

¿Podemos mejorar el diagnóstico de nitrógeno en maíz en la Región Pampeana?

Orcellet, J.M.¹; Reussi Calvo, N.I.^{2,3*}; Echeverría, H.E.³; Sainz Rozas, H.^{3,4}; Diovisalvi, N.V.²; Berardo, A.²

¹INTA Rafaela, ²Laboratorio de suelos FERTILAB, ³Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce, ⁴CONICET

orcellet.juan@inta.gob.ar

Introducción

El nitrógeno (N) es uno de los principales factores que limita el rendimiento de maíz (*Zea mays. L*) en la Región Pampeana Argentina (RP). Por lo tanto, es necesario contar con métodos de diagnóstico de requerimiento de N precisos en pos de maximizar la eficiencia de uso de dicho nutriente. En la actualidad existen diferentes metodologías, entre las más difundidas se encuentran la determinación del contenido de N-NO₃⁻ en pre-siembra del cultivo (TNPS) y en el estadio de seis hojas desarrolladas (V₆) (Ritchie y Hanway, 1982) (TNV₆) (Sainz Rozas et al., 2008).

Para la metodología basada en el TNPS la dosis de N se define en función de la concentración de N-NO₃⁻ previo a la siembra del cultivo y los umbrales de requerimiento de N varían según zona, sistema de labranza y rendimiento objetivo (Echeverría y Sainz Rozas, 2005). Para el sudeste bonaerense (SEB) se determinó que dicha metodología explicó el 37 % de la variación del rendimiento del testigo (0N) (Sainz Rozas et al., 2008), mientras que en el norte de la RP (NRP) la capacidad predictiva varió entre el 53 y 58 % (Salvagiotti et al., 2011). No obstante, esta metodología puede sobreestimar la dosis de N en suelos con altos contenidos de materia orgánica (MO), debido a que no contemplan los aportes de N por mineralización durante el ciclo del cultivo. Frente a esta situación, y para regiones como el SEB se recomienda el TNV₆ por su mayor capacidad predictiva ($r^2= 0.56$) (Sainz Rozas et al., 2008), dado que incluiría parcialmente la capacidad de mineralización de N del suelo (Magdoff et al., 1984). Sin embargo, la principal limitante de esta metodología es el escaso tiempo entre la toma de muestra de suelo y la fertilización. Por lo tanto, la incorporación de un índice de mineralización al TNPS mejoraría la estimación de la oferta de N para el cultivo y además otorgaría ventajas prácticas al momento del diagnóstico de N.

El N incubado en anaerobiosis (Nan) (Keeney, 1982) es un índice de mineralización simple, preciso y rápido, apto para ser utilizado como método de rutina en un laboratorio de servicio. Además, se determinó que el Nan es un buen estimador del N mineralizado (N_{min}) durante el ciclo del cultivo de maíz en diferentes zonas de la RP (Orcellet, 2015). Por lo tanto, su incorporación al TNPS mejoraría la estimación de la oferta de N para el cultivo, y por ende la capacidad predictiva de dicho método. Para el cultivo de maíz y trigo (*Triticum aestivum. L*) en el SEB, se determinó que el uso de un índice combinado entre el TNPS y Nan incrementó la capacidad predictiva del rendimiento del 0N (Reussi Calvo et al., 2013, Echeverría et al 2015, Reussi Calvo et al., 2014). Sin embargo, en la actualidad no se han publicado trabajos que evalúen el empleo de un índice combinado (TNPS + Nan) como método de diagnóstico de N en maíz en ambientes con características edafo-climáticas contrastantes, tales como el SEB y el NRP. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la capacidad predictiva del TNPS combinado o no con el Nan en diversos ambientes de la RP.

Materiales y Métodos

Se realizaron 19 experimentos de fertilización en maíz en la campaña agrícola 2013-14 en diferentes ambientes de la RP, 9 en el SEB y 10 en el NRP (5 en siembras tempranas y 5 en siembras tardías). Todos los experimentos se realizaron bajo siembra directa en lotes con diferente historia agrícola. Se evaluaron cinco dosis de N, sin embargo en el presente trabajo se utilizó únicamente el tratamiento testigo (0N). El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizado con tres repeticiones. Para que el fósforo y el azufre no sean limitantes se aplicó a la siembra una dosis de 30-40 y 20-25 kg ha⁻¹, respectivamente.

