

NITRÓGENO EN GRANO Y BASE DE TALLO COMO INDICADORES DEL ESTATUS NITROGENADO DE MAÍZ

María Paula Iglesias¹, Juan Manuel Orcellet⁴, Hernán René Sainz Rozas^{1,2,3}, Nicolás Wyngaard^{1,3} , Hernán Eduardo Echeverría⁵, Nahuel Ignacio Reussi Calvo^{1,3,*} 

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Balcarce

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

⁴ Nidera Semillas S.A.

⁵ Asesor Privado

RESUMEN

El contenido de nitrógeno (N) en grano (Ngr) y de nitrato en base de tallo a madurez fisiológica (R_g) (NBT) del maíz (*Zea mays* L.), han sido propuestos como herramientas para caracterizar la disponibilidad de N que tuvo el cultivo. Sin embargo, los umbrales no han sido calibrados para las actuales condiciones de producción, las que se caracterizan por genotipos de acumulación demorada de N y fechas de siembra tardía. El objetivo de este trabajo fue evaluar en diferentes ambientes de la Región Pampeana el NBT y el contenido de Ngr como indicadores del estatus nitrogenado del cultivo. Durante la campaña 2013-2014, se realizaron 23 experimentos de maíz: 9 en el Sudeste Bonaerense (SEB), 5 en el Norte de la Región Pampeana (NRP) para siembras tempranas (NRPte) y 9 en el NRP para siembras tardías (NRPta). Se aplicaron cinco dosis de N: 0, 40, 80, 120 y 200 kg N ha⁻¹. En R_g , se determinó el rendimiento, el contenido de Ngr y NBT. Se establecieron relaciones entre el rendimiento relativo (RR) y el NBT y el Ngr. Los principales resultados indican que: a) la respuesta a la fertilización nitrogenada fue NRPte > SEB > NRPta, b) la concentración de Ngr siguió la tendencia SEB > NRPta > NRPte, mientras que el NBT fue NRPta > SEB > NRPte, c) el umbral promedio de Ngr fue de 1,29% (1,26 a 1,32%) y de NBT de 1256 mg kg⁻¹ (1056 a 1493 mg kg⁻¹) para un RR del 95% y d) una oferta total de N superior a 37 kg N t⁻¹ grano generarían excesos de N. En síntesis, el contenido de Ngr y NBT son adecuados indicadores del estado nitrogenado de maíz, los cuales pueden ser utilizados para el monitoreo del manejo de N a cosecha.

Palabras clave: Región Pampeana, fecha de siembra, nivel crítico, requerimiento.

* Autor de contacto:
nahuelreussicalvo@mdp.edu.ar

Recibido:
02-10-24

Recibido con revisiones:
23-12-24

Aceptado:
25-12-24

Este artículo está bajo
licencia internacional



La titularidad del derecho de
autor/a es de los/as Autores/as.

ANALYSIS OF GRAIN AND BASAL STALK NITROGEN CONTENT FOR NITROGEN DIAGNOSIS IN MAIZE

ABSTRACT

Nitrogen (N) content in grains (Ngr) and basal stalk nitrate concentration at physiological maturity (NBT) of maize (*Zea mays* L.) have been proposed as tools for evaluating N status. However, thresholds for these indicators have not been calibrated for current production conditions, using hybrids with delayed N uptake and late sowing date. The aim of this work was to evaluate the performance of NBT and Ngr as predictors of crop N status at different sites of the Pampas Region. During 2013-2014 growing season, twenty-three maize experiments were carried out: 9 in the Southeastern Pampas (SEB), 5 in the Northern Pampas (NRP)

for early sowing (NRPte) and 9 in NRP for late sowing (NRPta). Five N rates were applied: 0, 40, 80, 120 and 200 kg N ha⁻¹. At physiological maturity, yield, Ngr content and NBT were determined. Relationships between relative yield (RR) and NBT and Ngr were established to define critical thresholds. The main results indicates that: a) the response to nitrogen fertilization was NRPte > SEB > NRPta, b) Ngr content follow the trend SEB > NRPta > NRPte, whereas NBT follows the trend NRPta > SEB > NRPte, c) mean critical levels were 1.29% (1.26% to 1.32%) for Ngr and 1256 mg kg⁻¹ (1056 to 1493 mg kg⁻¹) for NBT at 95% of RR, and d) a total N supply greater than 37 kg N t grain⁻¹ results in N excess. In summary, both Ngr and NBT are adequate indicators of nitrogen status of maize, which can be used as postmortem analysis.

Keywords: Pampas Region, sowing date, critical level, requirement.

INTRODUCCIÓN

En un contexto de creciente demanda de alimentos y preocupación acerca del impacto ambiental de la agricultura a nivel global, surge la necesidad de realizar ajustes en los sistemas agrícolas para optimizar el uso de recursos. Con ese objetivo, una de las prácticas a mejorar es el manejo de la fertilización nitrogenada (Lam et al., 2022), a través de la selección del momento, la dosis, la fuente y la forma de aplicación correctos. El uso eficiente de nitrógeno (N), permitiría incrementar la productividad de los cultivos minimizando el riesgo de impacto ambiental.

El N es el nutriente que con mayor frecuencia limita la producción de maíz (*Zea mays* L.), por lo que se han desarrollado numerosos métodos de diagnóstico para determinar la dosis correcta de N (Correndo et al., 2021; Orcellet et al., 2017). Estos métodos pueden estar basados en el análisis de suelo o de material vegetal. Entre los métodos basados en análisis de suelo se destacan la determinación del contenido de nitrato (N-NO₃⁻) en suelo en pre-siembra del cultivo y en el estadio de seis hojas desarrolladas (Ritchie y Hanway, 1982; Sainz Rozas et al., 2008). No obstante, estas metodologías no permiten detectar los excesos de N que se pueden generar durante el ciclo del cultivo (e.g. aplicación de una dosis superior a la demanda del cultivo). Su detección es fundamental dado el potencial de contaminación del agua de napas producto del lavado del N-NO₃⁻ (Aparicio et al., 2015) y/o las emisiones de óxido nitroso (Graham et al., 2018).

Dentro de los métodos de diagnóstico de la fertilidad nitrogenada para maíz, se considera que el análisis de tejido vegetal es el que mejor integra los factores que determinan la disponibilidad de N para el cultivo (Binford et al., 1992). Por tal motivo, podría utilizarse durante y al finalizar el ciclo del cultivo como herramienta complementaria al análisis de suelo para evaluar el estatus nitrogenado del cultivo (Binford et al., 1992). Algunos de los análisis más utilizados consisten en la determinación de la concentración de N en la hoja opuesta y debajo de la espiga en floración y la concentración de N en grano a madurez fisiológica (R₆). Sin embargo, estas metodologías permiten principalmente distinguir condiciones de deficiencia de N respecto a situaciones de suficiencia de N (Uhart y Echeverría, 2000). En el Sudeste Bonaerense (SEB) se han establecido umbrales para Ngr de 1,11 y 1,08% para siembras tempranas y tardías, respectivamente (Barbieri et al., 2013; Crespo et al., 2022).

Durante el llenado de granos, en función de la disponibilidad de N, el cultivo de maíz removiliza o acumula N-NO₃⁻ en la base del tallo en caso de deficiencia o exceso de N, respectivamente (Friedrich et al., 1979). Por lo tanto, el contenido de N-NO₃⁻ en base de tallo a R₆ (NBT) ha sido propuesto como un indicador "post mortem" del estatus nitrogenado del cultivo, el cual permite diferenciar niveles de deficiencia, suficiencia y excesos de N (Binford et al., 1990, 1992; Sainz Rozas et al., 2001). Si bien esta metodología no permitiría realizar correcciones de N durante el ciclo del cultivo, sería de utilidad para mejorar el planteo de la fertilización nitrogenada en campañas siguientes (Blackmer y Shepers, 1994).

