

MOMENTOS DE APLICACIÓN Y FUENTES DE NITRÓGENO EN MAÍZ

Melchiori R.J.M.¹, Barbagelata P.A.^{1,2}, Albarenque S.M.² y Faccendini N.²

¹Grupo Recursos Naturales y Factores Abióticos. INTA EEA Paraná

²FCA-UNER

Introducción

La inclusión del maíz en sistemas de agricultura continua en siembra directa es una alternativa muy conveniente para mejorar el balance de carbono de los suelos, debido a la alta productividad del cultivo y, consecuentemente, al alto aporte de rastrojos que éste genera. Sin embargo, para la inclusión del maíz en los planteos agrícolas, se debe tener en cuenta la alta susceptibilidad de este cultivo ante diferentes tipos de estrés, entre ellos los ocasionados por déficit nutricionales.

El maíz tiene altos requerimientos de nutrientes, proporcionales al rendimiento del cultivo, por lo cual el gasto de una adecuada fertilización representa una proporción importante de los costos directos en sistemas de alta productividad. Es por eso que, en el contexto actual, y con relaciones de precios grano/fertilizantes poco favorables, el mejoramiento de la eficiencia de uso de estos insumos cobra singular importancia.

En sistemas en siembra directa, la acumulación de rastrojos en superficie tiene un efecto favorable contra la erosión, y mejora la economía del agua (Doran, 1980). Sin embargo, también afecta la dinámica del nitrógeno (N), y puede incidir negativamente en la eficiencia del uso de los fertilizantes, a través de un mayor efecto de los procesos de inmovilización y/o pérdidas de N en general (Fox y Bandel, 1986). En estas condiciones, la urea (U) debido a su mayor susceptibilidad a las pérdidas por volatilización (Keller y Mengel, 1986), podría tener menor eficiencia respecto a otras fuentes de N. Al respecto, Bandel *et al.* (1980) propusieron la incorporación de la urea debajo de los rastrojos para evitar pérdidas por volatilización. Esta práctica requiere equipamiento especial y se restringe su aplicación a estadios tempranos del cultivo donde la altura del mismo permite el tránsito de algunas máquinas. Otra opción es la que proponen García *et al.* (1999), consistente en la utilización de fertilizantes con fuentes alternativas de N con menor potencial de volatilización como el nitrato de amonio (NA), o

nitrato de amonio calcáreo (CAN). Actualmente, se dispone también de fertilizantes líquidos con menor potencialidad de pérdidas por volatilización, como la mezcla de urea-nitrato de amonio en solución (UAN) con tiosulfato de amonio, molécula esta última que hace al UAN menos susceptible a pérdidas de N por volatilización, a la vez que es fuente de azufre para los cultivos.

En evaluaciones realizadas en Argentina se han reportado altas pérdidas de N por volatilización (40%), cuando se aplica urea en cobertura, en la región central de Santa Fe (Fontanetto *et al.*, 2002), mientras que, en ambientes del sudeste bonaerense, se han determinado pérdidas mucho menores (Sainz Rosas *et al.*, 1997) y escasas o nulas diferencias en rendimiento y en eficiencia de uso de N (Sainz Rosas *et al.*, 1999; Barbieri *et al.*, 2004). En forma concordante, los resultados obtenidos en la región pampeana central por Gudelj *et al.* (2002) no evidencian diferencias entre fuentes de N en maíz. Para la misma región, Ferrari *et al.* (2000) determinaron que los procesos de intercepción e inmovilización explicaban el 69 a 80% de las diferencias entre fuentes de N, siendo poco significativo el efecto de la volatilización.

Resultados obtenidos recientemente en nuestra región (Melchiori *et al.*, 2005), sustentan la posibilidad de diferir las aplicaciones de N a estadios más tardíos que los habitualmente recomendados. Estas experiencias, se han realizado utilizando urea como fuente de N, y no se dispone a nivel local hasta el momento de comparaciones de urea respecto a otras fuentes potencialmente menos susceptibles a pérdidas por volatilización, aplicadas en diferentes momentos del ciclo del cultivo de maíz.

