



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

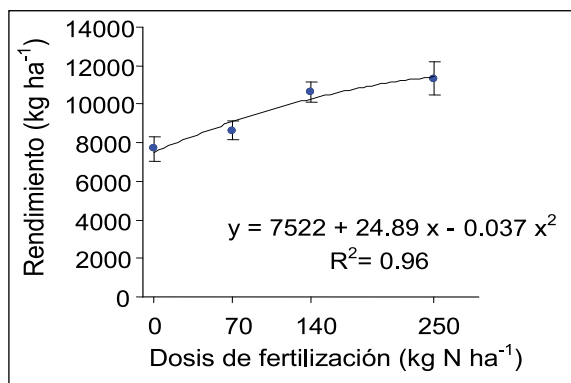


Figura 1. Relación entre el rendimiento de granos y la dosis de fertilización utilizada. Las barras de cada observación representan el error estándar.

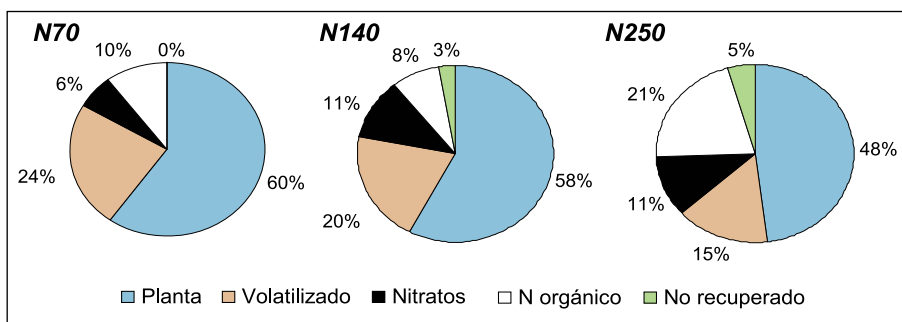


Figura 2. Destinos del N del fertilizante aplicado para cada tratamiento, en forma relativa al N aplicado por fertilización.