En estudios previos, se han logrado determinar umbrales a partir de la relación entre la eficiencia de uso de N del fertilizante (EUN) o el rendimiento relativo (RR) y el contenido de NBT. Para suelos molisoles de Estados Unidos, Binford et al. (1990) determinaron un rango óptimo entre 200 y 1800 mg NBT kg⁻¹. Así, contenidos de NBT por encima de 1800 mg kg⁻¹ indicarían aplicaciones excesivas de N. Varios trabajos han confirmado el rango propuesto por estos autores (Blackmer y Shepers, 1994; Wilhelm et al., 2005). Por su parte, en la Región Pampeana (RP) se ha determinado que el NBT es un buen indicador de niveles de deficiencia y suficiencia de N (Sainz Rozas et al., 2001). Valores de NBT mayores a los niveles de deficiencia indican que el cultivo presentó una adecuada disponibilidad de N mientras que valores mayores a los de suficiencia indican la presencia de excesos de N. En el SEB y en el Norte de la Región Pampeana (NRP) para siembras tempranas (NRPte) se determinaron niveles críticos de 800 y 400 mg kg⁻¹ de NBT, respectivamen-

te (Bianchini et al., 2005; Sainz Rozas et al., 2001). Sin embargo, estos umbrales de suficiencia no han sido calibrados para las condiciones actuales de producción. Por un lado, estas condiciones se caracterizan por el atraso en la fecha de siembra con el objetivo de reducir el riesgo de ocurrencia de estrés hídrico durante el período crítico y así estabilizar el rendimiento (Bonelli et al., 2016; Crespo et al., 2022). Por otro lado, los híbridos de maíz utilizados en la actualidad absorben en la etapa post-floración hasta un 40% del N acumulado a R_6 (Maltese et al., 2024). Por este motivo, surge la necesidad de establecer si los umbrales de suficiencia para maíz se modifican ante estos nuevos escenarios de producción. El objetivo del presente trabajo consiste en evaluar el NBT y el contenido de N en grano como indicadores del estatus nitrogenado del cultivo, en diferentes ambientes de la Región Pampeana

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios y diseño experimental

Durante la campaña 2013-2014, se realizaron un total de 23 experimentos de fertilización nitrogenada en maíz en diferentes ambientes de la Región Pampeana (RP) (Figura 1, Tabla 1-Apéndice). En el Sudeste Bonaerense (SEB) se realizaron 9 experimentos, donde la precipitación promedio anual es de 950 mm y la temperatura media (Tm) anual es de 13,5 °C. Los restantes experimentos fueron realizados en el Norte de la Región Pampeana (NRP) [5 en siembras tempranas (NRPte) y 9 en siembras tardías (NRPta)], en donde la precipitación promedio anual es de 975 mm y la Tm anual es de 19,2 °C. Todos los experimentos se realizaron bajo siembra directa en lotes con diferente historia agrícola. Para el control de malezas, plagas y enfermedades se utilizaron los fitosanitarios adecuados en las dosis recomendadas según la zona.



Figura 1. Ubicación de los sitios experimentales del Norte de la Región Pampeana (NRP) y del Sudeste Bonaerense (SEB).
Figure 1. Location of the experimental sites in the Northern Pampas (NRP) and Southeastern Pampas (SEB).

En todos los ensayos el diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones y se evaluaron 5 dosis de N: 0 (testigo), 40, 80, 120 y 200 kg N ha⁻¹ identificados como 0N, 40N, 80N, 120N y 200N, respectivamente. La fuente de N utilizada fue urea (46-0-0) granulada aplicada al voleo en cobertura total a la siembra del cultivo. Se trabajó sin limitantes de fósforo (P) y azufre (S) para lo cual se aplicó a la siembra 30 kg P ha⁻¹ y 25 kg S ha⁻¹, respectivamente. La fuente utilizada fue superfosfato triple de calcio (0-46-0) en la línea y sulfato de calcio (18%S) al voleo, respectivamente. El tamaño de las unidades experimentales fue de 12 m de largo por 12 surcos de ancho, abarcando una superficie desde 74,9 m² hasta 100,8 m², para una distancia entre surcos de 0,52 o 0,70 m, respectivamente.

En pre-siembra se realizó un muestreo de suelo por bloque en superficie (0-20 cm) para determinar pH (Thomas y Hargrove, 1984), materia orgánica (MO) (Walkley y Black, 1934), P-Bray (Bray y Kurtz I, 1945), y nitrógeno mineralizado en incubación anaeróbica (Nan) (Keeney y Nelson, 1983); y en profundidad (hasta

60 cm) para determinar $N-NO_3^-$. La concentración de $N-NO_3^-$ se determinó por colorimetría (Keeney y Nelson, 1982) y para el cálculo del $N-NO_3^-$ en $kg\ ha^{-1}$ se asumió un valor medio de densidad aparente de $1,25\ Mg\ m^{-3}$. El aporte de N por mineralización (N_{min}) fue estimado a partir del valor de N_{an} en función de lo sugerido por Reussi Calvo et al. (2018), siendo el modelo $N_{min}\ (kg\ ha^{-1}) = -252 + 12,3 * T_c\ (°C) + 1,37 * N_{an}\ (mg\ kg^{-1}) + 0,27 * precipitaciones\ (mm)$. Por último, se calculó el N total disponible (N_{TD}) como la suma del $N-NO_3^-$ + N del fertilizante + N_{min} .

Determinación de rendimiento y NBT

A madurez fisiológica (R_6), se determinó el rendimiento mediante la cosecha manual de espigas sobre los dos surcos centrales de cada unidad experimental, siendo la superficie $10\ m^2$. Las espigas se desgranaron empleando una trilladora estacionaria. A su vez, se midió el contenido de humedad en grano con el fin de expresar el rendimiento al 14% de humedad. Posteriormente, para cada dosis de N aplicada, se calculó la EUN del fertilizante mediante el cociente entre la diferencia de rendimiento del tratamiento fertilizado y el testigo, y la dosis de N aplicada. El N en grano (Ngr) se determinó mediante el método de Dumas (Jung et al., 2003) con un analizador TruSpec CN (LECO, 2010), para lo cual previamente las muestras fueron secadas a $60\ ^\circ C$ durante 24 h y molidas.

En R_6 se cortaron las bases de tallos de diez plantas al azar de cada unidad experimental. Cada corte tuvo una longitud de 20 cm por encima de los primeros 15 cm de la superficie del suelo, según lo propuesto por Binford et al. (1990). Los tallos fueron secados en estufa a $60\ ^\circ C$ hasta peso constante y luego se trituraron hasta pasar por un tamíz de 1 mm. Se pesó 0,5 g de material vegetal y se realizó la extracción de $N-NO_3^-$ con 100 ml de solución extractora de K_2SO_4 al 25 % de concentración y se agitó durante 30 minutos. Se dejó decantar la suspensión por 20 minutos y se tomó una alícuota de 1 ml la cual fue desecada en estufa a $90\ ^\circ C$. La cuantificación del $N-NO_3^-$ en el material vegetal se realizó por colorimetría (Keeney y Nelson, 1982) y los resultados fueron expresados en $mg\ N-NO_3^-\ kg^{-1}$.

Balance de agua

Los sitios experimentales se agruparon en función de las Pp, fecha de siembra y ubicación geográfica, y en cada grupo se realizó un balance de agua, adaptando el modelo de Della Maggiora et al. (2003). Los valores de las precipitaciones (Pp) y Evapotranspiración de referencia (ET0) fueron suministrados por el Grupo de Agrometeorología de la Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce, INTA EEA Oliveros y INTA EEA Rafaela.

Análisis estadístico

Se evaluó el efecto de zonas y fechas de siembra para las distintas variables edáficas (MO, N_{an} , P-Bray, pH, $N-NO_3^-$), rendimiento, NBT y Ngr mediante 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 Tukey para la comparación de medias ($\alpha=0,05$). A su vez, se establecieron relaciones entre el rendimiento, el Ngr y el NBT y el N disponible ($N-NO_3^-$ inicial más N del fertilizante) mediante modelos de regresión lineal.

La relación entre el rendimiento relativo (RR) y el NBT y el RR y el Ngr fue descripta mediante el método de calibración arcoseno-logaritmo modificado propuesto por Correndo et al. (2017). El RR resultó del cociente entre el rendimiento promedio del tratamiento y el rendimiento máximo de cada sitio (Pearce et al., 2022). A partir de dichas relaciones, se determinaron umbrales y rangos de suficiencia para lo cual se fijó el RR al 95%. Por último, se determinó la oferta total de N del cultivo ($kg\ N\ disponible\ t\ grano^{-1}$) como el cociente entre el N_{TD} ($N-NO_3^-$ + N del fertilizante + N_{min} , $kg\ ha^{-1}$) y el rendimiento en grano en base seca ($t\ ha^{-1}$). A partir de los umbrales de Ngr y NBT se estimó la oferta total de N para evitar aplicaciones excesivas de este nutriente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización edafoclimática

Las precipitaciones medias durante el ciclo del cultivo fueron de 575, 650 y 750 mm para el SEB, NRPte y NRPta, respectivamente. En la mayoría de los sitios experimentales las precipitaciones superaron la demanda hídrica del cultivo (Castellarín et al., 2010), por lo que las condiciones hídricas no limitaron el rendimiento del maíz. No obstante, en sólo 3 sitios del SEB (1, 2 y 3) se determinó déficit hídrico durante el período crítico del cultivo (Figura 1-Apéndice). Mientras que, en el NRP, no se detectó déficit hídrico excepto durante los primeros días del período crítico en el sitio 1. Sin embargo, se registraron excesos hídricos en estados tempranos y avanzados del cultivo para maíces tempranos y tardíos, respectivamente (Figura 2- y 3-Apéndice).