Se plantea como objetivo de este trabajo evaluar el efecto de la aplicación de N, en distintos momentos y con diferentes fuentes, sobre el rendimiento en grano y la eficiencia de uso del nitrógeno en el cultivo de maíz.

Materiales y Métodos

Durante las campañas 2006/07 se condujo un experimento en el campo experimental de la EEA Paraná del INTA (Entre Ríos, Argentina 31,5° S; 60,31° W; 110 m.s.n.m), sobre un suelo Argiudol ácuico, Serie Tezanos Pinto, con un contenido de MO de 3,94%, 32 ppm de P Bray, un pH de 6,6 y una disponibilidad de N de nitratos hasta los 60 cm de profundidad de 62 kg de N/ha.

El cultivo antecesor fue trigo/soja y en el momento de la implantación del experimento la cantidad de rastrojos en superficie era de 4800 kg de materia seca/ha.

El cultivo se sembró el 18 de septiembre con una sembradora neumática con una densidad de 92500 semillas/ha, y se aplicaron al momento de la siembra 100 kg/ha de superfosfato triple de calcio.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con 4 repeticiones, con unidades experimentales de 5 surcos de ancho y 20 m de largo. El experimento incluyó dos factores: i) momentos de aplicación del N: a la siembra, y a los estadios de seis (V6) y diez hojas expandidas (V10), y ii) fuentes de N: urea (U, 46% N), urea + nitrato de amonio en solución (UAN, 32% N), urea + nitrato de amonio + tiosulfato de amonio en solución (UAN+T; 28% N 5,6% S), y nitrato de amonio cálcico (27% N). La dosis de N fue de 80 kg de N/ha y se incluyó un control sin N.

Al momento de la siembra se aplicó 100 kg/ha de sulfato de calcio (18% S) en cobertura para remover al azufre (S) como posible limitante del rendimiento del cultivo.

Los fertilizantes nitrogenados granulados se aplicaron en forma manual, en cobertura total al momento de la siembra y en cobertura en los entresurcos en los estadios de V6 y V10. Los fertilizantes líquidos se aplicaron chorreados a 52 cm de espaciamiento mediante el empleo de un equipo manual a presión constante con pastillas tipo D4.

Antes de cada momento de aplicación (V6 y V10) y en madurez fisiológica se determinó la biomasa aérea total acumulada (MS), se determinó la concentración de N en granos y planta y se calculó el N total acumulado en granos (Ng), y en planta (Np). Se calculó la eficiencia de utilización del N (EUN = respuesta en kg de grano/kg de N aplicado), la eficiencia fisiológica del N (EFN = respuesta en kg de grano/kg de N acumulado en planta a madurez) y de recuperación del N aplicado (ERN = kg/ha de N acumulado del fertilizante/kg de N aplicado). El N acumulado del fertilizante se

calculó como la diferencia entre el N acumulado en los tratamientos fertilizados y el testigo.

El rendimiento del cultivo se determinó mediante cosecha y trilla manual (10 m²/parcela), expresándose los rendimientos al 14,5% de humedad. Las relaciones entre variables se estudiaron mediante estadísticos descriptivos y regresiones lineales simples y análisis de variancia.

Resultados

Las condiciones ambientales de la campaña 2006 fueron muy favorables para el crecimiento del cultivo de maíz. Durante el ciclo del cultivo las precipitaciones ocurridas totalizaron 850 mm, de los cuales aproximadamente 300 mm ocurrieron durante un período de 30 días centrados en floración. Desde la siembra al estadio de V6, las lluvias totalizaron 98 mm, entre V6 y V10 124 mm, mientras que desde V10 transcurrieron 18 días hasta un evento de precipitación importante, suficiente para incorporar los fertilizantes nitrogenados al suelo, y posibilitar la absorción por el cultivo.