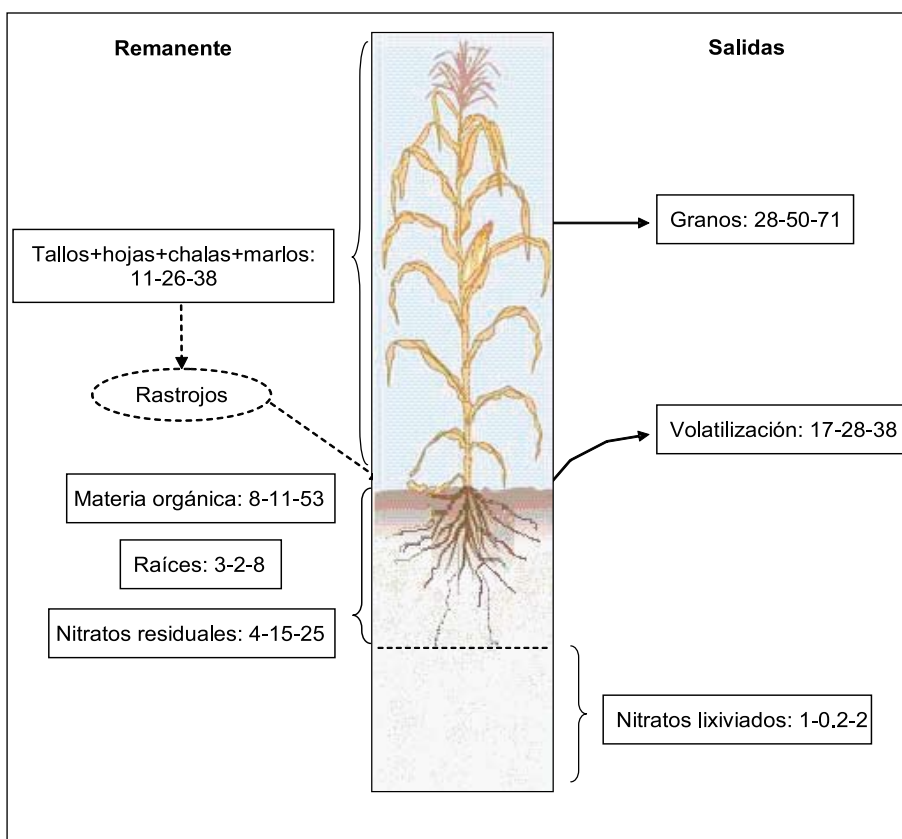


Figura 3. Nitrógeno derivado del fertilizante en los "pooles" remanentes (Tallo+hojas+chapas+marlos, Raíces, Materia Orgánica, Nitratos residuales) y las salidas del sistema (Granos, Volatilización y Nitratos lixiviados). Los valores siguen el orden de acuerdo a la dosis (N70, N140, N250) y están expresados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

DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DE *LOTUS CORNICULATUS L.* EN SUELOS DE URUGUAY

Mónica Barbazán, Marcelo Ferrando y José Zamalvide

Departamento de Suelos y Aguas. Facultad de Agronomía, UDELAR. Av. Eugenio Garzón 780. CP 12900.

Montevideo, Uruguay.

mbarbaz@fagro.edu.uy

Introducción

El lotus (*Lotus corniculatus L.*) es una leguminosa forrajera perenne de ciclo estival muy utilizada en sistemas ganaderos, agrícola-ganaderos y lecheros de Uruguay, con un área sembrada de más de 300.000 hectáreas (Censo Agropecuario, 2000). Tradicionalmente, el manejo de la nutrición de lotus y otras leguminosas en el país se ha restringido a la fertilización con fósforo (P), mientras se asume que los requerimientos de nitrógeno (N) son cubiertos por fijación simbiótica y por absorción de N mineral del suelo. Los demás nutrientes son aportados por mecanismos naturales del suelo o agregados indirectamente con los fertilizantes, como calcio (Ca) o azufre (S) en algunas fuentes fosfatadas.

A nivel mundial existe escasa información sobre los requerimientos nutricionales de *Lotus corniculatus L.* (Kelling y Matocha, 1990; Pinkerton *et al.*, 1997). En Uruguay, la investigación se ha centrado en estudiar la respuesta a la fertilización fosfatada y al encalado en leguminosas, incluyendo *Lotus corniculatus L.* (Cambra, 1987; Marchesi y Elhordoy, 1993; Martínez Haedo y Mastropiero, 1993; Zamalvide, 1998; Bordoli, 1998; Olmos, 1998; del Pino, 2000; Casanova, 2004b; Bermúdez *et al.*, 2004; Bordoli, 2005; Casanova y Barbazán, 2005). En cambio, la respuesta a otros nutrientes, como S, ha sido estudiada menos frecuentemente (Zamalvide, 1998; Casanova y Cerveñansky, 2002). Sin embargo, en situaciones de producción agrícola intensiva, con altos rendimientos y remoción de nutrientes, y sin mecanismos eficientes de reciclaje a través de cultivos y/o animales, otros nutrientes pueden empezar a limitar el crecimiento.

Los relevamientos nutricionales, mediante la comparación de datos de análisis de suelos y plantas con concentraciones críticas, estándares o de referencia, permiten inferir la probabilidad de que ocurran limitantes para la producción a causa de déficit o exceso de nutrientes. Debido a la influencia de diversos factores sobre la concentración de nutrientes, como edad de la planta, órganos o partes analizadas y condiciones ambientales, el muestreo se realiza en cada cultivo según pautas que permiten que los datos sean comparables. El inicio de la floración (o un 10% de floración) y la parte aérea fueron propuestos como el estado de crecimiento y la parte de la planta más apropiados para evaluar el estatus de la mayoría de los nutrientes en pasturas (Jones y Case, 1990; Kelling y Matocha, 1990). La concentración crítica de un nutriente es aquella en la cual se alcanza un determinado porcentaje del rendimiento máximo. Dicho porcentaje varía entre un 80 a 95% del rendimiento máximo, según el criterio utilizado (Smith y Loneragan, 1997). Las concentraciones críticas establecidas para un

cultivo difieren según distintos trabajos, dependiendo de varios factores como variedad, prácticas de manejo, tipo de suelo (Smith y Loneragan, 1997), y de los modelos estadísticos y niveles de probabilidad aceptados para estimar el valor de esa concentración. Kelling y Matocha (1990) mencionan valores de concentración crítica de potasio (K) para alfalfa que varían desde 0.8 a 2.2%. En pasturas, además, puede existir un criterio adicional como la calidad del forraje para los animales (Kelling y Matocha, 1990). Ante diferentes realidades económicas e intensidad de uso de fertilizantes, algunos autores parecen priorizar la incorporación de todas las situaciones con posible respuesta, mientras que otros tenderían a asegurarse que siempre exista respuesta por debajo de la concentración crítica, generando concentraciones críticas más altas en los primeros respecto a los segundos.