Los suelos del SEB presentaron mayor ($p < 0,05$) contenido de MO respecto a los del NRP, siendo el promedio de 62 g kg^{-1} y 31 g kg^{-1} , respectivamente (Tabla 1). La prolongada historia agrícola y mayor empleo de labranzas explicarían los bajos niveles de MO en el NRP (Sainz Rozas et al., 2011). Por su parte, la mayor Tm del NRP también permitiría explicar el menor contenido de MO respecto al SEB, dado que en regiones con altas temperaturas y precipitaciones se acelera el proceso de pérdida de carbono, y por ende, los balances de carbono en el suelo tienden a ser más negativos (Wyngaard et al., 2022). Además, se determinó diferencia ($p < 0,05$) entre zonas en el valor de Nan, siendo el promedio de 73 mg kg^{-1} (mínimo de 51 y máximo de 108 mg kg^{-1}) para el SEB, mientras que para el NRP fue de 41 mg kg^{-1} (mínimo de 17 y máximo de 146 mg kg^{-1}), valores similares a los reportados por Reussi Calvo et al. (2014; 2018). Dicha diferencia en el potencial de mineralización de N entre zonas se explicaría en parte por los mayores niveles de MO en el SEB respecto al NRP (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización edáfica de los sitios experimentales en la RP. MO: materia orgánica; Nan: nitrógeno incubado en anaerobiosis; P-Bray: fósforo extractable; N-NO_3^- : nitrógeno de nitrato (0-60 cm). SEB: Sudeste Bonaerense, NRPte: maíz temprano en Norte de la Región Pampeana, NRPta: maíz tardío en NRP. n = número de sitios. Valores medios \pm desvío estándar.

Table 1. Edaphic characterization of experimental sites in the Pampas Region. MO: organic matter; Nan: incubated N under anaerobic conditions; P-Bray: extractable P; N-NO_3^- : nitrate N at 0-60 cm. SEB: Southeastern Pampas, NRPte: Northern Pampas early sowing, NRPta: Northern Pampas late sowing. n = sites number. Mean values \pm standard deviation.

Zona	MO (g kg^{-1})	Nan (mg kg^{-1})	P-Bray (mg kg^{-1})	pH	N-NO_3^-
					(kg ha^{-1})
		-----0-20 cm-----			0-60 cm
SEB ($n=9$)	$61,8 \pm 2,8$	$72,9 \pm 4,4$	16 ± 3	$6,0 \pm 0,1$	$81,0 \pm 4,0$
NRPte ($n=5$)	$25,9 \pm 2,0$	$29,8 \pm 2,2$	52 ± 15	$5,9 \pm 0,2$	$57,5 \pm 4,5$
NRPta ($n=9$)	$33,6 \pm 2,2$	$47,9 \pm 5,8$	32 ± 4	$6,3 \pm 0,1$	$73,9 \pm 3,7$

Rendimiento, EUN, Ngr y NBT

El rendimiento promedio del tratamiento 0N fue de 8638, 8577 y 10973 kg ha^{-1} , para el SEB, NRPte y NRPta, respectivamente (Figura 2, Tabla 2-, 3- y 4-Apéndice). La diferencia entre zonas y fechas de siembra fue significativa ($p < 0,05$). El rendimiento del 0N es un indicador de la capacidad del suelo de proveer N (Cassman et al., 1996), por lo tanto, estos resultados indicarían una mayor oferta de N en el NRPta. La respuesta máxima relativa al testigo fue de 17,5% para SEB, 30,1% para NRPte y 10,0% para NRPta. En línea con esto, la menor EUN promedio ($7,1 \text{ kg grano kg N}^{-1}$) fue determinada en maíces del NRPta y la mayor EUN ($15,5 \text{ kg grano kg N}^{-1}$) se determinó en el NRPte (Figura 2, Tabla 2-Apéndice). Similares resultados fueron reportados por Correndo et al. (2021). A su vez, se observó un incremento en el rendimiento y una disminución de la EUN ante aumentos en la dosis de N.

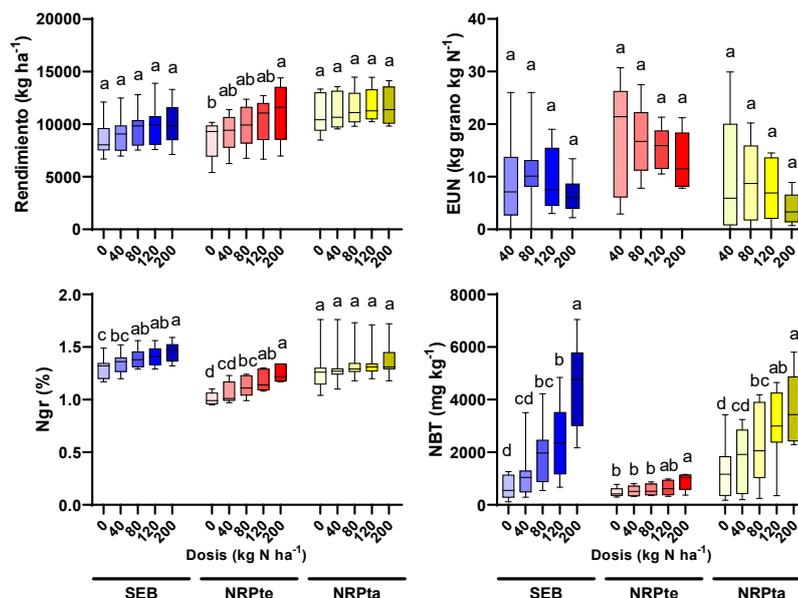


Figura 2. Media y desvío estándar del rendimiento (kg ha^{-1}), eficiencia de uso de N (EUN) ($\text{kg grano kg N}^{-1}$), N en grano (Ngr) (%) y N en base del tallo (NBT) (mg kg^{-1}) para las dosis de N aplicadas para cada zona y fecha de siembra. SEB: Sudeste Bonaerense, NRPte: Norte Región Pampeana siembra temprana, NRPta: Norte Región Pampeana siembra tardía. Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$) entre dosis para cada zona.

Figure 2. Mean and standard deviation for yield (kg ha^{-1}), nitrogen use efficiency (EUN) ($\text{kg grain kg N}^{-1}$), grain N (Ngr) (%) and basal stalk nitrate (NBT) (mg kg^{-1}) for each N rate, region and sowing date. SEB: Southeastern Pampas, NRPte: Northern Pampas early sowing, NRPta: Northern Pampas late sowing. Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$) between N rates for each zone.

El contenido de Ngr promedio del tratamiento 0N fue de 1,30, 1,01 y 1,27 % para el SEB, NRPte y NRPta, respectivamente (Figura 2, Tabla 2-, 3- y 4-Apéndice), mientras que el promedio de los tratamientos fertilizados fue de 1,40% para el SEB, 1,16% para el NRPte y 1,34% para el NRPta. Estos resultados coinciden con los observados en estudios previos en el SEB y para fechas de siembra tempranas y tardías en el NRP (Crespo et al., 2022; Maltese et al., 2019). Además, esta variabilidad en la concentración de Ngr se puede explicar en parte por el empleo de diferentes híbridos, lo cual ha sido reportado por diferentes autores (Ciampitti y Vyn, 2012). La mayor concentración de Ngr determinada en el SEB se explicaría en parte por el menor rendimiento tanto de los tratamientos 0N como de los fertilizados. A su vez, el mayor contenido de Ngr en siembras tardías respecto a las tempranas estaría asociada a una mayor oferta de N en la etapa post-floración producto de una mayor mineralización de N, al igual que lo observado por Maltese et al. (2019) para distintas fechas de siembra.

En cuanto al NBT, el promedio de los tratamientos 0N fue de 469, 1201 y 682 mg kg^{-1} , mientras que para los tratamientos fertilizados fue de 661, 2691 y 2486 mg kg^{-1} para el NRPte, NRPta y SEB, respectivamente (Figura 2, Tabla 2-, 3- y 4-Apéndice). Por lo tanto, las mayores concentraciones determinadas en maíces tardíos del NRP, se explican por una mayor oferta de N en siembras tardías con respecto a siembras tempranas producto de un mayor aporte por mineralización (Tabla 1) (Orcellet et al., 2017).

Relaciones entre NBT, Ngr y N disponible

Las relaciones establecidas entre el Ngr y el N disponible para cada una de las zonas y fechas de siembra permitieron explicar en un 37, 40 y 17% la variabilidad del contenido de N en grano para el SEB, NRPte y NRPta. A su vez, se ajustó un modelo para todos los sitios experimentales, que permitió explicar el 24% de la variabilidad del contenido de N en grano en función del N disponible, registrándose un incremento del 0,001% de Ngr por $\text{kg N disponible ha}^{-1}$ (Figura 3b). A diferencia de la relación lineal que se determinó en este estudio, Sutradhar et al. (2017) han establecido una relación cuadrática, aunque con un ajuste similar.

