

Respuesta a la fertilización y eficiencia en el uso del nitrógeno en maíz de siembra tardía sobre diferentes antecesores utilizando inhibidores de ureasa*

Fernando Salvagiotti, Facundo Ferraguti y Amalia Manlla¹

Introducción

La fertilización nitrogenada en maíz es imprescindible para el logro de altos rendimientos y una alta eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) es deseable. En la región pampeana norte argentina, tradicionalmente, se siembra entre septiembre y octubre. Es decir, a la salida del invierno donde coinciden bajas temperaturas y un bajo nivel de precipitaciones, por lo que la oferta de nitrógeno (N) a la siembra es baja. En estas condiciones, Salvagiotti et al. (2011) observaron concentraciones de N-NO₃ de hasta 15 ppm en los 60 cm superficiales del suelo, determinando umbrales de N disponible a la siembra (Nds) entre 135 y 161 kg N ha⁻¹ según el potencial de producción del sitio. Dada la amplitud de la ventana agroclimática en la región, en los últimos años se ha difundido la siembra de maíz en fechas tardías, a partir de mediados de diciembre. La dinámica del N en el suelo en esta época es diferente con respecto de siembras tempranas, ya que las temperaturas son mayores y la disponibilidad hídrica es más alta, afectando la mineralización de la materia orgánica (MO). Por otra parte, los cultivos se siembran sobre diferentes cultivos antecesores (i.e. sobre rastrojo de trigo como cultivo de segunda, o sobre rastrojo de soja). Dada la diferente calidad de estos residuos, también se afectará la mineralización del N y la respuesta a la fertilización nitrogenada. Todos estos aspectos relacionados con la respuesta del cultivo a la fertilización con N en siembras tardías, no han sido explorados profundamente.

Muchas veces la fertilización nitrogenada se realiza haciendo aplicaciones al voleo de urea. Las pérdidas por volatilización de N como amonio a partir de urea, pueden llegar a ser importantes dependiendo de la temperatura y humedad imperante y de la cantidad de rastrojos. En siembras de diciembre, Salvagiotti y Vernizzi (2006) midieron pérdidas por volatilización de hasta 30 kg N ha⁻¹, cuando la urea fue aplicada al voleo, equivalentes a un 25% de pérdida del fertilizante aplicado. Una de las formas de disminuir las pérdidas por volatilización es a través del uso de aditivos que inhiban la actividad de la enzima ureasa como, por ejemplo, el aditivo nBTPT [triamida N-(n-butyl) tiofosfórica]. Este aditivo presenta potencial para ser utilizado cuando los cultivos de verano son fertilizados en condiciones extremas de temperatura sin ser incorporados al suelo.

Estudios previos realizados en el SE de Buenos Aires (Sainz Rozas et al., 1999; Barbieri et al., 2010) mostraron que el aditivo fue efectivo para reducir las pérdidas por volatilización desde urea aplicada en superficie, pero sin impacto en el rendimiento. Sin embargo, estos experimentos fueron realizados con temperaturas más bajas en contraposición a lo que se puede registrar en maíz de siembra tardía en la región pampeana norte, con temperaturas que superan en promedio los 25 °C. El objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto del agregado de nBTPT en urea sobre la respuesta a la fertilización nitrogenada y la EUN en maíces de siembra tardía sobre diferentes antecesores en la región pampeana norte.

Materiales y métodos

Durante las campañas 2009-10 y 2010-11, se realizaron ensayos de fertilización nitrogenada en maíz sobre antecesores trigo y soja en la EEA INTA Oliveros. Los ensayos se implantaron en siembra directa, sobre un suelo Argiudol típico, serie Maciel, con más de 40 años de historia agrícola. En cada ensayo, los tratamientos surgieron de la combinación de 6 dosis (0, 60, 90, 120, 150 y 180 kg N ha⁻¹) y 2 fuentes (urea y urea + nBTPT) aplicadas al voleo luego de la siembra. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Todas las parcelas fueron fertilizadas con 20 kg P ha⁻¹ y 20 kg S ha⁻¹. A la siembra se realizó un muestreo de suelo para determinar el contenido de N-NO₃ hasta los 60 cm, pH, P extractable y MO. En madurez fisiológica se determinó, sobre 1 m², la biomasa producida por el cultivo en estructuras vegetativas y grano. Las muestras fueron molidas y se determinó el contenido de N en tejido a través de una digestión Kjeldahl. A cosecha se determinó rendimiento y peso de los granos. Los datos fueron analizados a través del procedimiento PROC MIXED de SAS para detectar los efectos de dosis de N, nBTPT, antecesor, y sus interacciones, sobre las variables medidas. Se analizaron los diferentes componentes de la EUN en la dosis óptima económica (DOE, para relación de precios N:grano de 10:1): eficiencia agronómica (EAN, kg grano kg N aplicado⁻¹), eficiencia fisiológica (EFN, kg grano kg N absorbido⁻¹), eficiencia de absorción (EAbN, kg N absorbido kg N aplicado⁻¹) y la productividad parcial del factor (PPF, kg grano kg N aplicado⁻¹).

