



IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

INSTITUTO INTERNACIONAL
DE NUTRICIÓN DE PLANTAS

WWW.IPNI.NET



PROGRAMA LATINOAMERICA - CONO SUR

SEPTIEMBRE
2008

CONTENIDO

- ▀ DESTINO DEL NITRÓGENO DEL FERTILIZANTE EN UN CULTIVO DE MAÍZ
- ▀ DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DE *LOTUS CORNICULATUS* L. EN SUELOS DE URUGUAY
- ▀ DOSIS ÓPTIMA ECONÓMICA DE NITRÓGENO EN MAÍZ
- ▀ NITRÓGENO EN MAÍZ EN EL SUDESTE DE CÓRDOBA
- ▀ ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE SULFATO EN SUELOS
- ▀ FERTILIZACIÓN FOSFATADA DE SOJA EN EL CENTRO DE SANTA FE

DESTINO DEL NITRÓGENO DEL FERTILIZANTE EN UN CULTIVO DE MAÍZ

Rimski-Korsakov H.¹, G. Rubio¹, I. Pino² y R. S. Lavado¹

¹Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía U.B.A.

²Comisión Chilena de Energía Nuclear, Sección Agricultura.

rimski@agro.uba.ar

Para maximizar la eficiencia económica de la fertilización y disminuir las pérdidas de nutrientes, y la consecuente contaminación ambiental, es importante conocer los destinos del nitrógeno (N) del fertilizante. El principal objetivo de la fertilización es proporcionar nutrientes a los cultivos. Sin embargo, en el caso del N, la planta no suele absorber más del 50% del total aplicado, pudiendo llegar valores tan bajos como el 25%, cuando el cultivo no puede desarrollar su potencial productivo por algún tipo de estrés (Sainz Rozas et al., 2004; Rimski-Korsakov et al., 2008). Esta baja eficiencia de la fertilización se debe a la complejidad del ciclo del N, que puede seguir diferentes caminos. Algunos de ellos no significan la pérdida inmediata del nutriente del sistema, por ejemplo la inmovilización del N por la materia orgánica del suelo. Por otro lado, los nitratos remanentes en el suelo luego de la cosecha, pueden comportarse de distinta manera y así agruparse en dos tipos:

a) **nitratos residuales**: Son los que se encuentran dentro de la profundidad radical, que para maíz se puede considerar 1.5 m. Estos nitratos no implican una pérdida inmediata del sistema, ya que pueden ser absorbidos por las plantas del cultivo siguiente

o por las propias malezas, y reciclados para ser aprovechados con posterioridad (Peterson y Power, 1991). Sin embargo, poseen un elevado riesgo de lixiviarse, especialmente cuando un barbecho siguiente se desarrolla sin vegetación y en una estación con exceso de lluvias.



Director: Dr. Fernando O. García

INSTITUTO INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN DE PLANTAS
PROGRAMA LATINOAMERICA - CONO SUR

Av. Santa Fe 910

(B1641ABO) Acassuso – Argentina

Tel/Fax (54) (011) 4798-9939

E-mail: fgarcia@ipni.net

Sitio Web: www.ipni.net/lasc

Propietario: International Plant Nutrition
Institute (IPNI)

ISSN 1666 - 7115

No. de Registro de Propiedad Intelectual: 687220

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre
y cuando no se altere el contenido y se cite la fuente y el autor.

Diseño: www.agroeditorial.com.ar - amatthiess@amatthiess.com.ar
Impresión: Grancharoff Impresores



Contenido:

Destino del nitrógeno del fertilizante en un cultivo de maíz _____	1
Diagnóstico nutricional de <i>Lotus corniculatus L.</i> en suelos de Uruguay _____	6
Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense _____	14
Fertilización nitrogenada de maíz en el sudeste de Córdoba _____	20
Estimación del contenido de sulfato en suelos del sudeste bonaerense _____	23
Fertilización fosfatada del cultivo de soja en suelos de la región central de Santa Fe: Respuesta física del cultivo, eficiencia de uso del P y niveles críticos en el suelo _____	25
Publicaciones y Congresos _____	28

b) **nitratos lixiviados:** Son los nitratos que se encuentran fuera del alcance radical, por debajo de 1.5 m de profundidad en este caso. Su recuperación por parte de las raíces es de escasa magnitud y por eso se los puede considerar ya perdidos (Follet et al., 1994).