Por otro lado, para el SEB y el NRPTa se determinó un incremento del contenido de NBT de 19,5 y 14,3 mg kg⁻¹ frente a aumentos en la disponibilidad de N, respectivamente. En cambio, en el NRPTe el incremento fue inferior (1,8 mg kg⁻¹) y con un menor ajuste ($r=0,22$) que las demás zonas y fechas de siembra. A su vez, fue posible ajustar un único modelo que explicó el 45% de la variabilidad del contenido de NBT en función del N disponible (Figura 3a). Se observó un incremento de 14,7 mg kg⁻¹ por kg N disponible ha⁻¹. Según Greub et al. (2018), la acumulación de N en la base del tallo aumenta cuando la disponibilidad de N supera la necesaria para alcanzar el 95% del rendimiento máximo.

A su vez, se logró establecer una relación exponencial entre el NBT y el Ngr ($NBT = 2,30 e^{4,86 Ngr}$; $R^2=0,39$) (Figura 3c). De esta manera, se observó que cuando el Ngr supera ~ 1,3%, el contenido de NBT se incrementaba de forma exponencial por cada unidad de Ngr. Por lo tanto, a partir de ese nivel se esperaría que las aplicaciones de N generen excesos de dicho nutriente.

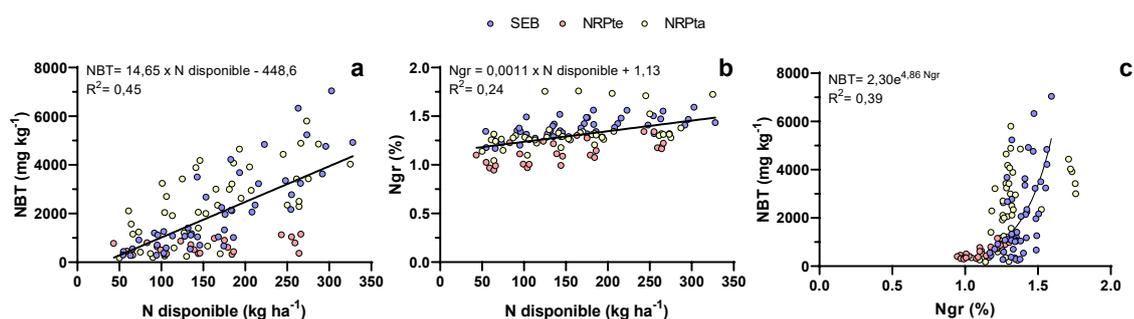


Figura 3. Nitrógeno en base del tallo (NBT) (mg kg⁻¹) (a) y N en grano (Ngr) (%) (b) en función del N disponible (kg ha⁻¹) y relación entre NBT y Ngr (c).

Figure 3. Relation between basal stalk nitrate (NBT) (mg kg⁻¹) (a) and grain N (Ngr) (%) (b) and available N (kg ha⁻¹), and relation between NBT and Ngr (c).

Diagnóstico de nitrógeno

El RR del maíz se asoció con el Ngr para las distintas regiones productivas (Figura 4b). Los umbrales fueron de 1,39, 1,17, 1,24% para el SEB, el NRPTe y el NRPTa, respectivamente. Al igual que para el valor crítico, el límite máximo del intervalo de confianza para el SEB fue superior al del NRP para siembras tempranas y tardías (1,42, 1,20 y 1,31%, respectivamente). Sólo se observó superposición del intervalo de confianza entre el modelo del NRPTe y del NRPTa. No obstante, se ajustó un único modelo ($r=0,43$) con un nivel crítico de 1,29% y un intervalo de confianza entre 1,26 y 1,32 % (Figura 4b). Dicho umbral fue inferior al nivel crítico de 1,35%, establecido por Brouder et al. (2000), aunque superior a los reportados en el SEB tanto para fechas de siembra tempranas como tardías (1,11 y 1,08%, respectivamente) (Barbieri et al., 2013; Crespo et al., 2022). Así, el análisis de la concentración de N en grano permitiría diferenciar situaciones de deficiencia respecto a las de suficiencia (Brouder et al. 2000; Uhart y Echeverría, 2000). Al igual que Crespo et al. (2022), se detectó gran variabilidad en el RR para valores similares de Ngr, lo cual indicaría que existen otros factores (e.g. estrés hídrico, fecha de siembra, densidad) que podrían afectar la absorción de N y, en consecuencia, el rendimiento del maíz.

Al igual que para el Ngr, se ajustaron modelos entre el RR y el NBT para definir los umbrales críticos para cada una de las zonas y fechas de siembra. El umbral obtenido para el SEB fue de 1647 mg kg⁻¹ mientras que en el NRP los umbrales fueron inferiores, siendo de 670 y 1037 mg kg⁻¹ para siembras tempranas y tardías, respectivamente. A su vez, el límite máximo del intervalo de confianza para el SEB, NRPTe y NRPTa fue de 2093, 798 y 1517 mg kg⁻¹, respectivamente. Esto indica que por encima de dichos valores de NBT habría una baja o nula respuesta a la fertilización nitrogenada y, por ende, situaciones de exceso de N. Los umbrales fueron similares a los reportados por Sainz Rozas et al. (2001) para el SEB y Bianchini et al. (2005) para el NRP, aunque inferiores a los reportados internacionalmente por Binford et al. (1992), Blackmer y Shepers (1994) y Wilhelm et al. (2005). Los datos también permitieron ajustar un único modelo, el cual presentó un adecuado comportamiento ($r=0,52$), donde el umbral crítico fue de 1256 mg kg⁻¹ siendo el intervalo de confianza de 1056 mg kg⁻¹ a 1493 mg kg⁻¹ (Figura 4a). Esto sugiere que el NBT es un buen indicador del estado nitrogenado que tuvo el cultivo (Blackmer y Shepers, 1994; Brouder et al., 2000), incluso más confiable

que el Ngr ($r=0,52$ vs. $r=0,43$, respectivamente). Este mejor comportamiento del NBT respecto al Ngr, se explicaría en parte por el menor efecto de un estrés hídrico sobre la absorción respecto a la demanda de N. No obstante, otros autores han determinado que la disponibilidad de agua interfiere en el diagnóstico de N (Crespo et al., 2022; Maharjan et al., 2016).

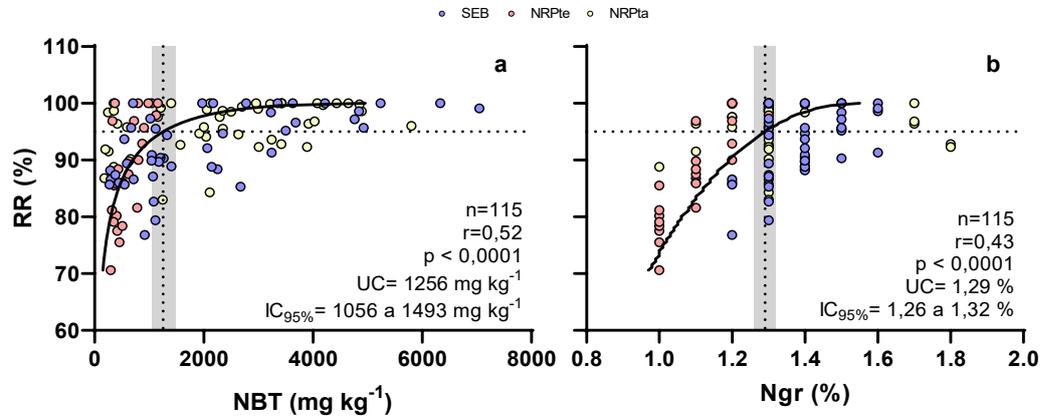


Figura 4. Rendimiento relativo (RR) en función del nitrato en base de tallo (NBT) (a) y nitrógeno en grano (Ngr) (b). La franja gris vertical indica el intervalo de confianza al 95% del umbral estimado por el método del arcoseno-logaritmo modificado. La línea horizontal representa el RR del 95%.

Figure 4. Relative yield (RR) as a function of basal stalk nitrate (NBT) (a) and grain N (Ngr) (b). Gray strips represent a 95% confidence interval for NBT and Ngr estimated by the modified arcsine-logarithm method. Horizontal dotted lines represent RR of 95%.

Con el objetivo de estimar cuál debería ser la oferta total de N del cultivo de maíz para evitar aplicaciones excesivas de este nutriente, se relacionó la oferta total de N [N total disponible ($\text{N-NO}_3^- + \text{N del fertilizante} + \text{N}_{\text{min}}$) por t grano^{-1}] con el NBT y el Ngr (Figura 5). El NBT explicó el 20% de la variabilidad en la oferta total de N mientras que el Ngr el 52%. Se determinó que para el nivel crítico de NBT y Ngr, la oferta total de N debería ser \sim entre 35 a 37 $\text{kg de N por tonelada de grano}$, lo cual implica requerimientos a nivel de planta de entre 20 a 22 $\text{kg de N por t}^{-1}$. Resultados similares han sido reportados por Ciampitti y Vyn (2012) y Correndo et al. (2021). Por otra parte, considerando el límite superior del intervalo de confianza de la Figura 4a y b, se estimó que para evitar excesos de N la oferta total de N no debería superar \sim los 37 $\text{kg de N por tonelada de grano}$.