Insertar Tabla 1

En pre-siembra se realizó la determinación de MO, y Nan en el estrato superficial (0-20 cm) y N-NO₃⁻ (TNPS) y humedad hasta los 60 cm de profundidad. El contenido de MO se determinó por el método propuesto por Walkley y Black (1934), y el contenido de humedad por el método gravimétrico. El Nan se determinó mediante el método de incubación anaeróbica (Bremner; Keeney, 1965) propuesto por Gianello y Bremner (1986). Se incubaron a 40 °C durante 7 días, 10 g de suelo y tamizado a 2 mm en tubos de ensayo (150 mm de alto * 16 mm de diámetro). El NH₄⁺ producido durante la incubación se determinó mediante la destilación por arrastre con vapor y se expresó en mg kg⁻¹. La concentración inicial de N-NO₃⁻ se determinó por colorimetría (Kenney; Nelson, 1982). A cosecha se evaluó el rendimiento y se expresó al 14.5 % de humedad (Tabla 1) y además se estimó el N_{min} por el método del balance (Meisinger, 1984).

Para comparar las variables edáficas, N_{min} y rendimiento entre zonas y fechas de siembra, se realizaron análisis de la varianza utilizando el procedimiento incluido en las rutinas del programa R commander (R Core Team, 2014). Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas, se empleó el test de la diferencia mínima significativa (DMS), con un nivel de probabilidad de 5 %. Además, se realizaron análisis de regresiones lineales simples empleando el procedimiento lm (lineal model). Por último, para determinar coincidencia entre modelos de regresión, se utilizaron variables indicadoras (dummy) al 0.05 de probabilidad. Los modelos fueron validados con datos extraídos de Sainz Rozas et al. (2008) para el SEB, mientras que para el NRP se utilizaron experimentos previos realizados en diferentes sitios y años (n = 12) (Reussi Calvo et al., 2013b).

Resultados y Discusión

La disponibilidad inicial promedio de N (TNPS) fue de 82, 55 y 65 kg ha⁻¹ para el SEB, maíces tempranos y tardíos del NRP, respectivamente, valores similares a los reportados por otros autores para dichas condiciones (Sainz Rozas et al., 2008; Reussi Calvo et al., 2013b; Salvagiotti et al., 2014), siendo no significativa (p > 0.05) la diferencia entre zonas y fechas de siembra. Por el contrario para el contenido de Nan se determinó diferencia significativa (p < 0.05) entre zonas, siendo el promedio de 71 mg kg⁻¹ para el SEB y 29 mg kg⁻¹ para el NRP. Para ambas zonas se determinó una débil asociación entre el Nan y el TNPS (r² = 0.27). Similares resultados han sido reportados por diferentes autores para el SEB (Sainz Rozas et al., 2008; Reussi Calvo et al., 2013). Esto podría deberse a que el contenido N-NO₃⁻ no solo depende del N mineralizable, sino también del balance entre los aportes y pérdidas de N del sistema, los que a su vez dependen de las condiciones hídricas del año y de las prácticas de manejo de suelo (Genovese et al., 2009; Divito et al., 2011). *Esto refuerza la posibilidad de que un índice combinado (TNPS + Nan) mejore la estimación de la oferta de N para el cultivo.*

Se determinaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el rendimiento del ON entre zonas y fecha de siembra, siendo el promedio de 8591, 8883 y 11 890 kg ha⁻¹ para el SEB, maíces tempranos y tardíos del NRP, respectivamente. La N_{\min} promedio para el SEB fue de 80 kg ha⁻¹, para maíces tempranos del NRP fue 77 kg ha⁻¹ y para maíces tardíos del NRP fue de 136 kg ha⁻¹, siendo significativa la diferencia entre zonas ($p < 0.05$). Los mayores valores registrados en siembras tardías se explicarían en gran parte por la mayor temperatura media y disponibilidad hídrica.

