaron valores medios de MO en el estrato superficial de 2,6 y 5,5 % para suelos de Santa Fé y sudeste bonaerense, respectivamente. Además, similares valores de Nan han sido determinados por otros autores para las zonas bajo estudio (Reussi Calvo *et al.*, 2012 y 2013).

El rendimiento promedio del cultivo de maíz fue de 13021 y 12209 kg ha⁻¹ para los sitios de Sur de Santa Fé y Carmen de Patagones, respectivamente. La respuesta promedio a N fue de 2200 kg ha⁻¹ para el sur de Santa Fé y de 4200 kg ha⁻¹ en Carmen de Patagones, siendo la eficiencia promedio de uso del N del fertilizante (EUN) de 19 y 24 kg grano/kg N, respectivamente. A modo ilustrativo en la Foto

1 se muestra, para un sitio de Carmen de Patagones, el efecto de la fertilización con N sobre el tamaño de espiga y número de granos fijados en maíz. Para los sitios de Balcarce el rendimiento promedio fue de 10428, 9408, 7763, 9026 y 9066 kg ha⁻¹ y la respuesta promedio a N de 2650, 1500, 2800, 3250 y 1340 kg ha⁻¹ para INTA/2006, Silencio/2007, Santa Ana/2007, Santa Ana/2008 y INTA/2008, respectivamente. Para dichos sitios la EUN varió desde 9,4 hasta 19,9 kg grano/kg N.



Foto 1. Efecto de la disponibilidad de N sobre el tamaño de la espiga y número de granos de maíz (Sitio: Carmen de Patagones). De derecha a izquierda 0, 100, 200 y 300 kg N ha⁻¹.

En la Figura 1a se presenta la relación entre el rendimiento del maíz y la disponibilidad de N (suelo+fertilizante) a la siembra del cultivo. Para los ambientes del sur de Santa Fé, Carmen de Patagones y Balcarce, la disponibilidad inicial de N (suelo+fertilizante) explicó el 53, 84 y 57 % de la variación en el rendimiento del cultivo, respectivamente. Similares resultados han sido observados por otros autores en la región norte de Buenos Aires y sur de Santa Fé (Álvarez *et al.*, 2003; Garcia *et al.*, 2010) y sudeste bonaerense (Sainz Rozas *et al.*, 2008). A partir de la Figura 1a es factible estimar el requerimiento de N, siendo para disponibilidades de N de 300 kg N ha⁻¹ de 21, 22 y 29 kg N disponible Ton de grano⁻¹ para sur de Santa Fé, Carmen de Patagones y Balcarce, respectivamente. Los mayores requerimientos determinados en Balcarce se explicarían en parte por el menor potencial de rendimiento y las mayores pérdidas de N respecto a las otras áreas bajo estudio. Para dicha región, Sainz Rozas *et al.* (2004) determinaron pérdidas de hasta el 22 % por aplicaciones a la siembra del cultivo, siendo estas menores al 6 % cuando se fertilizó en 6 hojas. En general, la mayor eficiencia de uso de radiación determinada en la zona norte (Andrade *et al.*, 1996) y la mayor amplitud térmica de C. de Patagones también ayudaría a explicar los mayores rendimientos respecto a Balcarce.

Cuando se incorporó el Nan para la estimación del rendimiento del cultivo, se obtuvo una mejora en el ajuste del modelo, la cual varió según el sitio o zona experimental considerada (Figura 1b). En efecto, la disponibilidad de N del suelo (N-nitrato+N fertilizante+Nan) explicó el 60, 88 y 70 % de la variación en rendimiento en el sur de Santa Fé, Carmen de Patagones y Balcarce, respectivamente. Esto representa una mejora en el ajuste del modelo de diagnóstico de N en presiembra de un 7, 4 y 13 % (Figura 2). La mayor contribución del Nan en ambientes como Balcarce se explicarían en parte por la menor temperatura y, por ende, menor aporte de N por mineralización previo a la siembra del cultivo. Esto