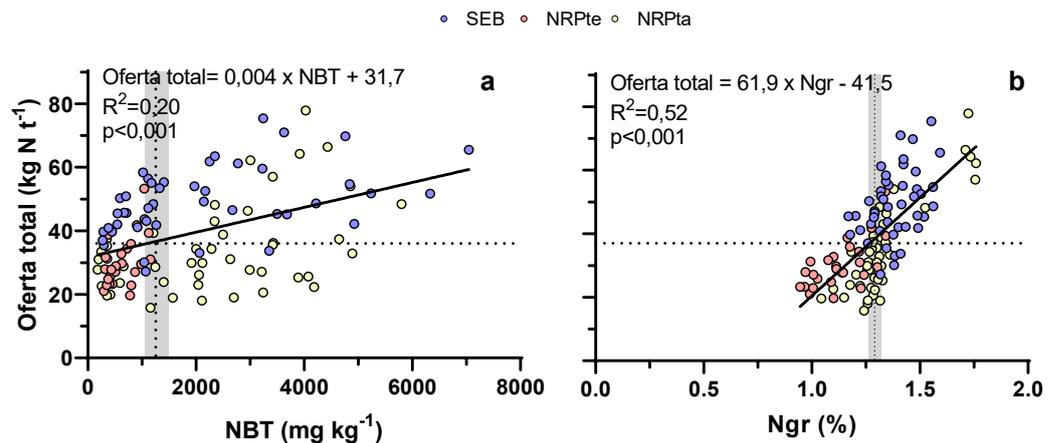


Figura 5. Oferta de N ($\text{kg N total disponible t grano}^{-1}$) en función del nitrato en base del tallo (NBT) (a) y del nitrógeno en grano (Ngr) (b) para el Sudeste Bonaerense (SEB), el Norte Región Pampeana siembra temprana (NRPTe) y el Norte Región Pampeana siembra tardía (NRPTa). La franja gris vertical indica el intervalo de confianza al 95% del umbral determinado por el método arcoseno-logaritmo modificado en la Figura 4, mientras la línea horizontal punteada indica el requerimiento promedio para dicho umbral.

Figure 5. Total N supply as a function of basal stalk nitrate (NBT) (a) and grain N (Ngr) (b) for Southeastern Pampas (SEB), Northern Pampas early sowing (NRPTe) and Northern Pampas late sowing (NRPTa). Gray strips represent a 95% confidence interval for NBT and Ngr estimated by the modified arcsine-logarithm method, while the horizontal dotted lines indicate the average requirement for that threshold.

CONCLUSIÓN

Para condiciones edafoclimáticas contrastantes, se determinó que el contenido de Ngr y NBT son adecuados indicadores del estado nitrogenado de maíz, siendo el umbral de suficiencia de 1,29% (1,26 - 1,32%) y de 1256 mg kg⁻¹ (1056 - 1493 mg kg⁻¹), respectivamente. Además, para evitar excesos de N, la oferta total de N empleada para definir la dosis de nitrógeno no debería superar ~37 kg N por tonelada de grano.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se hizo posible por el apoyo de Fertilab (Laboratorio de Suelos y Plantas), del Proyecto INTA "Intensificación Sostenible de la Agricultura Extensiva en la Región Pampeana" (2023-PE-L01-I012), del PICT 2020-0605, UNMDP (AGR704/23) y del Laboratorio de Suelos de la Estación Experimental INTA Balcarce.

REFERENCIAS

- Aparicio, V., Costa, J. L., Sainz Rozas, H., Gimenez, D. y García F. (2015). Comparing nitrate-N losses through leaching by field measurements and nitrogen balance estimations. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46, 1229–1243. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1033533>
- Barbieri, P. A., Echeverría, H. E., Sainz Rozas, H. R. y Andrade, F. H. (2013). Nitrogen status in maize grown at different row spacings and nitrogen availability. *Canadian Journal of Plant Science*, 93, 1049-1058. <https://doi.org/10.4141/CJPS2012-170>
- Bianchini, A., Magnelli, M. E., Canova, D., Lorenzatti, S., Peruzzi, D., Rabasa, J. y García, F. (2005). Diagnóstico de fertilización nitrogenada para maíz en siembra directa. *Actas VIII Congreso Nacional de Maíz*. pp. 230-233.
- Binford, G. D., Blackmer, A. M. y El-hout, N. M. (1990). Tissue test for excess nitrogen during corn production. *Agronomy Journal*, 82(1), 124-129. <https://doi.org/10.2134/agronj1990.00021962008200010027x>
- Binford, G. D., Blackmer, A. M. y Meese, B. G. (1992). Optimal concentrations of nitrate in cornstalks at maturity. *Agronomy Journal*, 84(5), 881-887. <https://doi.org/10.2134/agronj1992.00021962008400050022x>
- Blackmer, T. M. y Schepers, J. S. (1994). Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25, 1791-1800. <https://doi.org/10.1080/00103629409369153>
- Bonelli, L. E., Sainz Rozas, H., Echeverría, H. E. y Barbieri, P. A. (2017). Fuente y momento de aplicación de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en Balcarce. *Ciencia del Suelo*, 36(1), 88-98.
- Bray, R. H. y Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59(1), 39-46. <https://doi.org/10.1097/00010694-194501000-00006>
- Brouder, S. M., Mengel, D. B. y Hofmann, B. S. (2000). Diagnostic efficiency of the blacklayer stalk nitrate and grain nitrogen tests for corn. *Agronomy Journal*, 92(6), 1236–1247. <https://doi.org/10.2134/agronj2000.9261236x>
- Cassman, K. G., Dobermann, A., Cruz, P. C. S., Gines, G. C., Samson, M. I., Descalsota, J. P., Alcantara, J. M., Dizon, M. A. y Olk, D. C. (1996). Soil organic matter and the indigenous nitrogen supply of intensive irrigated rice systems in the tropics. *Plant and Soil*, 182, 267-278. <https://doi.org/10.1007/BF00029058>
- Castellarín, J., Ferraguti, F. y Andriani, J. (2010). Environmental characterization and determination of the yield of maize during the 2009/10 campaign in Oliveros (Santa Fe). To improve production 44. INTA Oliveros, Argentina.
- Ciampitti, I. A. y Vyn, T. J. (2012). Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. *Field Crops Research*, 133, 48-67. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.03.008>
- Correndo, A. A., Gutiérrez-Boem, F. H., García, F. O., Alvarez, C., Alvarez, C., Angeli, A., Barbieri, P., Barraco, M., Berardo, A., Boxler, M., Calviño, P., Capurro, J. E., Carta, H., Caviglia, O., Ciampitti, I. A., Díaz-Zorita, M., Díaz- Valdéz, S., Echeverría H. E., Espósito, G., ..., Salvagiotti, F. (2021). Attainable yield and soil texture as drivers of maize response to nitrogen: A synthesis analysis for Argentina. *Field Crops Research*, 273, 108299. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108299>
- Correndo, A. A., Salvagiotti, F., García, F. O. y Gutiérrez-Boem, F. H. (2017). A modification of the arcsine–log calibration curve for analysing soil test value–relative yield relationships. *Crop & Pasture Science*, 68, 297–304. <https://doi.org/10.1071/CP16444>
- Crespo, C., Martínez, R. D., Wyngaard, N., Divito, G., Martínez Cuesta, N. y Barbieri, P. (2022). Nitrogen diagnosis for double-cropped maize. *European Journal of Agronomy*, 140, 126600. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126600>
- Della Maggiora, A. I., Irigoyen, A., Gardiol, J. M., Caviglia, O. y Echarte, L. (2003). Evaluación de un modelo de balance de agua en el suelo para el cultivo de maíz. *Revista Argentina de Agrometeorología*, 2, 167-176.
- Friedrich, J. W. Schrader, L. E. y Nordheim, E. V. (1979). N deprivation in maize during grain-filling I. accumulation of dry matter, nitrate-N and sulfate-S. *Agronomy Journal*, 71 (3), 461-465. <https://doi.org/10.2134/agronj1979.00021962007100030020x>
- Graham, R. F., Greer, K. D., Villamil, M. B., Nafziger, E. D. y Pittelkow, C. M. (2018). Enhanced- efficiency fertilizer impacts on yield-scaled nitrous oxide emissions in maize. *Soil Science Society of America Journal*, 82 (6), 1469–1481. <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.05.0196>
- Greub, C. E., Roberts, T. L., Slaton, N. A., Kelley, J. P. y Gbur, E. E. (2018). Evaluating tissue tests to improve nitrogen management in