Para las diferentes zonas y fechas de siembra se determinó relación positiva ($p < 0.05$) entre el TNPS y el rendimiento del ON. En el SEB el TNPS explicó solo el 14 % de la variación del rendimiento del ON (Figura 1), no obstante, Sainz Rozas et al. (2008) utilizando rendimiento relativo del ON determinaron que la capacidad predictiva del TNPS fue del 37 %. Para maíces tempranos del NRP, el TNPS explicó el 23 % de la variación del rendimiento del ON ($p < 0.05$), sin embargo otros autores determinaron que la capacidad predictiva de dicha metodología fue entre 53 y 58 %, según la potencialidad del ambiente (Salvagiotti et al., 2011). Para las siembras tardías del NRP la capacidad predictiva del rendimiento del ON fue del 36 %. Estos resultados se explicarían en parte por la diferencia de temperatura media en el período de barbecho entre zonas y fechas de siembra. Sin embargo, la baja capacidad predictiva del TNPS en los diferentes ambientes, podría deberse en parte a que dicha metodología no contempla los aportes de N por mineralización durante el ciclo del cultivo.

Insertar Figura 1

La incorporación del Nan al TNPS contribuyó significativamente a explicar la variación del rendimiento del ON para ambas zonas y fechas de siembra (Figura 2). En el SEB el uso combinado del Nan y el TNPS incrementó la capacidad predictiva al 33 %, siendo el aporte parcial del Nan del 19 % (Figura 2), similar a lo reportado en otro trabajo (Echeverría et al., 2015). Para el NRP el modelo combinado entre el TNPS y el Nan explicó el 72 y 68 % de la variación del rendimiento ON, con un aporte parcial del Nan del 49 y 32 % para maíces tempranos y tardíos, respectivamente (Figura 2). A pesar de no existir diferencia significativa ($p > 0.05$) en N_{\min} entre el SEB y maíces tempranos del NRP, se determinó menor aporte parcial del Nan en el SEB. Sin embargo, esto se explicaría en parte por la menor disponibilidad hídrica en algunos sitios del SEB, que posiblemente haya limitado el rendimiento del ON y el aporte por mineralización de N. Además, las escasas precipitaciones en el período de barbecho (40 mm) en maíces tempranos del NRP redujeron la incidencia relativa del TNPS, cobrando mayor importancia el N mineralizado. Dentro del NRP al comparar entre fechas de siembra, se determinó menor contribución parcial del Nan al TNPS en siembras tardías lo cual se explicaría por una mayor mineralización en el período de barbecho debido a la mayor temperatura media.

Insertar Tabla 2

Dado que en el presente trabajo se evaluó un año de experimentación, se realizó la validación de los modelos propuestos para el SEB y maíces tempranos del NRP (TNPS + Nan) empleando datos independientes, generados con anterioridad (Sainz Rozas et al., 2008; Reussi Calvo et al., 2013b). Para ambas zonas se determinó estrecha asociación entre el rendimiento observado y predicho (Figura 3). Para el SEB se determinó que la pendiente no difirió de 1 ($p > 0.05$), mientras que la ordenada al origen difirió de 0 ($p < 0.05$). Por otro lado, para maíces tempranos del NRP se determinó que la ordenada al origen y la pendiente no difirieron ($p > 0.05$) de 0 y 1, respectivamente, tanto cuando se las analizaron por separado como

conjuntamente (Figura 3). Estos resultados ponen de manifiesto la bondad de los modelos obtenidos en el presente trabajo para estimar el rendimiento del cultivo de maíz sin fertilizante nitrogenado.

Insertar Figura 2

Conclusiones

La determinación del TNPS junto con el contenido de Nan permite cuantificar con mayor precisión la oferta de N para el cultivo de maíz en diferentes ambientes de la RP, y por ende incrementar la capacidad predictiva del rendimiento del 0N. Esta información es un aspecto clave al momento de definir la dosis de N en los programas de fertilización.

Agradecimientos

Este estudio se hizo posible por el apoyo financiero de Fertilab (Laboratorio de Suelos y Plantas), INTEA S.A. y del Proyecto INTA (PNSUELO-1134024).

Tabla 1. Materia orgánica (MO), test N-NO₃⁻ en pre-siembra (TNPS), nitrógeno incubado en anaerobiosis (Nan), rendimiento en grano del testigo de maíz, en los sitios del sudeste bonaerense (SEB) y del norte de la región pampeana (NRP) donde se implantó el cultivo.