Si bien en Uruguay se han realizado algunos relevamientos nutricionales para leguminosas como trébol blanco (Morón, 2004) o alfalfa para la cuenca lechera (Morón, 1998; Morón, 2000), no existe información para *Lotus corniculatus L.* Los objetivos de este estudio fueron: a) conocer los valores de concentraciones de nutrientes en planta de cultivos comerciales de *Lotus corniculatus L.* en el país, b) detectar áreas o situaciones con mayor probabilidad de deficiencias y c) relacionar los resultados con algunas características de los suelos.

Cabe señalar que este trabajo marca a la vez, las diferencias de aportes de nutrientes de los suelos a través de un cultivo indicador, como el lotus, y esta información es aplicable a otros cultivos, como por ejemplo, soja. El lotus fue elegido porque probablemente es la especie más sembrada en diferentes suelos y en sistemas de producción más diferentes, abarcando desde zonas agrícolas hasta ganaderas.

Materiales y Métodos

Durante tres años consecutivos se relevaron 179 cultivos de *Lotus corniculatus L.* en establecimientos comerciales del país, abarcando la mayoría de los suelos bajo producción de esta especie. De un área uniforme de 0.5 ha se tomaron, en varios puntos, muestras compuestas de la parte aérea de plantas, cortadas con tijeras a 4 cm del suelo, cuando el cultivo se encontraba aproximadamente a 10% de floración. Las muestras fueron secadas a 60°C por 48 h y molidas hasta un tamaño menor a 1 mm. Se determinó N total por el método de Kjeldahl y P total según Murphy y Riley, 1962. El Ca, cobre (Cu), hierro (Fe), magnesio (Mg), manganeso (Mn) y zinc (Zn) se determinó por absorción atómica y

el K total por emisión (Isaac y Kerber, 1971). El S total se determinó indirectamente (luego de su precipitación con BaSO₄) midiendo el bario residual por absorción atómica (Malavolta *et al.*, 1989).

Las muestras de suelo (15 - 20 tomas y de 0 - 15 cm de profundidad) fueron extraídas simultáneamente con las de plantas y dentro del área de muestreo de las mismas. En cada muestra se midió pH en agua y en KCl 1 M por potenciometría. Para materia orgánica (MO) se usó el método de Walkley y Black (1982). El P asimilable fue analizado por el método Bray-1 (Bray y Kurtz, 1945). Las bases intercambiables se analizaron por extracción simple con acetato de amonio 1 M y se determinaron por absorción atómica (Ca y Mg) y emisión (K y Na) (Isaac y Kerber, 1971).

En cada sitio se identificó la unidad de suelo según la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay (escala 1:1.000.000, MAP/DSF, 1976). Los sitios muestreados fueron agrupados en 11 zonas (Tabla 1), según características del material geológico asociado:

- Zona 1, sobre Formación Libertad en el litoral oeste y sur, con suelos francos a arcillosos formados sobre sedimentos con calcáreo, altos contenidos naturales de MO y fertilidad alta (n = 20);
- Zona 2, sobre Formación Fray Bentos del litoral oeste, con suelos arcillosos formados sobre sedimentos con calcáreo y arcillas ricas en K, altos contenidos naturales de MO y fertilidad alta (n = 24);
- Zona 3, sobre Areniscas de Cretácico y otras areniscas del litoral oeste, con suelos de texturas arenosas, contenidos medios a bajos de MO y fertilidad media a baja (n = 13);
- Zona 4, sobre materiales relacionados con los de la Zona 3 (Cretácico) con suelos más arcillosos, mayores contenidos de MO y mayor fertilidad natural (n = 9);
- Zona 5, sobre materiales asociados a Basamento Cristalino en Planicies y lomadas del Este, con suelos de texturas francas y niveles medios de MO y de fertilidad natural (n = 22);
- Zona 6, sobre materiales asociados a sierras y lomadas del Basamento Cristalino del centro del país, con suelos de pH ácidos y, a veces, presencia de aluminio (Al) intercambiable, texturas intermedias y fertilidad natural media a baja (n = 15);
- Zona 7, sobre Formación Libertad apoyado en Basamento Cristalino en el centro y sur, con suelos de texturas arcillosas, con altos niveles de arcilla y fertilidad natural (n = 13);
- Zona 8, sobre materiales cuaternarios con influencia de Basalto en el norte del país, con suelos de texturas muy arcillosas y CIC, fertilidad natural y contenidos de MO muy altos (n = 25);
- Zona 9, sobre Areniscas de Tacuarembó en el noreste, con suelos de textura arenosa, profundos y pH muy bajo, con Al intercambiable y bajos niveles de MO y de fertilidad natural (n = 12);
- Zona 10, sobre Formación Yaguarí al noreste, con suelos de texturas francas, niveles medios a altos de fertilidad natural y de MO (n = 22);
- Zona 11, sobre Sedimentos Pelíticos Grises al noreste con suelos de texturas muy arcillosas y niveles muy altos de MO y fertilidad natural (n = 4).

Los suelos muestreados son fundamentalmente Molisoles y Vertisoles y, en menor medida, Alfisoles y Ultisoles.

El análisis de los datos se realizó sobre la totalidad de las muestras para disminuir los efectos del año, edad de las plantas, genotipo, dominancia del tapiz, estado sanitario, sistema de laboreo, prácticas de manejo y objetivos de producción. Para diagnosticar áreas o situaciones con deficiencias, se compararon los contenidos de nutrientes en planta con valores de referencia, considerando, además, los análisis de suelo y sus características. Se utilizaron niveles de referencia nacionales e internacionales desarrollados para *Lotus corniculatus L.*, o datos publicados para otras leguminosas (ej. alfalfa). El grado de asociación entre las concentraciones de nutrientes en suelos y plantas se analizó con el coeficiente de correlación de Pearson (r), utilizando el programa SAS (1985) tomando todos los puntos muestreados.

Resultados y Discusión

Propiedades químicas de los suelos

pH del suelo

El rango de pH en agua de los suelos fue de 5.0 a 7.8 (Tabla 1), indicando que el *Lotus corniculatus L.* es una especie adaptada a un amplio rango de acidez. La mayoría de los sitios con pH menores a 5.5 correspondieron a la Zona 9, con suelos arenosos de las Unidades Tacuarembó y Rivera, que naturalmente presentan pH bajo y cantidades significativas de Al intercambiable (Durán, 1991). Varios de los suelos con pH superior a 7.2 correspondieron a los de las Zonas 1, 2 y 7, desarrollados a partir de materiales cuaternarios con carbonatos de Ca, como son los suelos con influencia de la Formación Libertad y Fray Bentos (Durán, 1991).

Materia orgánica

Los contenidos de MO del suelo variaron entre 0.8 a 9.3% (Tabla 1). En general, los suelos de la Zona 8, derivados de materiales cuaternarios sobre Basalto presentaron los mayores valores de MO, y los de la Zona 9 con suelos arenosos, los menores, lo cual concuerda con los valores reportados por Durán (1991 y 1998) para los suelos predominantes en estas zonas.

Bases intercambiables

La suma de bases intercambiables (Ca, Mg, K, y sodio - Na) presentaron valores dentro del rango de 2.6 a 30.4 cmol_c kg⁻¹ (Tabla 1). Estos valores concuerdan con los datos reportados por Durán (1991) para los suelos de Uruguay, con los menores valores de bases para suelos de texturas arenosas (Zona 3 y 9) y los mayores para los suelos desarrollados a partir de materiales cuaternarios sobre Basalto (Zona 8) y Sedimentos Pelíticos Grises (Zona 11).