- furrow-irrigated mid-South corn production. *Agronomy Journal*, 110 (4), 1-9. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.12.0707>.
- Jung, S., Rickert, D. A., Deak, N. A., Aldin, E. D., Recknor, J., Johnson, L. A. y Murphy, P. A. (2003). Comparison of Kjeldahl and Dumas methods for determining protein contents of soybean products. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80 (12), 1169–1173. <https://doi.org/10.1007/s11746-003-0837-3>
- Keeney, D. R. y Nelson, D. W. (1983). Nitrogen-inorganic forms. In: A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties* (pp. 643-698). American Society of Agronomy - Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Lam, S. K., Wille, U., Hu, H.-W., Caruso, F., Mumford, K., Liang, X., Baobao, P., Malcolm, B., Roessner, U., Suter, H., Stevens, G., Walker, C., Tang, C., He, J.-Z. y Chen, D. (2022). Next-generation enhanced-efficiency fertilizers for sustained food security. *Nature Food*, 3 (8), 1-6. <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00542-7>
- Maharjan, B., Rosen, C. J., Lamb, J. A. y Venterea, R. T. (2016). Corn response to nitrogen management under fully-irrigated vs. water-stressed conditions. *Agronomy Journal*, 108 (6), 2089–2098. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.01.0006>
- Maltese, N. E., Carciocchi, W. D., Caviglia, O. P., Sainz Rozas, H. R., García, M., Lapaz, A. O., Ciampitti, I. A. y Reussi Calvo, N. I. (2024). Assessing the effect of split and additional late N fertilisation on N economy of maize. *Field Crops Research*, 308 (March), 109279. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109279>
- Maltese, N. E., Melchiori, R. J. M., Maddoni, G. A., Ferreyra, J. M. y Caviglia, O. P. (2019). Nitrogen economy of early and late-sown maize crops. *Field Crops Research*, 231, 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.11.007>
- Orcellet, J. M., Reussi Calvo, N. I., Sainz Rozas, H. R., Wyngaard, N. y Echeverría, H. E. (2017). Anaerobically incubated nitrogen improved nitrogen diagnosis in corn. *Agronomy Journal*, 109(1), 1–8. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.02.0115>
- Pearce, A. W., Slaton, N. A., Lyons, S. E., Bolster, C. H., Bruulsema, T. W., Grove, J. H., Jones, J. D., McGrath, J. M., Miguez, F. E., Nelson, N. O., Osmond, D. L., Parvej, M. R., Pena-Yewtukhiw, E. M. y Spargo, J. T. (2022). Defining relative yield for soil test correlation and calibration trials in the Fertilizer Recommendation Support Tool. *Soil Science Society of America Journal*, 86 (4), 1338–1353. <https://doi.org/10.1002/saj2.20450>
- R Core Team. (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org> (accessed 30 Nov. 2015).
- Reussi Calvo, N. I., Studdert, G. A., Calandroni, M. B., Diovisalvi, N. V., Cabria, F. N. y Berardo, A. (2014). Nitrógeno incubado en anaerobiosis y carbono orgánico en suelos agrícolas de Buenos Aires. *Ciencia del Suelo*, 32(2), 189-196.
- Reussi Calvo, N. I., Wyngaard, N., Orcellet, J. M., Sainz Rozas, H. y Echeverría, H. (2018). Predicting Field-Apparent Nitrogen Mineralization from Anaerobically Incubated Nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, 82(2), 502-508. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.11.0395>
- Ritchie, S. W. y Hanway, J. J. (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., Calviño, P. A., Echeverría, H. E., Barbieri, P. A. y Redolati, M. (2008). Contribution of anaerobically mineralized nitrogen to the reliability of planning or presidedress soil nitrogen test in maize. *Agronomy Journal*, 100(4), 1020-1025. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0077>
- Sainz Rozas, H. R., Echeverría, H. E. y Angelini, H. (2011). Organic carbon and pH levels in agricultural soils of the pampa and extra-pampean regions of Argentina. (In Spanish, with English abstract.) *Ciencia del Suelo*, 29, 29-37.
- Sainz Rozas, H. R., Echeverría, H. E. y Barbieri, P. A. (2004). Nitrogen balance is affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize in Argentina. *Agronomy Journal*, 96(6), 1622-1631. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.1622>
- Sainz Rozas, H. R., Echeverría, H. E., Herfurth, E. y Studdert, G. A. (2001). Nitrato en la base del tallo de maíz II. Diagnóstico de la nutrición nitrogenada. *Ciencia del Suelo*, 19(2), 125-135.
- Sutradhar, A. K., Kaiser, D. E. y Fernández, F. G. (2017). Does total nitrogen/sulfur ratio predict nitrogen or sulfur requirement for corn? *Soil Science Society of America Journal*, 81(3), 564–577. <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.10.0352>
- Thomas, G. W. y Hargrove, W. L. (1984). The chemistry of soil acidity. En F. Adams (Ed). *Soil acidity and liming* (pp. 3-56). 12(2). <https://doi.org/10.2134/agronmonogr12.2ed.c1>
- Uhart S. A. y Echeverría H. E. (2000). Diagnóstico de la fertilización. En F. H. Andrade y V.O. Sadras (Eds), *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja* (pp. 235-268). EEA INTA Balcarce - Facultad de Ciencias Agrarias UNMdP.
- Walkley, A. y Black, Y. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed codification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29–38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>
- Wilhelm, W., Varvel, G. E. y Schepers, J. S. (2005). Corn stalk nitrate concentration profile. *Agronomy Journal*, 97(6), 1502–1507. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0085>
- Wyngaard, N., Crespo, C., Angelini, H., Eyherabide, M., Larrea, G., Reussi Calvo, N. I., Carciocchi, W. y Sainz Rozas, H. (2022). The effect of agriculture on topsoil carbon stocks is controlled by land use, climate, and soil properties in the Argentinean Pampas. *CATENA*, 212, 106126. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106126>

APÉNDICE

Tabla 1-Apéndice. Prácticas de manejo para todos los sitios experimentales.

Table 1-Appendix. Management practices for all experimental sites.

Sudeste bonaerense					
Sitio	Latitud Longitud	Fecha de siembra	Densidad (pl ha ⁻¹)	Híbrido	Antecesor
1- Santa Catalina (Gral. Madariaga)	37° 5' 47,22" S 57°27' 7,94" O	29-sep	66.000	P 31Y05 HR	Soja
2- San Carlos (Gral. Madariaga)	37° 5' 47,22" S 57°27' 7,94" O	23-sep	66.000	DK 670 Bt 3 Pro	Soja
3- Don Remigio (Gral. Madariaga)	37° 5' 47,22" S 57°27' 7,94" O	12-oct	66.000	P1778YR	Soja
4- El Bonete (Lobería)	37°54' 31,85" S 58°39' 21,46" O	15-oct	68.000	DK 692	Cebada
5- Santa Lucia (Gral. Alvarado)	38° 9' 28,36" S 57°41' 54,67" O	24-oct	70.000	30820 MGRR	Soja
6- Cortaderas 1 (Gral. Alvarado)	38°18' 11,23" S 58° 5' 8,40" O	26-oct	71.000	DK 670 MGRR	Soja
7- Cortaderas 2 (Gral. Alvarado)	38°18' 29,79" S 58° 5' 39,89" O	28-oct	71.000	DK 190 MGRR	Soja
8- La Blanqueada (Balcarce)	37°45' 53,85" S 58° 7' 28,89" O	26-oct	57.000	DK 692	Soja
9- La Primavera (Balcarce)	37°40' 52,91" S 58°24' 32,99" O	26-oct	70.000	DK 692	Soja
Norte Región Pampeana					
Siembra Temprana					
1- Prandi L (Gral. López)	34°15' 48,11" S 61°41' 45,46" O	07-oct	50.000	670 MG	Soja