Existen otros caminos del N que también implican la pérdida inmediata desde el suelo, por ejemplo la volatilización del amoníaco y la desnitrificación. La magnitud de todos los destinos del N en evaluaciones realizadas en suelos de la región pampeana, para el cultivo de maíz, se presenta en la Tabla 1. Nuestro objetivo fue estudiar en forma integrada los destinos del N del fertilizante aplicado a un cultivo de maíz.

Metodología utilizada

Se realizó un experimento en un establecimiento rural cercano a la ciudad de Chivilcoy (35° 02' S, 60° 06' O), sobre un Argiudol Típico (Serie O' Higgins). El establecimiento seguía la rotación trigo/soja-maíz, bajo siembra directa en los 8 años previos al ensayo. Se utilizó un cultivo de maíz de ciclo largo (Cargill Titanium F1). Las precipitaciones durante el ciclo del cultivo cubrieron ade-

cuadamente los requerimientos, tratándose de un ciclo normal desde el punto de vista del balance hídrico.

La fertilización se realizó con urea en el estado seis hojas (V6), aplicada en línea, e incorporada a 2-3 cm. Se trabajó en un diseño en bloques al azar y los tratamientos fueron: i) testigo no fertilizado (N0); ii) aplicación de 70 kg N ha⁻¹ (N70); iii) aplicación de 140 kg N ha⁻¹ (N140) y iv) aplicación de 250 kg N ha⁻¹ (N250). En todos los casos se agregó fósforo (20 kg P ha⁻¹). Para evaluar la proporción del nitrógeno aplicado como urea, que fue absorbido por el cultivo o ubicado en otros destinos, se utilizó la técnica isotópica, que es la más precisa en exactitud de cuantificación del N del fertilizante absorbido (Schindler y Knighton 1999; Stevens et al., 2005).

El maíz se cosechó a madurez fisiológica, separando raíces, tallos + hojas + chalas + marlos y granos, y se cuantificó el N en dichos compartimientos. Se determinó el contenido de nitratos en el suelo hasta los 3 metros de profundidad. Asimismo, se determinó el N ubicado en la materia orgánica del suelo de los primeros 30 cm de profundidad y el N volatilizado como amoníaco. En todos los casos se determinó el N nativo y el N proveniente del fertilizante. Los resultados fueron analizados estadísticamente.

Tabla 1. Principales destinos del fertilizante y rangos reportados en la Región Pampeana, expresados en porcentaje del N aplicado.

Destino	Rango	Referencias
Planta	25 al 64%	Echeverría y Sainz Rozas 2001; Portela et al. 2006; Rimski-Korsakov et al. 2007
Materia orgánica	7 al 29%	Sainz Rosas et al. 2004; Portela et al. 2006
Volatilización	1.4 al 30%	Palma et al. 1998; Sainz Rozas et al. 1999; Salvagioti 2005; Alvarez et al. 2007; Rimski-Korsakov et al. 2008
Denitrificación	0.35 al 6.9%	Palma et al. 1997; Sainz Rosas et al. 2001
Lixiviación	<0.01 al 27%	Rimski-Korsakov et al. 2004; Sainz Rozas, et al. 2004; Zamora et al. 2005; Portela et al. 2006; Alvarez y Steinbach 2006

Resultados y Discusión

La fertilización afectó la producción de todos los componentes aéreos. Las raíces, en cambio, no mostraron un patrón definido de respuesta. Tanto en los granos, como en el resto de la biomasa aérea, el N aportado por la menor dosis (N70) no fue suficiente para incrementar la materia seca producida, en relación al testigo no fertilizado. Por otro lado, la mayor dosis (N250) fue excesiva ya que no se diferenció de la biomasa producida por la dosis intermedia (N140). La biomasa radical varió entre 705 y 1629 kg ha⁻¹, mientras que la parte aérea, sin contar los granos, fue de 7254 a 10772 kg ha⁻¹, según los tratamientos. El rendimiento en granos en relación a la dosis de fertilización se encuentra en la Figura 1.

En la Tabla 2 puede apreciarse el efecto de la fertilización sobre el N absorbido por la planta, aportado por el suelo y por el fertilizante. El N aportado por el suelo superó al aportado por el fertilizante en todos los órganos, sin mostrar diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 2). A cosecha, el N proveniente del suelo representó entre el 56 y 74% del total absorbido por la planta. Esto muestra la importancia del aporte de N por parte del N mineral presente a la siembra y el proveniente de la mineralización de la materia orgánica. Por otro lado, el N aportado por el fertilizante y que fuera absorbido por la planta fue mayor a medida que aumentó la dosis de fertilizante (Tabla 2).