Concentración de nutrientes en planta

Nitrógeno

La concentración media de N en planta fue de 2.7%, con

un rango de 1.5 a 4.5%. Debido a que no hay información sobre concentraciones críticas para lotus, se tomó como aproximación la concentración de N en alfalfa, de 2.0% (Kelling y Matocha, 1990). Casi todos los puntos de muestreo presentaron concentraciones de N en planta por encima de dicho valor (Tabla 2), excepto dos sitios de la Zona 8 y uno de cada una de las Zonas 2, 4 y 5 (Fig.

1a). La variabilidad encontrada en las concentraciones de N podría ser consecuencia de pequeñas variaciones en el estado fenológico al momento del muestreo o variaciones en la producción de materia seca, aunque esta variable no fue medida en nuestro estudio.

Las concentraciones de N muestran, que en general, la fijación biológica de N actuó en forma eficiente.

Tabla 1. Características químicas de los suelos de 179 cultivos comerciales de *Lotus corniculatus L.* relevados en Uruguay.

Zona		pH	MO§	P‡	K	Ca	Mg	Na	Bases
		(agua)	(%)	(mg kg ⁻¹)	----- (cmol _c kg ⁻¹) -----				
1 (n=20)	Media	6.4	3.9	16	0.63	14.08	3.67	0.53	19.6
	DE†	0.5	0.9	13	0.21	6.55	1.03	0.25	6.5
	Min	5.7	2.0	4	0.30	0.75	1.13	0.28	7.0
2 (n=24)	Max	7.8	5.7	62	1.16	29.80	5.45	1.35	35.2
	Media	6.5	4.9	14	0.81	21.18	2.19	0.36	24.5
	DE	0.4	0.8	6	0.21	6.53	0.92	0.06	6.5
3 (n=13)	Min	6.0	3.6	7	0.30	11.00	0.87	0.27	13.2
	Max	7.6	9.3	37	1.11	36.60	10.00	1.44	40.5
	Media	6.0	2.7	11	0.26	8.29	1.21	0.32	10.1
4 (n=9)	DE	0.3	0.8	6	0.09	3.02	0.54	0.03	3.3
	Min	5.6	1.8	4	0.15	2.27	0.45	0.26	3.5
	Max	6.8	3.8	22	0.43	12.80	1.95	0.34	15.0
5 (n=22)	Media	6.2	4.8	10	0.48	17.47	2.75	0.38	21.1
	DE	0.3	1.2	8	0.15	4.78	0.77	0.08	5.1
	Min	5.8	2.7	5	0.25	11.30	1.35	0.30	15.1
6 (n=15)	Max	6.7	6.5	29	0.70	24.90	4.30	0.55	29.6
	Media	5.7	4.5	7	0.26	6.01	2.42	0.51	9.2
	DE	0.3	1.0	2	0.08	2.07	0.78	0.24	2.9
7 (n=13)	Min	5.4	2.7	3	0.15	2.32	0.98	0.29	3.9
	Max	6.3	6.9	11	0.51	10.60	4.33	1.44	15.8
	Media	6.0	4.4	11	0.35	10.60	3.06	0.52	14.5
8 (n=25)	DE	0.4	1.4	9	0.11	4.87	1.09	0.12	5.8
	Min	5.4	3.1	4	0.21	3.89	1.50	0.30	6.1
	Max	7.0	9.1	37	0.57	19.90	5.90	0.81	26.7
9 (n=12)	Media	6.6	4.7	12	0.60	21.37	3.69	0.42	26.1
	DE	0.6	1.3	6	0.19	6.32	0.93	0.07	6.1
	Min	5.9	3.0	5	0.38	11.30	2.11	0.32	16.4
10 (n=22)	Max	7.6	7.7	24	1.02	30.00	5.20	0.56	33.9
	Media	5.9	6.2	7	0.41	20.27	6.36	0.49	27.5
	DE	0.3	1.6	3	0.17	3.78	1.59	0.12	4.8
11 (n=4)	Min	5.6	3.7	4	0.20	14.50	3.68	0.37	18.9
	Max	6.9	9.3	22	0.95	27.40	10.00	0.86	34.9
	Media	5.4	1.7	35	0.18	1.58	0.54	0.30	2.6
Total (n=179)	DE	0.4	0.6	23	0.10	0.66	0.21	0.03	0.8
	Min	5.0	0.8	9	0.08	0.73	0.21	0.25	1.3
	Max	6.4	2.6	78	0.42	2.91	1.00	0.36	4.0
Total (n=179)	Media	5.7	4.6	7	0.43	9.50	3.82	0.55	14.3
	DE	0.2	1.4	3	0.29	4.12	2.50	0.29	6.4
	Min	5.5	2.5	4	0.17	3.53	0.85	0.28	4.9
Total (n=179)	Max	6.2	7.6	13	1.33	17.30	10.60	1.49	29.2
	Media	6.2	6.6	9	0.72	22.95	6.25	0.47	30.4
	DE	1.0	1.2	4	0.62	9.45	2.60	0.02	11.7
Total (n=179)	Min	5.4	5.3	4	0.36	16.60	4.00	0.44	24.3
	Max	7.7	7.6	13	1.64	37.00	10.00	0.48	47.9
	Media	6.05	4.49	12	0.46	13.76	3.29	0.45	18.0
Total (n=179)	DE	0.52	1.61	11	0.27	8.03	2.09	0.19	9.4
	Min	5.00	0.81	3	0.08	0.73	0.21	0.25	1.3
	Max	7.75	9.32	78	1.64	37.00	10.60	1.49	47.9