2- Prandi ML (Gral. López)	34°15' 45,70" S 61°41' 49,99" O	07-oct	66.000	670 MG	Soja
3- Prandi B (Gral. López)	34°15' 39,62" S 61°41' 58,23" O	07-oct	80.000	670 MG	Soja
4- El Cisne (Gral. López)	34°16' 12,54" S 61°44' 0,64" O	07-oct	84.000	DK692	Soja
5- Betania 1 (Gral. López)	34° 4' 33,00" S 61°53' 9,14" O	02-oct	88.000	Dk692 Bt	Soja
Siembra Tardía					
6- San Marcelo (Gral. López)	34° 8' 10,20" S 61°27' 59,82" O	5-dic	80.000	BLEND 7210 + 747	Soja
7- Betania 2 (Gral. López)	34° 4' 28,34" S 61°54' 57,70" O	8-dic	78.000	DK72-10V- T3P	Soja
8- Don Tomás L (Gral. López)	34°10' 14,71" S 62°10' 40,40" O	10-dic	40.000	DK 7210 Bt 3 Pro	Soja
9- Don Tomás ML (Gral. López)	34°10' 7,80" S 62°10' 44,49" O	10-dic	60.000	DK 7210 Bt 3 Pro	Soja
10- Don Tomás B (Gral. López)	34° 9' 59,38" S 62°10' 49,59" O	10-dic	70.000	DK 7210 Bt 3 Pro	Soja
11- INTA agrícola (Castellanos)	31°11' 56,68" S 61°30' 12,02" O	10-dic	80.000	SY900	Soja
12- INTA Tambo (Castellanos)	31°11' 34,66" S 61°30' 11,89" O	10-dic	80.000	SY900	Pastura
13- La Laura (San Justo)	30°46' 32,24" S 60°24' 58,11" O	15- dic	70.000	621 MGRR2	Pastura
14- María Juana (Castellanos)	31°40' 47,23" S 61°40' 40,32" O	10- dic	70.000	621 MGRR2	Soja

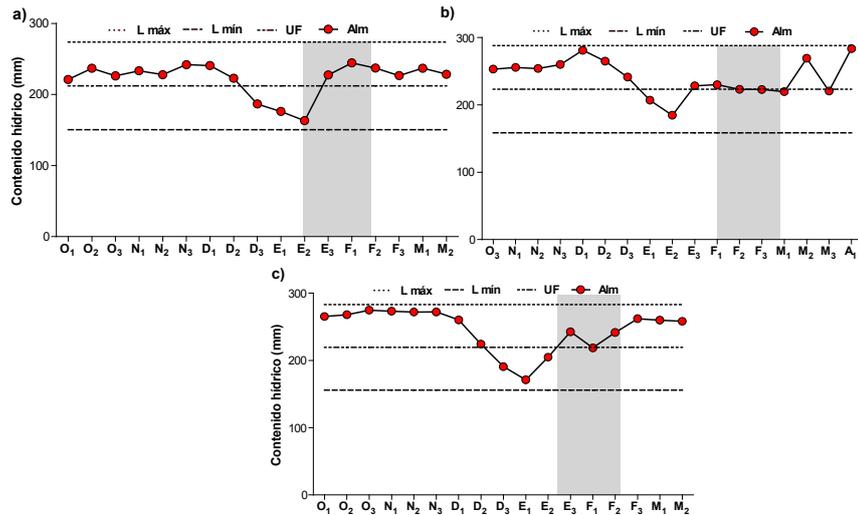


Figura 1-Apéndice. Almacenamiento decadal de agua en el perfil de suelo (Alm), límite máximo (L máx), límite mínimo (L mín) y umbral fisiológico (UF) para los sitios experimentales del sudeste bonaerense (SEB). a) sitio 1, 2 y 3; b) sitio 5, 6 y 7; y c) sitio 4, 8 y 9. El área sombreada representa el período crítico.

Figure 1-Appendix. Decadal Water content in soil profile (Alm), maximum limit (L max), minimum limit (L min), and physiological threshold (UF) for experimental sites in the Southeastern Pampas (SEB). a) sites 1, 2, and 3; b) sites 5, 6, and 7; and c) sites 4, 8, and 9. The shaded area represents critical period.

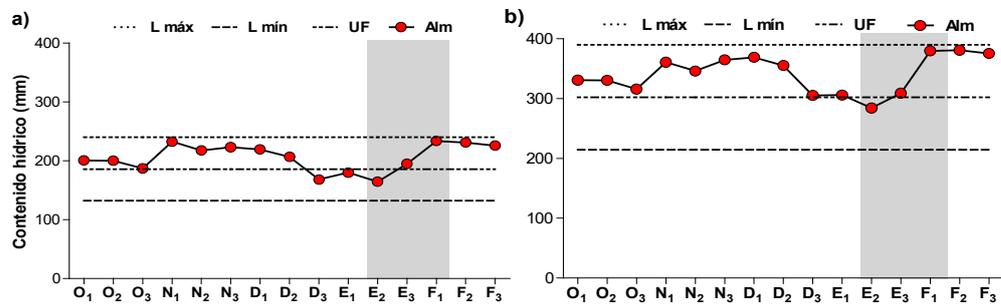


Figura 2-Apéndice. Almacenamiento decadal de agua en el perfil de suelo (Alm), límite máximo (L máx), límite mínimo (L mín) y umbral fisiológico (UF), para maíces tempranos del norte de la región pampeana (NRP). a) sitio 1 (Loma) y b) sitio 2, 3, 4 y 5 (Bajo). El área sombreada representa el período crítico.

Figure 2-Appendix. Decadal water content in soil profile (Alm), maximum limit (L max), minimum limit (L min), and physiological threshold (UF) for experimental sites in the Northern Pampas early sowing (NRPte). a) site 1 (hill) and b) sites 2, 3, 4, and 5 (lowland). The shaded area represents critical period.

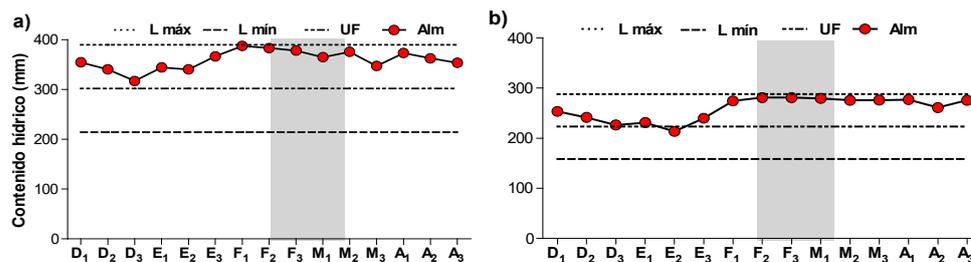


Figura 3-Apéndice. Almacenamiento decadal de agua en el perfil de suelo (Alm), límite máximo (L máx), límite mínimo (L mín) y umbral fisiológico (UF), para maíces tardíos del norte de la región pampeana (NRP). a) sitio 6, 7, 8, 9 y 10 y b) sitio 11, 12, 13 y 14. El área sombreada representa el período crítico.

Figure 3-Appendix. Decadal water content in soil profile (Alm), maximum limit (L max), minimum limit (L min), and physiological threshold (UF) for experimental sites in the Northern Pampas early sowing (NRPte). a) sites 6, 7, 8, 9 and 10, and b) sites 11, 12, 13 and 14. The shaded area represents critical period.

Tabla 2-Apéndice. Rendimiento, eficiencia de uso de N (EUN), N en grano (Ngr) y N en base de tallo (NBT) para cada una de las dosis de N aplicada y sitios del Norte de la Región Pampeana y siembras tempranas (NRPte). Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas entre dosis para cada sitio, mientras que letras mayúsculas indican diferencias significativas entre sitios para cada dosis de N.

Table 2-Appendix. Yield, nitrogen use efficiency (EUN), N grain (Ngr) and basal stalk nitrate for each N rate and sites of Northern Pampas early sowing (NRPte). Different lowercase letters indicate significant differences ($p < 0,05$) between N rates for each site, while capital letters indicate differences between sites for each N rate.

Norte Región Pampeana (NRP)									
Maíces tempranos (te)									
Sitio	Dosis	Rendimiento		EUN		Ngr (%)		NBT (mg kg ⁻¹)	
		(kg ha ⁻¹)		(kg grano kg N ⁻¹)					
1	0	5409	dD			1,03	dA	414	cB
	40	6263	cdD	21,4	A	1,11	cdA	627	bcB
	80	6764	bcD	16,9	A	1,22	bcA	724	abcAB
	120	6674	abD	10,5	A	1,28	bA	906	abA
	200	6977	aD	7,8	A	1,34	aA	1041	aAB
2	0	8459	dC			1,10	dA	779	bA
	40	9331	cdC	21,8	A	1,23	cdA	803	bA
	80	9629	bcC	14,6	A	1,24	bcA	873	bA
	120	10370	abC	15,9	A	1,30	bA	986	abA
	200	10151	aC	8,5	A	1,34	aA	1128	aA
3	0	9544	dB			0,97	dB	455	cB
	40	9916	cdB	9,3	A	1,01	cdB	511	cBC
	80	10881	bcB	16,7	A	1,11	bcB	519	bcBC
	120	11060	abB	12,6	A	1,10	bB	619	bB
	200	12645	aB	15,5	A	1,18	aB	799	aB
4	0	9302	dBC			0,95	dB	404	aB
	40	9419	cdBC	2,9	A	0,97	cdB	320	aD
	80	9926	bcBC	7,8	A	0,99	bcB	358	aC
	120	11241	abBC	16,2	A	1,08	bB	325	aC
	200	11604	aBC	11,5	A	1,17	aB	369	aC
5	0	10169	dA			0,99	dB	295	bB

40	11396	cdA	30,7	A	1,01	cdB	348	bCD
80	12369	bcA	27,5	A	1,09	bcB	377	bC
120	12729	abA	21,3	A	1,14	bB	434	bBC
200	14404	aA	21,2	A	1,22	aB	1158	aA

Tabla 3-Apéndice. Rendimiento, eficiencia de uso de N (EUN), N en grano (Ngr) y N en base de tallo (NBT) para cada una de las dosis de N aplicada y sitios del Norte de la Región Pampeana y siembras tardías (NRPTa). Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas entre dosis para cada sitio, mientras que letras mayúsculas indican diferencias significativas entre sitios para cada dosis de N.