SEB				
Sitio	Suelo			Planta
	MO (%)	TNPS (kg ha ⁻¹)	Nan (mg kg ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
Sitio 1	6.2	103	59	7750
Sitio 2	7.0	92	74	7704
Sitio 3	6.2	100	85	8460
Sitio 4	5.7	55	64	7378
Sitio 5	5.8	57	81	9226
Sitio 6	6.0	63	87	9854
Sitio 7	7.4	73	78	8857
Sitio 8	5.5	128	51	10 994
Sitio 9	5.9	65	63	7095
NRP				
a) Temprano				
Sitio 10	1.5	53	18	5553
Sitio 11	2.2	41	28	8459
Sitio 12	3.2	57	34	9544
Sitio 13	3.0	60	34	10 687
Sitio 14	3.1	66	33	10 170
b) Tardío				
Sitio 15	3.3	75	34	13 205
Sitio 16	2.9	62	34	12 865
Sitio 17	2.4	64	25	10 420
Sitio 18	2.6	61	21	9610
Sitio 19	3.5	64	32	13 343

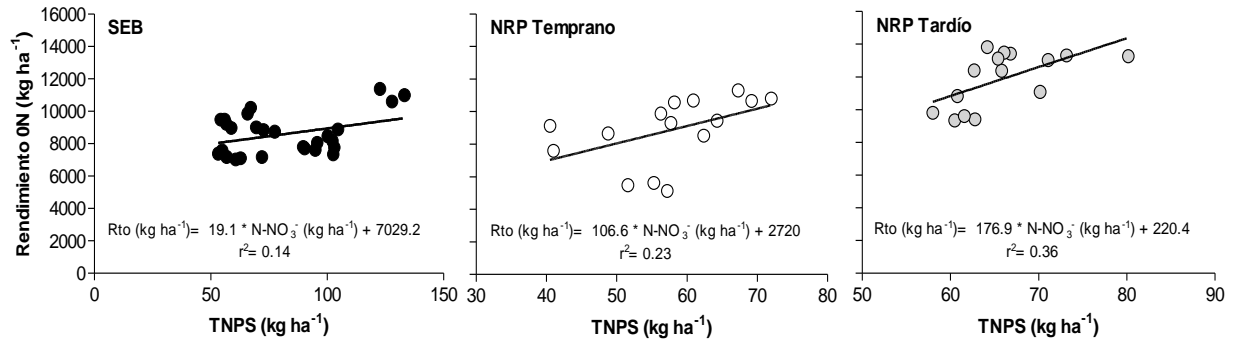


Figura 1. Rendimiento de maíz sin N (0N) en función del test $N-NO_3^{-}$ en pre-siembra (TNPS) para el sudeste bonaerense (SEB), maíz temprano (NRP Temprano) y maíz tardío del norte de la región pampeana (NRP Tardío).