†DE: desvío estándar; Min: mínimo; Max: máximo § MO: Materia orgánica, ‡ P: Bray-1

Zonas de suelos: 1: Libertad; 2: Fray Bentos; 3: Cretácico Livianos; 4: Cretácico Pesados; 5: Basamento Cristalino de Planicies y lomas del Este; 6: Basamento Cristalino del Centro; 7: Libertad sobre Basamento Cristalino; 8: Basalto; 9: Arenosos de Tacuarembó y Rivera; 10: Yaguari; 11: Sedimentos Pelíticos Grises.

No obstante, estos resultados indicarían que existió una amplia variación en la calidad del forraje y, por lo tanto, podrían esperarse diferencias en la aptitud de estas pasturas para la producción de carne. En ensayos de respuesta a la fertilización fosfatada en coberturas de *Lotus corniculatus L.* con animales en pastoreo, del Pino (2000) encontró que la producción de carne estuvo fuertemente relacionada con la calidad de la pastura.

Fósforo

La concentración media de P en plantas fue de 0.21%, con un rango que varió entre 0.11 y 0.38% (Tabla 2). El nivel crítico sugerido en Nueva Zelanda (Pinkerton et al., 1997) y por Kelling y Matocha (1990) fue de 0.24%. La estimación realizada en Uruguay a partir de varios ensayos de respuesta fue de 0.22% (Hernández, no publicado). El 72% de las muestras presentó valores

Tabla 2. Concentración de macro y micronutrientes en planta de 179 cultivos comerciales de *Lotus corniculatus L.* relevados en Uruguay.