No se encontraron diferencias en el contenido de nitratos del perfil (0-3 m), entre siembra y cosecha (104 kg N-NO₃ ha⁻¹ y 107 kg N-NO₃ ha⁻¹, respectivamente).

A cosecha, los nitratos residuales originales del suelo (0 a 1.5 m) no mostraron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 3). Sin embargo, sí las existieron en los provenientes del fertilizante, que fueron mayores en los tratamientos N140 y N250 que en el N70, aunque no difirieron entre sí. Por otro lado, los nitratos lixiviados (1.5 a 3 m) provenientes del fertilizante no presentaron diferencias significativas entre

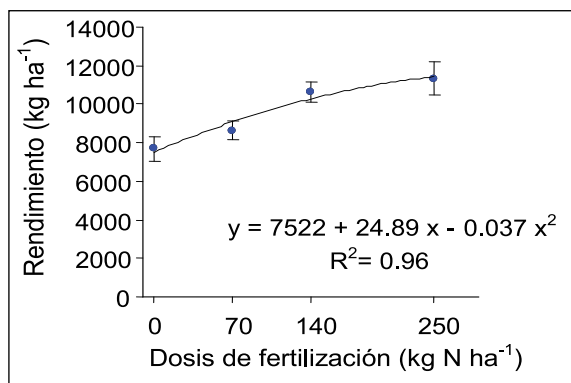


Figura 1. Relación entre el rendimiento de granos y la dosis de fertilización utilizada. Las barras de cada observación representan el error estándar.

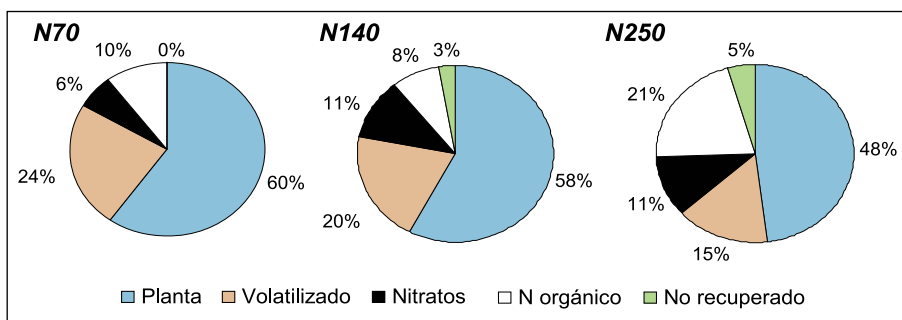


Figura 2. Destinos del N del fertilizante aplicado para cada tratamiento, en forma relativa al N aplicado por fertilización.