No hubo interacción fuente de N x momento de aplicación de N ($p > 0,05$), hubo efecto significativo del momento de aplicación del N. La postergación de las aplicaciones desde siembra a hasta V6 y V10 causaron reducciones significativas ($p < 0,05$) en el rendimiento, de un 10 y 14%, respectivamente (Figura 1 A). El rendimiento medio de los tratamientos con fertilización a la siembra, en V6 y en V10 fueron de 13376, 12075 y 11555 kg/ha, respectivamente.

El N aplicado produjo una respuesta media para todos los tratamientos y momentos de 2587 kg ha⁻¹. Las fuentes de N mostraron diferencias entre sí para el promedio de los tres momentos de aplicación. El rendimiento de los tratamientos con CAN, Urea, y UAN+T no difirió estadísticamente ($p > 0,05$). Los tratamientos con fuentes líquidas (UAN + T y UAN) tuvieron rendimientos similares ($p > 0,05$) y todos fueron superiores al testigo sin N (Figura 1, B).

En las eficiencias de uso del N, no hubo interacciones significativas entre el momento de aplicación del nitrógeno y la fuente empleada (Tabla 1). La eficiencia de uso del N media para todas las fuentes evidenció, al igual que el rendimiento, diferencias significativas entre momentos de aplicación. La EUN lograda con la aplicación de N en siembra (44,5 kg de maíz/kg de N aplicado) fue mayor que en V6 y V10 ($p < 0,05$), mientras que los dos momentos de aplicación durante el ciclo del cultivo fueron similares entre sí (28,3 y 24,1 kg de maíz/kg de N aplicado para V6 y V10, respectivamente).

Tabla 1: Eficiencia agronómica de uso del N (EUN = kg de grano/kg de N aplicado), eficiencia fisiológica de uso del N (EFN = kg de grano/kg de N acumulado en planta a madurez), eficiencia de recuperación del N aplicado (ERN = kg de N en planta acumulado a madurez en tratamientos fertilizados - kg de N en planta acumulado a madurez en Testigo/ N aplicado), para distintos momentos de aplicación y fuentes de nitrógeno en maíz.

	Aplicación en siembra				Aplicación en V6				Aplicación en V10			
	U	UAN	UAN+T	CAN	U	UAN	UAN+T	CAN	U	UAN	UAN+T	CAN
EUN	43	41	49	46	35	14	30	35	27	21	20	29
EFN	79	75	83	78	84	92	84	82	78	82	87	78
ERN	88	95	85	94	67	27	59	69	69	52	40	71