Zona		N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	
		----- % -----						----- mg kg ⁻¹ -----				
1 (n=20)	Media	2.73	0.23	2.16	1.03	0.28	0.24	9	121	64	26	
	DE	0.33	0.06	0.26	0.15	0.05	0.05	2	76	26	7	
	Min	2.18	0.16	1.76	0.79	0.20	0.14	6	39	41	16	
2 (n=24)	Media	2.63	0.23	2.24	1.17	0.25	0.22	8	109	64	22	
	DE	0.33	0.05	0.36	0.24	0.05	0.03	1	78	40	6	
	Min	1.97	0.15	1.41	0.90	0.18	0.15	6	46	31	13	
3 (n=13)	Media	2.73	0.21	1.68	1.18	0.30	0.23	9	94	70	23	
	DE	0.26	0.05	0.37	0.27	0.04	0.04	3	22	20	14	
	Min	2.35	0.13	1.24	0.70	0.22	0.16	7	72	35	13	
4 (n=9)	Media	2.36	0.18	2.05	1.21	0.30	0.21	7	62	76	21	
	DE	0.31	0.05	0.33	0.22	0.04	0.03	1	15	41	3	
	Min	1.90	0.11	1.38	0.92	0.23	0.16	6	45	36	17	
5 (n=22)	Media	2.56	0.19	1.59	0.99	0.34	0.23	9	81	81	21	
	DE	0.33	0.02	0.39	0.17	0.06	0.04	2	26	34	4	
	Min	1.90	0.11	0.81	0.80	0.23	0.16	5	42	36	15	
6 (n=15)	Media	2.81	0.21	1.82	1.09	0.32	0.23	9	85	66	25	
	DE	0.31	0.04	0.32	0.19	0.05	0.03	2	16	30	3	
	Min	2.25	0.11	1.24	0.81	0.23	0.16	7	58	31	19	
7 (n=13)	Media	2.72	0.21	2.13	1.08	0.27	0.22	8	84	55	23	
	DE	0.37	0.04	0.33	0.25	0.05	0.06	2	48	15	6	
	Min	2.19	0.15	1.59	0.67	0.19	0.12	6	40	38	12	
8 (n=25)	Media	2.64	0.21	1.83	1.24	0.36	0.25	11	111	85	31	
	DE	0.51	0.05	0.55	0.25	0.09	0.04	10	53	30	20	
	Min	1.51	0.14	1.01	0.85	0.26	0.16	4	61	40	20	
9 (n=12)	Media	3.15	0.26	1.62	0.69	0.34	0.23	9	115	116	27	
	DE	0.46	0.06	0.58	0.20	0.07	0.04	2	44	46	9	
	Min	2.35	0.18	0.96	0.34	0.25	0.17	6	50	54	18	
10 (n=22)	Media	2.90	0.20	2.04	0.97	0.32	0.24	9	97	90	27	
	DE	0.46	0.04	0.57	0.18	0.05	0.05	2	62	36	7	
	Min	2.14	0.12	0.85	0.75	0.21	0.17	6	46	41	18	
11 (n=4)	Media	2.31	0.21	2.15	1.02	0.29	0.20	7	70	76	23	
	DE	0.20	0.01	0.24	0.21	0.06	0.05	2	28	21	3	
	Min	2.11	0.21	2.00	0.74	0.22	0.13	4	43	54	21	
Total (n=179)	Media	2.71	0.21	1.93	1.07	0.31	0.23	9	96	77	25	
	DE	0.41	0.05	0.48	0.25	0.07	0.04	4	51	35	10	
	Min	1.51	0.11	0.81	0.34	0.18	0.12	4	39	31	12	
	Max	4.15	0.38	3.30	1.84	0.59	0.36	58	350	207	115	

DE: Desvío standard; Min: mínimo; Max: máximo
 Zonas de suelos: 1: Libertad; 2: Fray Bentos; 3: Cretácico Livianos; 4: Cretácico Pesados; 5: Basamento Cristalino de Planicies y lomas del Este; 6: Basamento Cristalino del Centro; 7: Libertad sobre Basamento Cristalino; 8: Basalto; 9: Arenosos de Tacuarembó y Rivera; 10: Yaguarí; 11: Sedimentos Pelíticos Grises.

inferiores a la concentración crítica de 0.24% en planta, siendo las Zonas 4, 5, 10 y 11 las que presentaron la mayor frecuencia de casos por debajo de la concentración crítica (Fig. 1b). En la mayoría de las zonas, los suelos presentaron valores de P inferiores a 10 - 12 mg. kg⁻¹ (Bray-1) sugerido como rango crítico de P para *Lotus corniculatus L.* para suelos de texturas medias y pesadas del sur y litoral de Uruguay (Bordoli, 1998).

La Figura 2 muestra la concentración de P en planta en función del P disponible, para tres grupos de suelos: Zona 8, de suelos desarrollados sobre materiales cuaternarios con influencia de roca basáltica, Zona 9, de

suelos desarrollados sobre Areniscas de Tacuarembó y Rivera, y el resto de las zonas estudiadas.

Considerando todos los puntos, independientemente del tipo de suelo, la ecuación de ajuste utilizando el modelo lineal con plateau fue de $Y = 0.67 + 0.0045 X$, plateau = 0.266 siendo Y el % de P en planta y X el P en el suelo expresado en mg kg⁻¹. En este modelo, un contenido en el suelo de 12 mg kg⁻¹ corresponde a 0.22% de P en planta, lo cual coincide con la información nacional. Teniendo en cuenta que todos los cultivos de lotus tienen antecedentes de fertilización fosfatada, parece necesario un mejor manejo de la misma.