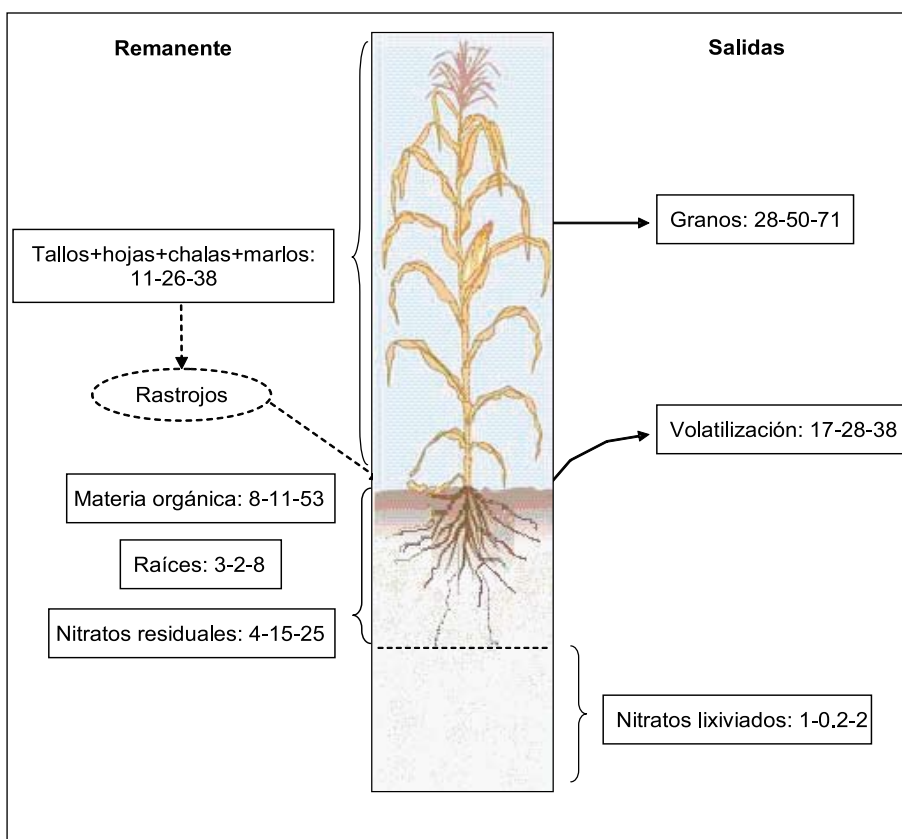


Figura 3. Nitrógeno derivado del fertilizante en los "pooles" remanentes (Tallo+hojas+chalas+marlos, Raíces, Materia Orgánica, Nitratos residuales) y las salidas del sistema (Granos, Volatilización y Nitratos lixiviados). Los valores siguen el orden de acuerdo a la dosis (N70, N140, N250) y están expresados en kg N ha⁻¹.

tratamientos, siendo en promedio de $1.13 \text{ kg } ^{15}\text{N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}$. Puede apreciarse que el nivel de nitratos lixiviados nativos del suelo fue importante y muy superior al del proveniente del fertilizante, variando entre 39 y $64 \text{ kg N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}$. Esto muestra que la fertilización efectuada específicamente a ese cultivo no sufrió importantes pérdidas por lixiviación. En cambio, los nitratos lixiviados nativos del suelo muestran un desplazamiento de nitratos residuales hacia profundidades de escaso aprovechamiento por las plantas. Estos nitratos provienen de fertilizaciones antecedentes y/o la mineralización de la materia orgánica del suelo o liberación de N por los residuos de cultivos anteriores. Estos resultados justifican que este destino del N es el que presenta resultados más disímiles (Tabla 1).

El N perdido por volatilización se presenta en la Tabla 4. La mayor parte del N volatilizado fue proveniente del fertilizante, ya que la volatilización del N del suelo solo representó del 16 al 18% del total perdido por esta vía. El incremento en la volatilización proveniente del suelo, paralelo al aumento de las dosis de fertilizantes, pudo deberse a un aumento del pH del suelo originado por la fertilización.

No se encontraron diferencias en el contenido de N total en la materia orgánica del suelo en los primeros 30 cm de profundidad (0.164% en promedio). Sin embargo, se encontraron diferencias en el N proveniente del fertilizante dentro del *pool orgánico del suelo* (Tabla 5). El tratamiento N250 mostró el mayor contenido de N proveniente del fertilizante, en la fracción orgánica. Al ser la fracción orgánica más estable que la inorgánica (Reddy y Reddy 1993), la retención de N en la misma,

puede significar una importante conservación del nutriente del fertilizante, disminuyendo las pérdidas desde el sistema. Esto estaría mostrando una cierta capacidad *buffer* del suelo para reducir pérdidas ante dosis excesivas de fertilizantes nitrogenados.

En la Figura 2 pueden apreciarse los destinos del fertilizante, en forma relativa a la dosis utilizada. En promedio, un 98.8% del fertilizante aplicado fue hallado en las fracciones estudiadas. Eso implica que las vías de salida de N no cuantificadas en el presente (ej. desnitrificación), recibirían menos del 2% del fertilizante aplicado, tal como indican otros trabajos llevados a cabo en el área.

En todos los tratamientos el principal destino del fertilizante fue la planta. A medida que se incrementó la dosis del fertilizante, el porcentaje de recuperación por la planta fue de menor importancia. Los siguientes destinos del N del fertilizante fueron en orden de importancia la fracción orgánica del suelo y la volatilización del amoníaco, según el tratamiento. El destino orgánico parece ser el de mayor importancia, pudiendo actuar como *buffer* del sistema.

En la Figura 2 los nitratos residuales representaron, en promedio, el 8.6% del N aplicado, mientras que los lixiviados representaron sólo el 0.8%, otra forma de mostrar la información brindada por la Tabla 3.