Table 3-Appendix. Yield, nitrogen use efficiency (EUN), N grain (Ngr) and basal stalk nitrate for each N rate and sites of Northern Pampas late sowing (NRPTa). Different lowercase letters indicate significant differences ($p < 0,05$) between N rates for each site, while capital letters indicate differences between sites for each N rate.

Norte Región Pampeana (NRP)									
Maíces tardíos (ta)									
Sitio	Dosis	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	EUN (kg grano kg N ⁻¹)	Ngr (%)	NBT (mg kg ⁻¹)				
6	0	13154	cB		1,15	bCDE	415	cCD	
	40	13073	bcB	0,0	E	1,22	abB	593	cE
	80	12304	abB	0,0	E	1,26	aBC	660	cDE
	120	12904	aB	0,0	E	1,26	aBC	2633	bCD
	200	13648	abB	2,5	E	1,28	aD	3428	aABC
7	0	12865	cA		1,04	bE	352	bCD	
	40	13250	bcA	9,6	ABC	1,10	bC	256	bE
	80	14480	abA	20,2	ABC	1,18	aC	1403	abCDE
	120	14460	aA	13,3	ABC	1,20	aC	3216	aABCD
	200	14139	abA	6,4	ABC	1,18	aE	2289	abC
8	0	10419	cD		1,32	aB	1572	bBC	
	40	10581	bcD	4,1	ABCD	1,27	aB	2044	abBCD
	80	11114	abD	8,7	ABCD	1,29	aBC	2057	abCD
	120	11242	aD	6,9	ABCD	1,32	aBC	2118	abD
	200	11073	abD	3,3	ABCD	1,32	aCD	2501	aBC
9	0	9610	cDE		1,26	aBCD	2107	bB	
	40	10662	bcDE	26,3	AB	1,28	aB	3240	abA
	80	10520	abDE	11,4	AB	1,33	aBC	3891	aAB
	120	11283	aDE	13,9	AB	1,31	aBC	2994	abBCD
	200	11395	abDE	8,9	AB	1,30	aCD	3420	abABC
10	0	13343	cAB		1,24	aBCD	1160	cABC	
	40	13579	bcAB	5,9	BCD	1,26	aB	2700	bcABC
	80	13623	abAB	3,5	BCD	1,29	aBC	4185	abA
	120	13667	aAB	2,7	BCD	1,31	aBC	4076	abABC
	200	13479	abAB	0,7	BCD	1,31	aCD	4892	aAB
11	0	9215	cEF		1,14	cDE	179	bD	
	40	9761	bcEF	13,7	ABC	1,30	bB	198	bE

		80	10449	abEF	15,4	ABC	1,36	bB	246	bE
		120	10622	aEF	11,7	ABC	1,34	bB	348	bE
		200	10149	abEF	4,7	ABC	1,52	aB	2350	aC
12		0	9604	cF			1,76	aA	3420	abA
		40	9551	bcF	0,0	BCD	1,76	aA	3006	bAB
		80	9978	abF	4,7	BCD	1,73	aA	3919	abAB
		120	10353	aF	6,2	BCD	1,71	aA	4435	aAB
		200	10017	abF	2,1	BCD	1,72	aA	4029	abABC
13		0	12051	cC			1,28	bB	354	cCD
		40	12114	bcC	1,6	DE	1,29	bB	1213	bcDE
		80	12049	abC	0,0	DE	1,33	abB	2345	abBC
		120	12213	aC	1,4	DE	1,34	abB	2957	bBCD
		200	12193	abC	0,7	DE	1,38	aC	4853	aAB
14		0	8498	cF			1,27	aBC	1246	bABC
		40	9693	bcF	29,9	A	1,26	aB	1918	bCD
		80	9807	abF	16,4	A	1,27	aBC	2003	bCD
		120	10237	aF	14,5	A	1,28	aBC	4647	aA
		200	9829	abF	6,7	A	1,31	aCD	5802	aA

Tabla 4-Apéndice. Rendimiento, eficiencia de uso de N (EUN), N en grano (Ngr) y N en base de tallo (NBT) para cada una de las dosis de N aplicada y sitios del Sudeste Bonaerense (SEB). Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas entre dosis para cada sitio, mientras que letras mayúsculas indican diferencias significativas entre sitios para cada dosis de N.

Table 4-Appendix. Yield, nitrogen use efficiency (EUN), N grain (Ngr) and basal stalk nitrate for each N rate and sites of Southeastern Pampas (SEB). Different lowercase letters indicate significant differences ($p < 0,05$) between N rates for each site, while capital letters indicate differences between sites for each N rate.

Sudeste Bonaerense (SEB)									
Sitio	Dosis	Rendimiento		EUN		Ngr (%)	NBT (mg kg ⁻¹)		
		(kg ha ⁻¹)		(kg grano kg N ⁻¹)					
1	0	7750	cD			1,49	aA	1266	dA
	40	8173	bcD	10,6	AB	1,52	aA	3500	cA
	80	8581	abD	10,4	AB	1,56	aA	4220	bcA
	120	8465	aD	6,0	AB	1,56	aA	4844	bA
	200	8502	aD	3,8	AB	1,59	aA	7046	aA
2	0	7704	cDE			1,35	aAB	1205	bAB
	40	7577	bcDE	0,0	B	1,36	aBC	1407	bB
	80	7535	abDE	0,0	B	1,42	aAB	2251	bBC
	120	8071	aDE	3,1	B	1,42	aABCD	2349	bBC
	200	8525	aDE	4,1	B	1,41	aCD	3630	aCDE
3	0	8045	cC			1,34	aB	115	cAB
	40	9083	bcC	26,0	A	1,42	aAB	1174	cBC
	80	10127	abC	26,0	A	1,49	aAB	1972	cC
	120	9966	aC	16,0	A	1,48	aABC	3229	bB
	200	9842	aC	9,0	A	1,47	aBC	4761	aBCD

4	0	7378	cDE			1,18	aCD	446	bC
	40	7429	bcDE	1,3	AB	1,20	aD	713	abCDE
	80	8187	abDE	10,1	AB	1,29	aB	1117	abD
	120	8093	aDE	6,0	AB	1,32	aCD	1327	abCD
	200	8577	aDE	6,0	AB	1,32	aD	2774	aDE
5	0	9226	cBC			1,34	cB	295	cC
	40	9388	bcBC	4,1	AB	1,38	bcABC	288	cE
	80	9980	abBC	9,4	AB	1,40	abcAB	543	bcD
	120	10192	aBC	8,1	AB	1,49	abAB	670	bD
	200	10649	aBC	7,1	AB	1,50	aABC	2170	aE
6	0	9982	cB			1,26	cBCD	275	cC
	40	10179	bcB	4,9	AB	1,32	bcBCD	378	cE
	80	10588	abB	7,6	AB	1,35	abcB	1046	bcD
	120	10342	aB	3,0	AB	1,41	abABCD	2144	bBCD
	200	11651	aB	8,3	AB	1,47	aBC	6330	aAB
7	0	8857	cBC			1,22	aBCD	917	dB
	40	9529	bcBC	16,8	AB	1,27	aCD	1083	dBCD
	80	9837	abBC	12,3	AB	1,29	aB	2674	cB
	120	11136	aBC	19,0	AB	1,29	aD	3682	bAB
	200	11529	aBC	13,4	AB	1,32	aD	5239	aABC
8	0	12111	cA			1,32	aBC	1069	dAB
	40	12493	bcA	9,6	AB	1,38	aABC	1044	dBCD
	80	12805	abA	8,7	AB	1,38	aAB	2064	cC
	120	13897	aA	14,9	AB	1,41	aABCD	3355	bAB
	200	13305	aA	6,0	AB	1,43	aC	4927	aAB- CD
9	0	6688	cE			1,17	cD	550	bC
	40	6973	bcE	7,1	AB	1,26	bcCD	592	bDE
	80	7802	abE	13,9	AB	1,33	bB	706	bD
	120	7591	aE	7,5	AB	1,34	bBCD	1018	bCD
	200	7121	aE	2,2	AB	1,55	aAB	3243	aCDE