¹ EEA INTA Oliveros, Ruta 11 km 353, (2206) Oliveros, Santa Fe, Argentina. Correo electrónico: fsalvagiotti@correo.inta.gov.ar

* Trabajo presentado en el XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo - XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 16-20 de Abril de 2012, Mar del Plata, Argentina.

Resultados y discusión

El rendimiento promedio de los dos años de ensayo fue de 12 410 kg ha⁻¹, observándose una interacción de la respuesta del cultivo a la fertilización con N según el cultivo antecesor ($P < 0.06$) (Tabla 1). La interacción significativa sitio-año (sa)*Cultivo antecesor (Ant) estuvo explicada por los efectos significativos del antecesor en la campaña 2010-11 ($P < 0.05$) (Tabla 1). En promedio, la fertilización con N incrementó el rendimiento significativamente hasta un 31% con la dosis más alta de N, aunque dicha respuesta fue diferente de acuerdo al cultivo antecesor. La respuesta en rendimiento a la

dosis más alta de N fue de 2186 y 4159 kg ha⁻¹ para antecesor soja y trigo, respectivamente (Figura 1a). Esta diferencia de respuesta entre antecesores fue debida a la mayor disponibilidad de N cuando el antecesor fue soja, en promedio 146 kg N ha⁻¹, respecto de los 53 kg N ha⁻¹ disponibles a la siembra cuando el cultivo previo fue trigo. La relación entre el N absorbido en R6 (madurez fisiológica) y la disponibilidad de N a la siembra fue lineal (Figura 1b). Las pendientes de esta relación, que indican la eficiencia de absorción de N a lo largo de todos los niveles de N estudiados, fueron similares en los dos antecesores (ca. 40% de eficiencia de absorción). Sin embargo, las ordenadas al origen,

Tabla 1. Análisis de la varianza de rendimiento, N absorbido en parte aérea en R6, y contenido de N en grano en maíz de siembra tardía sobre dos cultivos antecesores (Ant= soja y trigo) fertilizado con diferentes dosis de N (Nf) utilizando dos fuentes de fertilizante nitrogenado (Urea y Urea + nBTPT) en dos sitio-año (SA).

Fuente de variación	Rendimiento	N absorbido en R6	Contenido de N en grano
	kg ha ⁻¹		
	Probabilidades Test F		
Sitio Año (sa)	0.19	0.87	0.04
Antecesor (Ant)	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Fuente (F)	0.58	0.64	0.29
Dosis de N (Nf)	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Ant*Nf	<0.0001	0.84	0.44
F*Nf	0.43	1.00	0.92
sa*Nf	0.30	0.75	0.39
Ant*F	0.06	0.45	0.04
sa*Ant	<0.0001	<0.0001	<0.0001
sa*F	0.05	0.08	0.23
sa*Ant*F	0.21	0.93	0.36
sa*Ant*Nf	0.56	0.01	0.81
Ant*F*Nf	0.64	0.82	0.32
sa*F*Nr	0.78	0.90	0.98
sa*Ant*F*Nf	0.63	0.84	0.99