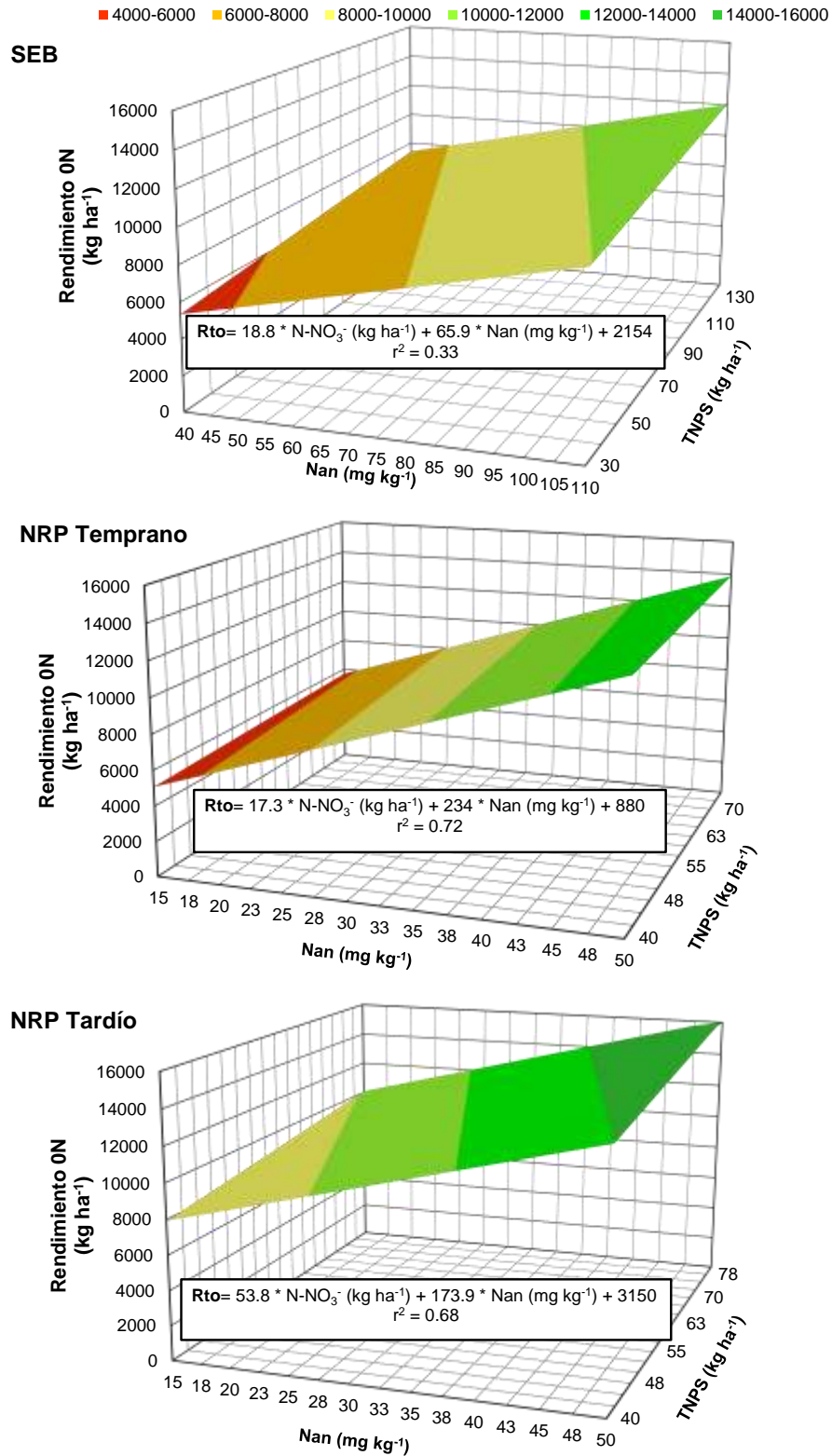


Figura 2. Rendimiento de maíz sin N (0N) en función del test $N-NO_3^-$ en pre-siembra (TNPS) y nitrógeno incubado en anaerobiosis (Nan) para el sudeste bonaerense (SEB), maíz temprano (NRP Temprano) y maíz tardío del norte de la región pampeana (NRP Tardío).

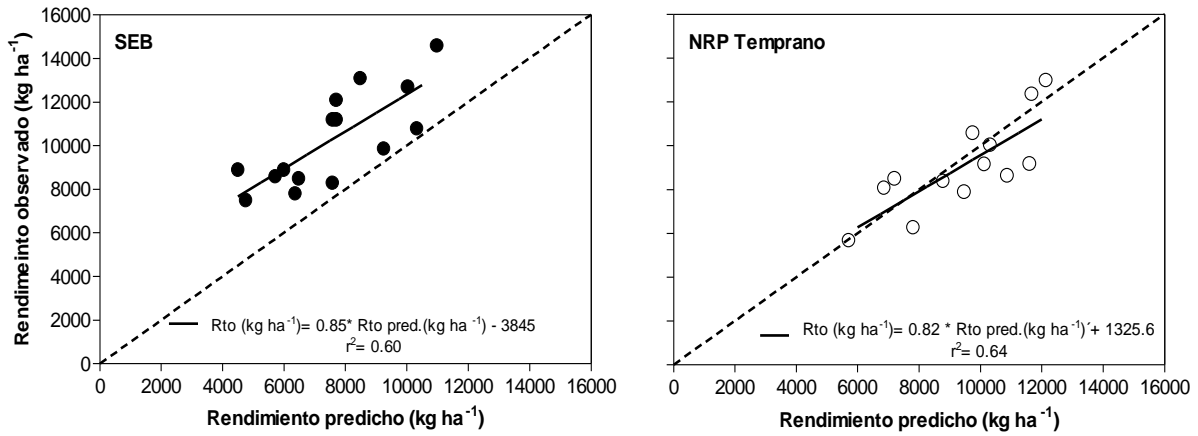


Figura 3. Rendimiento de maíz sin N (0N) observado en función del predicho para el modelo de: test N-NO₃⁻ en pre-siembra (TNPS) y nitrógeno incubado en anaerobiosis (Nan) para el sudeste bonaerense (SEB) y maíz temprano del norte de la región pampeana (NRP Temprano).