Para finalizar, se elaboró un esquema donde se resumen los rangos de los destinos del ^{15}N de una fertilización específica, distinguiéndose entre los remanentes en el sistema (raíces, tallos+hojas+chapas+marlos, nitratos residuales e inmovilizado en la materia orgánica) y las

Tabla 2. Nitrógeno absorbido por la planta aportado por el suelo (N suelo) y N aportado por el fertilizante (N fertilizante), en planta entera: raíces, tallos+hojas+chapas+marlos (T+H+CH+M) y granos. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

	Planta entera	Raíces	T+H+CH+M	Granos
	----- kg N ha ⁻¹ -----			
N suelo				
N0	141.3 (a)	20.8 (a)	46.8 (a)	73.7 (a)
N70	134.8 (a)	21.6 (a)	39.0 (a)	74.2 (a)
N140	155.8 (a)	10.9 (b)	57.0 (a)	87.9 (a)
N250	153.4 (a)	21.3 (a)	53.0 (a)	79.1 (a)
N fertilizante				
N0	-	-	-	-
N70	43.4 (c)	2.6 (b)	13.2 (c)	27.6 (b)
N140	80.8 (b)	2.1 (b)	28.9 (b)	49.8 (ab)
N250	120.1 (a)	8.4 (a)	40.9 (a)	70.8 (a)

Tabla 3. Contenido de nitratos residuales (0-1.5 m) y lixiviados (1.5-3.0 m), totales (N-NO₃), nativos del suelo (N-NO₃ suelo) y provenientes del fertilizante (N-NO₃ fertilizante). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

	N-NO ₃ totales	N-NO ₃ suelo	N-NO ₃ fertilizante
	----- kg N-NO ₃ ha ⁻¹ -----		
Nitratos residuales (0 – 1.5m)			
N0	42.4 (a)	42.4 (a)	-
N70	56.1 (a)	52.6 (a)	3.5 (b)
N140	76.1 (a)	61.1 (a)	15.1 (a)
N250	67.2 (a)	42.1 (a)	25.1 (a)
Nitratos lixiviados (1.5 – 3.0 m)			
N0	38.6 (a)	38.6 (a)	-
N70	42.7 (a)	41.6 (a)	1.1 (a)
N140	64.6 (a)	64.4 (a)	0.2 (a)
N250	41.7 (a)	39.6 (a)	2.1 (a)

salidas del sistema (exportación en granos, volatilización y lixiviación) (Fig. 3).

Conclusiones

El estudio de los caminos seguidos por el N marcado isotópicamente en el cultivo de maíz, indica que la fracción orgánica actuó como buffer, cuando otros destinos se saturaron y la volatilización no parece haber saturado su capacidad de pérdida ante la dosis mayor de fertilizante N (N250). Se registró una importante pérdida de nitratos por lixiviación, pero el N del fertilizante contribuyó minimamente a esa pérdida. Los nitratos lixiviados provienen de las fertilizaciones previas y/o la mineralización de fracciones orgánicas del suelo y/o de los residuos de cultivos. Se trata de nitratos que en campañas anteriores se ubicaban como "residuales" y en esta campaña pasaron al estado "lixiviados". No obstante, la planta fue el destino más importante del N del fertilizante, variando la absorción por la planta entre el 48 y el 60 % según la dosis de N aplicado. El grano es el que cuantitativamente acumula más N del fertilizante.

Agradecimientos

Agradecemos a los Dres. Fernando Solari y María Susana Grigera por su valiosa colaboración en la realización del presente ensayo de campo.

Referencias Bibliográficas

Alvarez R. y H.S Steinbach. 2006. Asociación entre el nitrógeno del suelo y el rendimiento de los cultivos. En: *Materia Orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos*, Editorial Facultad de Agronomía. 79-92.

Alvarez C.R., H. Rimski-Korsakov, P. Prystupa y R.S. Lavado. 2007. Nitrogen dynamics and losses in direct drilled maize systems. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 38: 2045-2059.

Echeverría H.E. y H.R. Sainz Rozas. 2001. Eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado al estadio de seis hojas del maíz bajo riego en siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo* 19: 57-66.

Follett R.F., M.J. Shaffer, K.M. Brodahl y G.A. Reichman. 1994. NLEAP simulation of residual soil nitrate for irrigated and nonirrigated corn. *J. Soil Water Conserv.* 49, 375-382.