sumado a los mayores contenidos de MO que caracterizan estos ambientes (Tabla 1), limitaría la capacidad predictiva de la determinación de N-nitrato en presiembra del cultivo (Figura 1a). Para el sudeste bonaerense, Calviño y Echeverría (2003) reportaron que para maíz es recomendable el empleo conjunto de la determinación de N-nitrato y Nan para identificar sitios con y sin probabilidad de respuesta a N. Por otra parte, al considerar el N aportado por mineralización, los requerimientos de N para producir una tonelada de grano fueron para disponibilidades de 300 kg N ha⁻¹ de 22, 27 y 38 kg N para sur de Santa Fé, Carmen de Patagones y Balcarce, respectivamente. Por lo tanto, para los ambientes considerados son necesarios aproximadamente 30 kg N en el sistema para producir una tonelada de grano de maíz. Para finalizar, se obtuvo una única ecuación que relaciona el rendimiento relativo del maíz con la disponibilidad de N en pre-siembra (Figura 2). A partir de esta información es posible estimar que para obtener el 95 % del rendimiento máximo es necesario una disponibilidad de N de 410 kg N ha⁻¹ en el sistema (suelo+fertilizante+Nan).

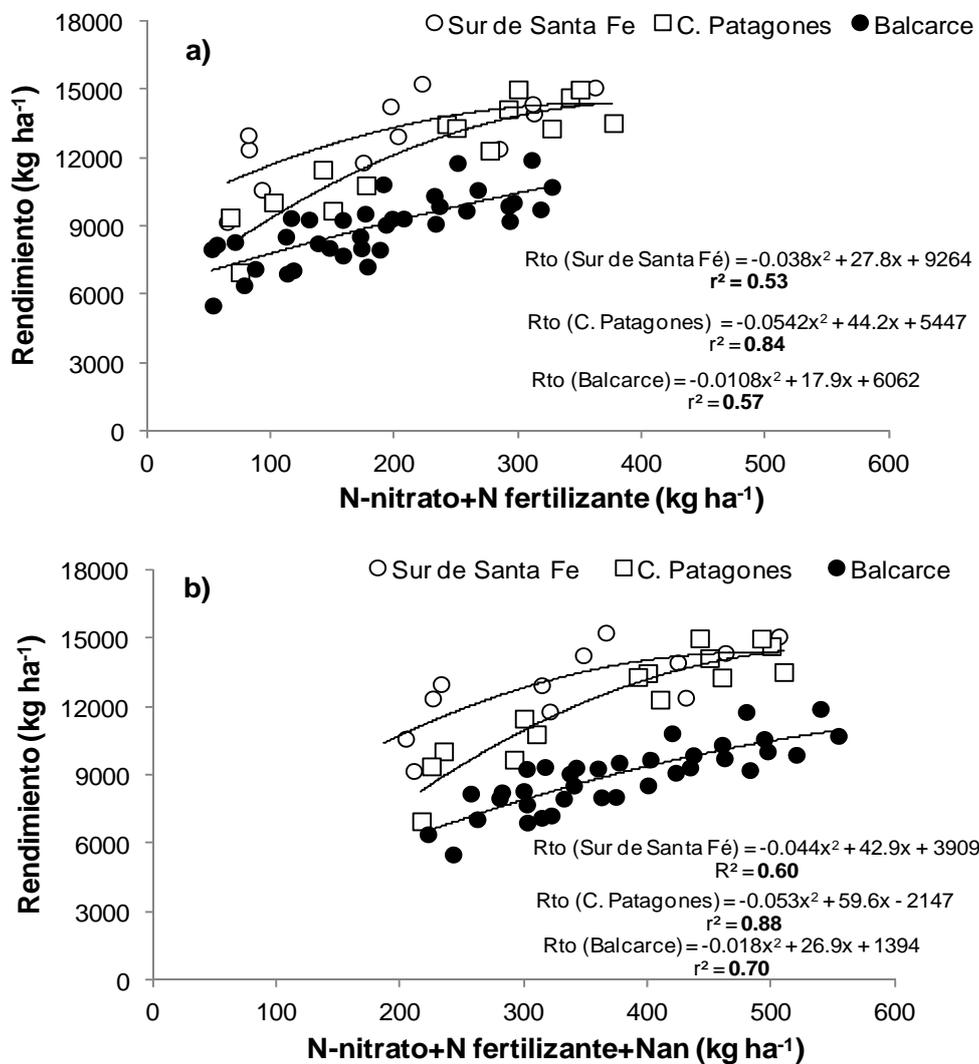


Figura 1. Relación entre el rendimiento de maíz y la disponibilidad de N-nitrato+fertilizante (a), y la disponibilidad total de N del suelo (N-nitrato+Nan+fertilizante) a la siembra (b).