Bibliografía

- Bremner, J., y D. Keeney.** 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Annal. Chem. Acta.* 32: 485-495.
- Divito, G.A., H.R. Sainz Rozas, H.E. Echeverría, G.A. Studdert, y N. Wyngaard.** 2011. Long term nitrogen fertilization: Soil property changes in an Argentinean Pampas soil under no tillage. *Soil and Tillage Research*, 114(2), 117-126.
- Echeverría, H. E., H.R. Sainz Rozas, y P. A. Barbieri.** 2015. Maíz y Sorgo. En: Echeverría, H. E.; García, F. O. (eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA. pp. 435-478. ISBN 978-987-521-565-8
- Echeverría, H.E., y H.R. Sainz Rosas.** 2005. Nitrógeno. En: HE. Echeverría y FO. García (eds). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. Pp. 69-95
- Genovese, M. F., H.E. Echeverría, G. A. Studdert, y H.R. Sainz Rozas.** 2009. Nitrógeno de amino-azúcares en suelo: calibración y relación con el nitrógeno incubado anaeróbico. *Ci. Suelo.* 27(2): 225-236.
- Gianello, C., y J.M. Bremer.** 1986. Comparison of chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 17: 215–236.
- Keeney, D.R.** 1982. Nitrogen-availability indices. In: Page, A. L. et al. (eds.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. pp. 711-733.
- Keeney, D.R., y D.W. 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, F. R., D. Ross, y J. Amadon.** 1984. A soil test for nitrogen availability to maize. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1301–1304.
- Orcellet, J.M.** 2015. Contribución del nitrógeno incubado en anaerobiosis al diagnóstico de nitrógeno en maíz. Tesis M.Sc. Facultad de Ciencias Agrarias. UNMdP. Balcarce, Argentina. En revisión.
- R Core Team.** 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [En línea] <<http://www.R-project.org>>.
- Reussi Calvo, N. I., H. Sainz Rozas, H. Echeverría, y A. Berardo.** 2013a. Contribution of anaerobically incubated nitrogen to the diagnosis of nitrogen status in spring wheat. *Agron. J.* 105(2): 321-328.
- Reussi Calvo, N., H.E. Echeverría, H.R. Sainz Rozas, A. Berardo, y N. Diovisalvi.** 2014. Can a soil mineralization test improve wheat and corn nitrogen diagnosis?. *Better Crops with Plant Food*, 98(2), 12-14.
- Reussi Calvo; N., H.R. Sainz Rozas, A. Berardo, H.E. Echeverría, y N. Diovisalvi.** 2013b. ¿El Nan contribuye a mejorar el diagnóstico de nitrógeno en maíz?. Simposio de Fertilidad, 18 y 19 de Mayo, Rosario, Santa Fe, Argentina.
- Rice, C.W., y J.L. Havlin.** 1994. Integrating mineralizable nitrogen indices into fertilizer nitrogen recommendations. In: Havlin, J. L.; Jacobsen, J. S. (eds.) *Soil Testing: Prospects for improving nutrient recommendations*. Spec. Pub. No. 40. SSSA, Madison, WI. pp. 1–13.
- Ritchie, S. W., y J.J. Hanway.** 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service, Iowa, EEUU. Special Report N°48. pp. 24.
- Sainz Rozas, H.R., P.A. Calviño, H.E. Echeverría, P.A. Barbieri, y M. Redolati.** 2008. Contribution of anaerobically mineralized nitrogen to the reliability of planning or presidedress soil nitrogen test in maize. *Agron. J.* 100(4): 1020-1025.

- Salvagiotti, F., F. Ferraguti, J. Enrico, G. Prieto.** 2014. Respuesta a nitrógeno en maíz de fecha tardía según cultivo antecesor. En: XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca. En CD.
- Salvagiotti, F., J.M. Castellarin, F.J. Ferraguti, y H.M. Pedrol.** 2011. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz según potencial de producción y disponibilidad de nitrógeno en la región pampeana norte. Ci. Suelo. 29(2): 199-212.
- Walkley, A., y I.A. Black.** 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.