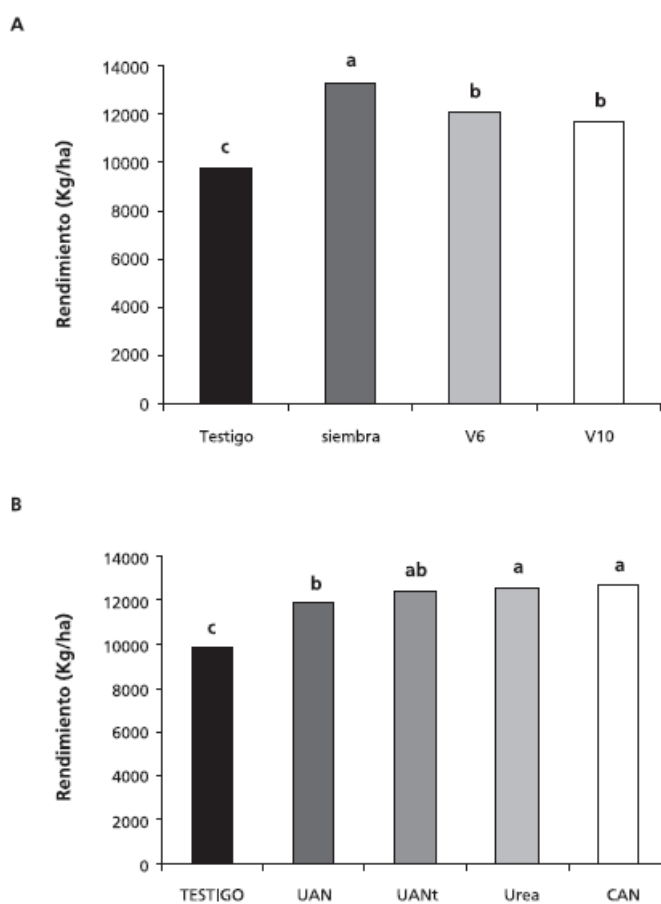


Figura 1: Rendimiento del cultivo de maíz en función del momento de aplicación, siembra, seis y diez hojas desplegadas, (V6 y V10, respectivamente) (A) y de la fuente de nitrógeno. (B) (U = urea, UAN = urea + nitrato de amonio en solución, UANt = urea + sulfato de amonio + tiosulfato de amonio en solución, CAN = nitrato de amonio calcáreo). Letras iguales indican diferencias no significativas según el test de diferencias mínimas significativas ($\alpha = 0,005$).

La eficiencia fisiológica de uso del N fue similar entre los momentos de aplicación en V6 y V10, y superior a la lograda en aplicaciones en siembra ($p < 0,05$). No hubo diferencias en la EFN entre las fuentes de N evaluadas.

La eficiencia de recuperación del N aplicado (ERN) fue afectada por el momento ($p < 0,05$) y la fuente de N, mientras que la interacción fuente x momento de aplicación no fue significativa. La ERN en siembra fue mayor ($p < 0,05$) que la lo-

grada en los estadios V6 y V10, en todos los casos en el promedio de las fuentes excedió un valor medio 50%.

La acumulación de N en planta, de manera esperable, siguió un comportamiento similar al mostrado por la acumulación de N en granos (no mostrado) y se asoció estrechamente a las variaciones en rendimiento (Figura 2). La recuperación de N del fertilizante (ERN) también fue proporcional al rendimiento del cultivo (Figura 3).

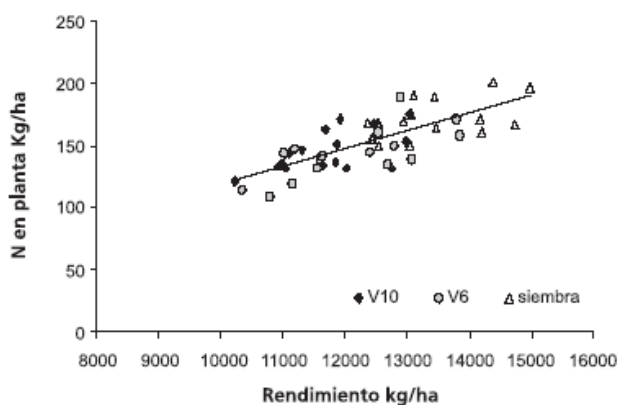


Figura 2: Relación entre el rendimiento del cultivo de maíz y acumulación de nitrógeno en planta para distintos momentos de aplicación de nitrógeno (V10, V6 y siembra).

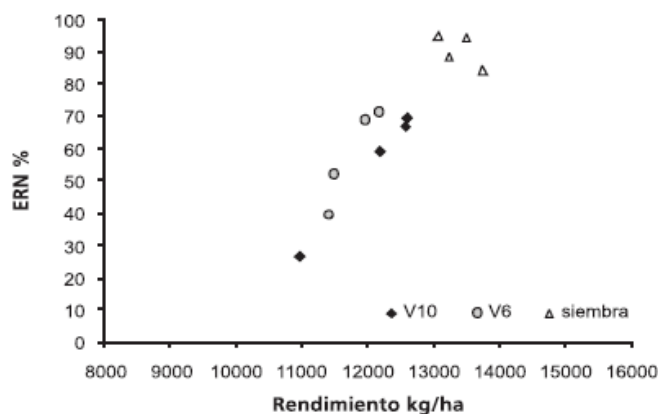


Figura 3: Relación entre el rendimiento del cultivo de maíz y la eficiencia de recuperación del N aplicado (ERN) para distintos momentos de aplicación de nitrógeno, siembra, seis (V6) y diez hojas (V10) (promedio para distintas fuentes de N).