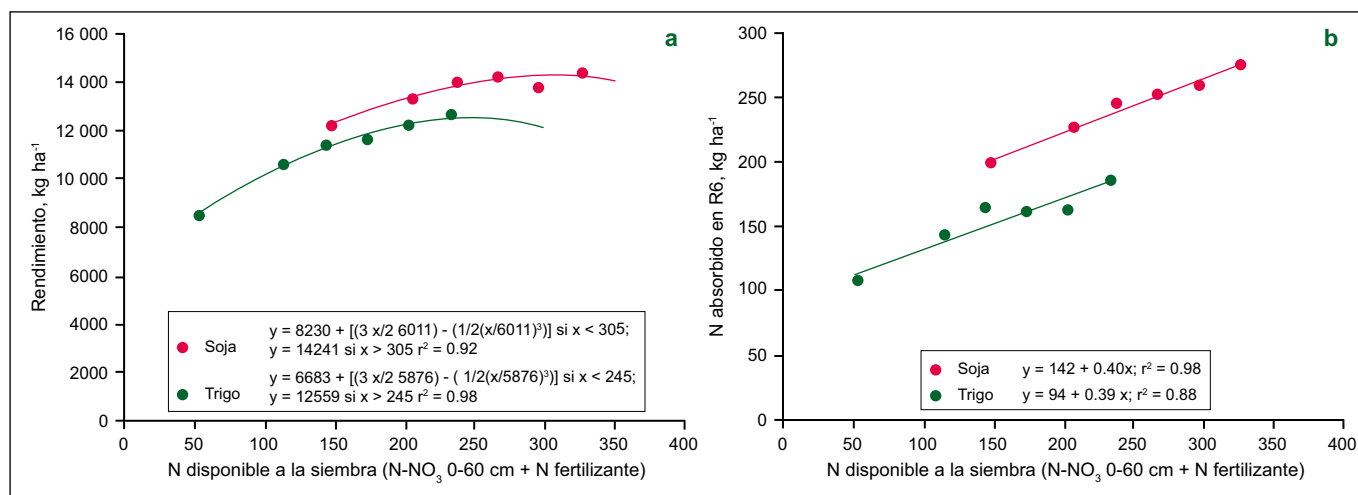


Figura 1. Rendimiento (a) y N absorbido en R6 (b) en respuesta a la fertilización nitrogenada en cultivo de maíz de siembra tardía según el cultivo antecesor. Los datos son promedio de dos años y dos fuentes de N.

que indicarían la disponibilidad de N que tuvo el cultivo en ausencia de fertilización, fue mayor luego de soja respecto de trigo (142 vs 94 kg N ha⁻¹) indicando el efecto del cultivo antecesor sobre la disponibilidad de N a lo largo del ciclo del cultivo (**Figura 1**). El contenido de N en grano fue en promedio de 125 kg N ha⁻¹, siguiendo la misma tendencia de respuesta a los tratamientos que la observada con el N absorbido en R6 (**Tabla 1**). El N en grano representó en promedio el 64% del N total absorbido.

La utilización del aditivo nBTPT mostro interacción con el cultivo antecesor para la variable rendimiento (P<0.06) (**Tabla 1**). La adición de este aditivo solo mostró incrementos significativos en el rendimiento de ca. 12% cuando el cultivo antecesor fue trigo. El efecto positivo de la adición de nBPT a la urea fue observada en la campaña 2009-10, no detectándose diferencias en 2010-11 (interacción sa * fuente (F)

significativa) (**Tabla 1**). Las diferencias observadas en el rendimiento no fueron detectadas al evaluar el N absorbido en R6 (**Figura 2**). Es importante remarcar que el periodo entre la aplicación de los fertilizantes y la ocurrencia de lluvias que incorporaron el mismo (mayores a 10 mm) fue de 10 días en los dos años. En 2009-10, la temperatura media fue 26.7 °C, con valores de 34.2 y 19.9 °C para las temperaturas medias máxima y mínima, respectivamente; mientras que en 2010-11 la temperatura media fue de 26 °C, con valores de 33.6 y 18.9 °C para las temperaturas medias máxima y mínima, respectivamente. Al cabo de estos periodos se registraron precipitaciones de 40 mm que incorporaron el fertilizante.

Dado que el N disponible fue inferior cuando el cultivo previo fue trigo, la DOE fue un 86% superior respecto de la observada cuando el cultivo antecesor fue soja (P<0.06) (**Tabla 2**). Cuando el cultivo antecesor fue trigo,

Tabla 2. Efecto del cultivo antecesor y la fuente de N sobre indicadores de la eficiencia del uso del N en la dosis óptima económica (DOE): Eficiencia agronómica del uso del N (EAN, kg grano kg N fertilizante⁻¹), Eficiencia fisiológica del uso del N (EFN, kg grano kg N absorbido⁻¹), Eficiencia de absorción de N (EAbsN, kg N absorbido kg N fertilizante⁻¹) y Productividad parcial de factor (PPF, kg grano kg N fertilizante⁻¹).

Cultivo Antecesor (Ant)	Fuente (F)	DOE *	N disponible en DOE	Rendimiento en DOE	EAN	EFN	EAbsN	PPF
Trigo	Urea+nBTPT	200	54	13 214	16.9	35.2	0.60	244
	Urea	193	47	13 360	16.8	36.4	0.54	297
Soja	Urea+nBTPT	143	90	11 223	27.3	71.6	0.52	124
	Urea	153	100	11 023	21.6	61.1	0.46	109
Fuente de variación			Probabilidades Test F					
Ant			0.06	0.41	0.02	0.19	0.68	0.005
F			0.93	0.99	0.17	0.82	0.74	0.45
Ant*F			0.60	0.94	0.19	0.77	0.98	0.22

* DOE estimada con una relación de precios N: grano = 10:1.