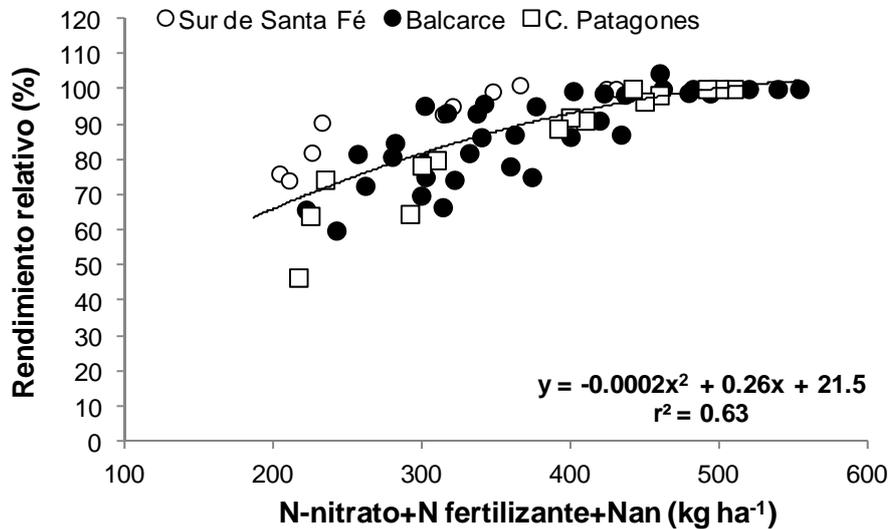


Figura 2. Relación entre el rendimiento relativo de maíz y la disponibilidad total de N del suelo (N-nitrato+Nan+fertilizante) a la siembra.

CONCLUSIÓN

La determinación del contenido de Nan junto con la de N-nitrato a la siembra del cultivo de maíz permite cuantificar con mayor precisión la disponibilidad de N para el cultivo, y por ende, mejorar el ajuste de la fertilización. No obstante, este trabajo requiere ser ampliado tanto en el área de estudio como principalmente en otras zonas productoras de maíz para mejorar el diagnóstico de la fertilización nitrogenada.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias a la colaboración de los Ingenieros Marcelo Rodríguez, Javier Del Pazo, Gastón Cubero, Guillermo Subiza y de las empresas que ellos integran.

BIBLIOGRAFÍA

- 6 Andrade, F.; A.G. Cirilo, S.A. Uhart & M.E. Otegui. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La Barrosa y Dekalb Press, 292 pp.
- Alvarez, R; HS Steinbach; C Alvarez & S. Griguera. 2003. Recomendaciones para la fertilización nitrogenada de trigo y maíz en la pampa ondulada. *Informaciones agronómicas del cono sur* 18: 14-18.
- Calviño, PA & HE Echeverría. 2003. Incubación anaeróbica de suelo como ayuda al diagnóstico de la respuesta a nitrógeno en maíz bajo siembra directa. *Ci. Suelo* 21:24-29.
- Echeverría, HE; N San Martín & R Bergonzi. 2000. Métodos rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. *Ci. Suelo* 18: 9-16.
- Echeverría, HE & H Sainz Rozas. 2005. Maíz. En: Echeverría H.E. y F.O. García (eds). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 255-282.
- García, F; M Boxler; J Minteguiaga; R Pozzi; L Firpo; I Ciampitti; A Correndo; F Bauschen; A Berardo & 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, DR & DW. Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. In: Page, A.L. et al. eds. *Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monog 9 ASA and SSSA*, Madison, WI. pp. 643-698.
- Magdoff, FR; D Ross & J. Amadon. 1984. A soil test for nitrogen availability to maize. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:1301-1304.
- Nelson, DW & LE 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.
- Reussi Calvo, N.; Berardo & N. Diovisalvi. 2012. Contribución del nitrógeno incubado en anaerobiosis al diagnóstico de nitrógeno en maíz. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo 16 al 20 de Abril, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. Actas y CD 6 pág.
- Reussi Calvo, N.I.; H. Sainz Roza; H.E. Echeverría & 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 HR, Echeverría HE & Barbieri PA. 2004. Nitrogen Balance as Affected by Application Time and Nitrogen Fertilizer Rate in Irrigated No-Tillage Maize. *Agron. J.* 96:1622-1631.
- Sainz Rozas, H; HE Echeverría & 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; H Echeverría; G Studdert & G Dominguez. 2000. Evaluation of the presidedress soil nitrogen test for no-tillage maize fertilized at planting. *Agron. J.* 92:1176-1183.
- Sainz Rozas, H; P Calviño; H Echeverría; M Redolatti & 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.