Discusión

Las condiciones climáticas de la campaña, en particular las precipitaciones ocurridas desde siembra hasta V10, fueron las adecuadas para producir la incorporación de los fertilizantes al suelo y su posterior absorción por el cultivo. Las precipitaciones medias decádicas en la zona, exceden normalmente 30 mm para el mes de noviembre, período durante el cual se hacen aplicaciones de N postergadas, motivo por el cual no serían esperables diferencias importantes en la EUN entre fuentes, al menos en relación a la diferente potencialidad de pérdidas por volatilización.

Los resultados obtenidos no revelan diferencias importantes entre las fuentes de N evaluadas aplicadas en cobertura y en distintos momentos del ciclo del cultivo, la diferencia máxima entre éstas fue de un 7%.

El retardo en la aplicación del N ocasionó disminuciones de rendimiento, las cuales para la aplicación en V10 podrían ser explicadas por el hecho que el N estuvo disponible para el cultivo 18 días luego de la aplicación, aproximadamente en V14-15, después del primer evento de precipitación importante (31 mm) post aplicación. Comportamientos similares han sido informados por Scharf *et al.*, (2002), quienes informaron reducciones de rendimiento sólo cuando las aplicaciones se postergan más allá de V16. Otras experiencias conducidas en Paraná (Melchiori *et al.*, 2005) han mostrado elevadas respuestas a N en aplicaciones postergadas, antecedentes a partir de los cuales se puede inferir que los procesos de pérdidas no resultarían muy significativos, tal como muestran los resultados obtenidos por Ferrari *et al.*, (2000), que relativizan las pérdidas por volatilización. En el mismo sentido, Gudelj *et al.* (2002) no reportaron diferencias de rendimiento en comparaciones realizadas con fuentes de N similares.

Las eficiencias fisiológica de uso del N fue similar entre fuentes, y elevada a la siembra (90%), con valores puntales mayores a 100%, lo cual puede ser debido a un incremento de la mineralización del N del suelo como sugieren Rao *et al.* (1991) o a un mayor crecimiento radicular debido a la fertilización (Duriex *et al.*, 1994).

La EFN lograda en nuestras evaluaciones concuerdan con las obtenidas por Barbieri *et al.* (2004) con dosis y fuentes de N similares.

La eficiencia fisiológica de uso del N tuvo un comportamiento inverso al del la EUN, decreció en función de rendimiento y la acumulación de N en planta. Estos resultados, concuerdan con los de Barbieri *et al.* (2004), quienes señalan que la EFN es mayor a menores rendimientos, y en compensación con la mayor EUN que depende del rendimiento. Ma *et al.* (2006), informaron resultados en el mismo sentido, indicando requerimientos de N similares a los obtenidos en esta experiencia (Barbieri *et al.*, 2004 y Ma *et al.*, 2006).

Consideraciones finales

En las condiciones evaluadas, aunque las precipitaciones durante el período vegetativo fueron adecuadas, las aplicaciones de N en los distintos momentos evaluados afectaron el rendimiento del cultivo de maíz de manera diferente. Mientras que las fuentes de N utilizadas mostraron diferencias de manera independiente del momento de aplicación (siembra, V6 o V10).

La eficiencia de uso del N (EUN) fue afectada de la misma manera que el rendimiento, a excepción de la EFN que fue mayor con menores rendimientos.

La ERN fue elevada en todos los momentos de aplicación, así como para todas las fuentes de N empleadas.

Debido a que las condiciones climáticas impactan tanto sobre el rendimiento del cultivo, como sobre la dinámica y economía del N, es necesario dar continuidad a estos estudios durante varias campañas para poder validar los resultados.