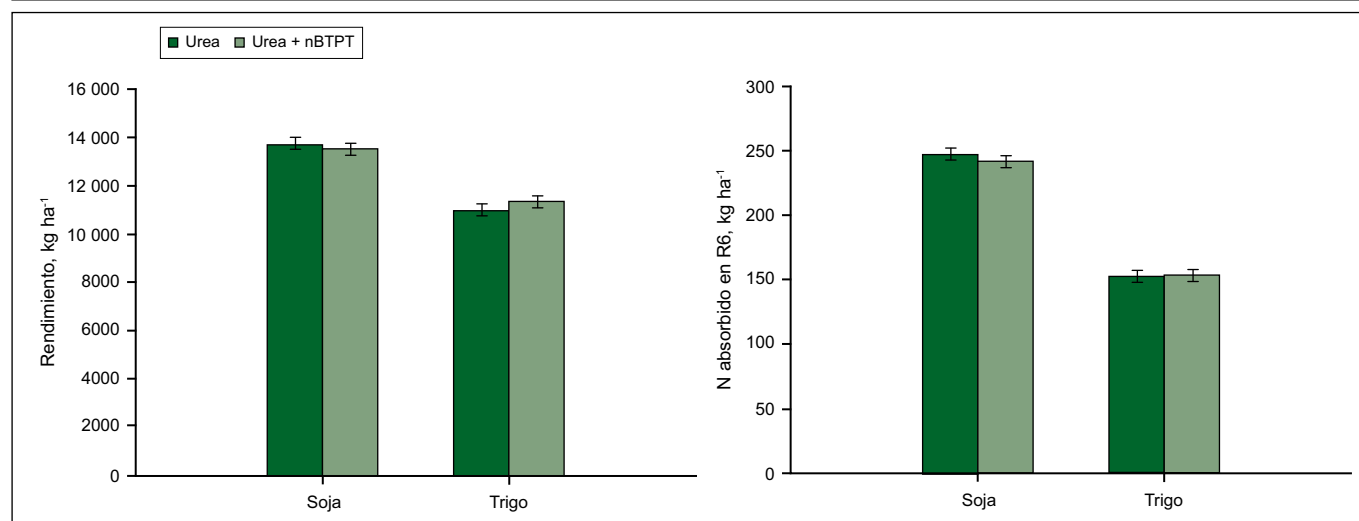


Figura 2. Rendimiento y N absorbido en R6 en función del cultivo antecesor y fuente de N utilizada. Los datos son promedio de dos años y seis niveles de N.

la EAN en la DOE fue un 45% superior respecto de la observada para soja (24.5 vs 16.9 kg de incremento en grano por kg de N aplicado como fertilizante). Por otra parte, la PPF fue 2.3 veces superior cuando el cultivo antecesor fue soja (**Tabla 2**). Este índice integra todas las fuentes de N del suelo en relación a la productividad del cultivo, por lo que el menor valor observado en trigo muestra la menor disponibilidad de N cuando el cultivo antecesor es trigo, ya sea por inmovilización inmediata del rastrojo, como así también por el mayor consumo de N que haría el trigo como cultivo predecesor. Wortmann et al. (2011) también habían observado mayores PPF cuando los cultivos antecesores eran soja o poroto, respecto de antecesor maíz. No se observaron efectos significativos de la aplicación del nBTPT en urea sobre los distintos componentes de la EUN evaluados a la DOE.

Conclusión

El potencial de producción de los maíces de siembra tardía en los experimentos realizados fue alto y mostró respuesta a la fertilización de diferente magnitud dependiendo del cultivo antecesor. El uso de nBTPT tuvo efecto cuando el cultivo antecesor fue trigo. Sin embargo, estas ventajas no se vieron reflejadas en algún componente de la EUN cuando se evaluó la DOE. Esto sugiere que los mayores efectos se notarían a mayores niveles de fertilización nitrogenada.

Agradecimientos

Estos ensayos fueron parcialmente financiados por el proyecto SANFE 610021 y Profértil S.A.

Bibliografía

- Barbieri, P.A., H.E. Echeverria, H. Sainz Rozas, y M. Maringolo. 2010. Fertilización de maíz con urea de liberación lenta: Pérdida por volatilización y eficiencia de uso de nitrógeno. *Ciencia del Suelo* 28:57-66.
- Sainz Rozas, H., H.E. Echeverria, G.A. Studdert, y F. Andrade. 1999. No-till maize nitrogen uptake and yield: Effect of urease inhibitor and application time. *Agronomy Journal* 91:950-955.
- Salvagiotti, F., y A. Vernizzi. 2006. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su efecto en el rendimiento del cultivo de maíz. Para mejorar la producción - INTA Oliveros 32:96-102.
- 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. *Ciencia del Suelo* 29 (2), en prensa.
- Wortmann, C., D.D. Tarkalson, C.A. Shapiro, A.R. Dobermann, R.B. Ferguson, G.W. Hergert, y D. Walters. 2011. Nitrogen Use Efficiency of Irrigated Corn for Three Cropping Systems in Nebraska. *Agron J* 103:76-84.*