Nommik H. 1973. The effect of pellet on ammonia loss for urea applied to forest soil. *Plant and Soil* 39: 309-318.

Palma R.M., M. Rimolo, M.I. Saubidet y M.E. Conti. 1997. Influence of tillage system on denitrification in maize cropped soils. *Biol. Fert. Soils* 25: 142-146.

Palma R.M., M. Saubidet, M. Rimolo y J. Utsumi. 1998. Nitrogen losses by volatilization in a corn crop with two tillage systems in the Argentine Pampas. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*

29: 2865-2879.

Peterson G.A. y J.F. Power. 1991. Soil, crop and water management. In: *Follett, R.F., Keeney, D.R., Cruse, R.M. (Eds), Managing Nitrogen for Groundwater Quality and Farm Profitability*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, pp. 189-221.

Portela S.I., A.E. Andriulo, M.C. Sasal, B. Mary y E.G. Jobbágy. 2006. Fertilizer vs. organic matter contributions to nitrogen leaching in cropping systems of the Pampas: 15N application in field lysimeters. *Plant and Soil* 289: 265-277.

Reddy G.B. y K.R. Reddy. 1993. Fate of Nitrogen 15 Enriched Ammonium Nitrate Applied to Corn. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 57: 111-115.

Rimski-Korsakov H, G. Rubio y R.S. Lavado. 2004. Potential losses of nitrate by leaching in soils of the Pampas Argentina. *Agricultural Water management* 65: 83-94.

Rimski-Korsakov, H., G. Rubio y R.S. Lavado. 2007. Recuperación del nitrógeno aportado por fertilización en maíz. En: *Isótopos estables en Agroecosistemas*. Editor: Lazzari., M.A., Videla, C. Pag 47-52.

Rimski-Korsakov H., G. Rubio y R.S. Lavado. 2008. Effect of the water stress in maize crop production and N-fertilizer fate. *Journal of Plant Nutrition* (enviado).

Sainz Rozas H., H.E. Echeverría, G.A. Studdert y F.H. Andrade. 1999. No-till maize N uptake and yield: effect of urease inhibitor and application time. *Agronomy Journal* 91: 950-955.

Sainz Rozas H.R., H.E. Echeverría y L.I. Picone. 2001. Denitrification in maize under no-tillage: Effect of nitrogen rate and application time. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 65: 1314-1323.

Sainz Rozas H.R., H.E. Echeverría y P.A. Barbieri. 2004. Nitrogen balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize. *Agron. J.* 96: 1622-1631.

Salvagiotti F. 2005. Cuantificación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización y su efecto en el rendimiento del cultivo de maíz. EEA INTA Oliveros.

Schindler F.V. y R.E. Knighton. 1999. Fate of Fertilizer Nitrogen Applied to Corn as Estimated by Isotopic and Difference Methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1734-1740.

Stevens W.B., R.G. Hoef y R.L. Mulvaney. 2005. Fate of Nitrogen-15 in a Long-Term Nitrogen Rate Study:II. Nitrogen Uptake Efficiency. *Agron. J.* 97:1046-1053.

Zamora M.S., J.L. Costa, H.E. Echeverría y A. Baez. 2005. Lavado de nitrógeno en un cultivo de maíz en tres Arroyos, Buenos Aires. VIII Congreso Nacional de Maíz. Rosario. 16-18 de Noviembre de 2005. *Actas*: 182-185. <

Tabla 5. Nitrógeno proveniente del fertilizante presente en la materia orgánica del suelo, hasta 30 cm de profundidad, a cosecha. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

	N orgánico fertilizante
	----- kg N ha ⁻¹ -----
N70	7.6 (b)
N140	11.4 (b)
N250	52.8 (a)

Tabla 4. Amoníaco volatilizado desde el momento de la fertilización hasta cosecha. N-NH₃ total: amoníaco volatilizado total; N-NH₃ suelo: amoníaco volatilizado originado por el suelo; N-NH₃ fertilizante: amoníaco volatilizado originado por el fertilizante. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

	N-NH ₃ total	N-NH ₃ suelo	N-NH ₃ fertilizante
	----- kg N-NH ₃ ha ⁻¹ -----		
N0	2.3 (c)	2.3 (b)	-
N70	20.5 (b)	3.3 (b)	17.2 (c)
N140	34.3 (a)	5.8 (a)	28.5 (b)
N250	46.6 (a)	8.1 (a)	38.5 (a)