Agradecimientos

Al personal auxiliar y de laboratorio del grupo de Recursos Naturales y Factores Abióticos de la EEA Paraná por su disposición y servicio. Los trabajos realizados fueron financiados por el Proyecto Diagnóstico de Fertilidad (PNECER 2342).

Bibliografía

- BANDEL V.A., DZIENIA S, and G. STANFORD 1980. Comparison of fertilizer for no-till corn. *Agron J.* 72:337-341
- BARBIERI P.A., ECHEVERRÍA H.E. y H.R. SAINZ ROZAS 2004. Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa al método de aplicación de nitrógeno. *Visión Rural* N° 53:9-12
- DORAN J.W. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:765-771
- DURIEX R.P., KAMPRATH E.J., JACKSON W.A. and R.H. MOLL 1994. Root distribution of corn: The effect of nitrogen fertilization. *Agron. J.* 86:958-962
- FERRARI M., OSTOJIC J., VENTIMIGLIA L., CARTA H., FERRARIS G., RILLO S., R. DE GALETTO M.L. y F. RIMATORI 2000. Fertilización de maíz: buscando una mayor eficiencia en el manejo del nitrógeno y el fósforo. *En: Jornada de Actualización Técnica para Profesionales Fertilidad 2000*. Rosario, abril de 2000. INPOFOS Cono Sur, Acassuso. p. 23-27
- FONTANETTO H., VIVAS H., KELLER O. y J. ROMERA 2002. Evaluación de la volatilización de amoníaco desde diferentes fuentes nitrogenadas en soja con siembra directa. *II Congreso Brasileiro de Soja, Mercosoja 2002*. Resumos: 229
- FOX R.H. and V.A. BANDEL 1986. Nitrogen utilization with no-tillage. *In* M.A. Sprague and G.B. Triplett (ed.) *No-tillage and surface-tillage agriculture: The tillage revolution*. John Wiley & Sons, New York. p. 117-255
- GARCIA F.O, FABRIZZI K.P., PICONE L.I. y J.F. JUSTEL 1999. Volatilización de amonio a partir de fertilizantes nitrogenados aplicados superficialmente bajo siembra directa y labranza convencional en Argentina. *XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. Pucon, Actas en CD.
- GUDELJ V., VALLONE P., GALARZA C. y B. MASIERO 2002. Evaluación de diferentes fuentes y formas de aplicación del nitrógeno en post emergencia del maíz implantado en siembra directa. *INTA EEA Marcos Juárez. Información para Extensión* N° 73:16-19
- KELLER G.D. and D.B. MENGEL 1986. Ammonia volatilization from Nitrogen fertilizers surface applied to no-till com. *Soil Sci. Soc. Am.J.*50:1060-1063.
- MA B.L., SUBEDI K.D. and A. LIU 2006. Variations in grain nitrogen removal associated with management practices in maize production. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 76:67-80
- MELCHIORI R.J.M., CAVIGLIA O.P., BIANCHINI A., FACCENDINI N. and W. RAUN 2005. Sensor-Based Relationships to Improve Nitrogen Fertilization in Maize, in the Northern Argentinean Pampas. *2005 ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings*. Salt Lake City, UT - November 6 - 10
- RAO A.C., SMITH J.L., PAPENDICK R.I. and J.F. PARR 1991. Influence of added nitrogen interactions in estimating recovery efficiency of labeled nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am.* 55:1616-1621
- SAINZ ROZAS H., ECHEVERRÍA H.E., STUDDERT G.A. and F.H. ANDRADE 1999. No-Till Maize Nitrogen Uptake and Yield: Effect of Urease Inhibitor and Application Time. *Agron. J.* 91:950-955
- SAINZ ROZAS H., ECHEVERRÍA H.E., STUDDERT G.A. and F.H. ANDRADE 1997. Volatilización de amoníaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 15:12-16
- SCHARF P.C., WIEBOLD W.J. and J.A. LOHRY 2002. Corn yield response to nitrogen fertilizer timing and deficiency level. *Agronomy Journal* 94:435-441