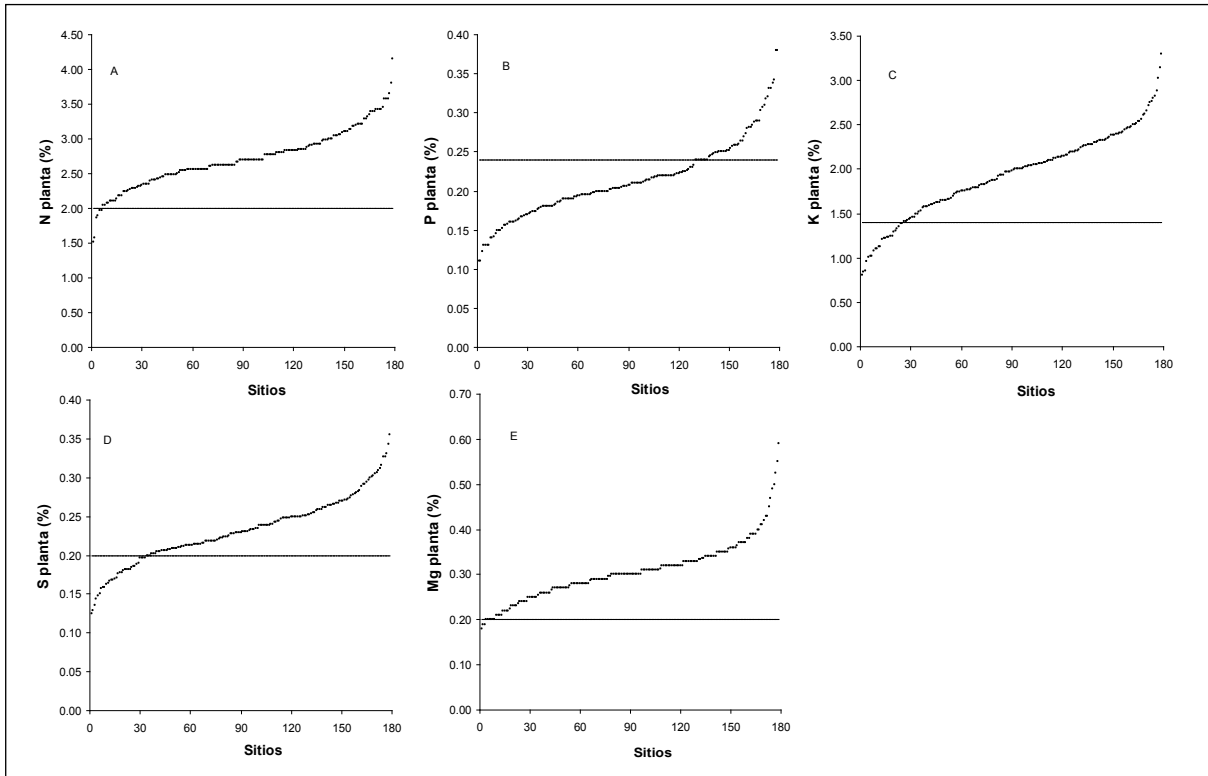


Figura 1. Contenido de N (A), P (B), K (C), S (D) y Mg (E) en plantas de *Lotus corniculatus L.* de 179 sitios relevados. Las líneas horizontales corresponden a las concentraciones críticas utilizadas (N = 2,00%; P = 0,24%; K = 1,40%; S = 0,20% y Mg = 0,20%).

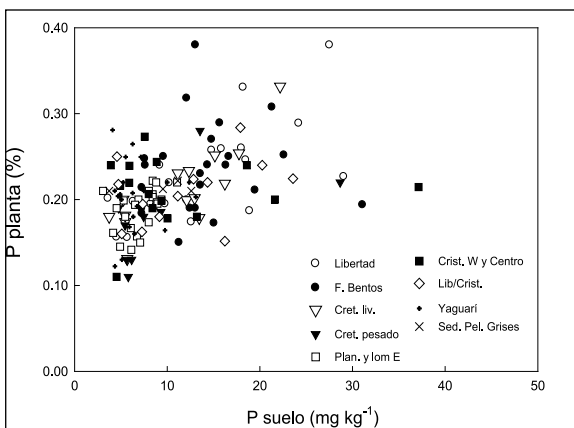


Figura 2. Relación entre fósforo en plantas de *Lotus corniculatus L.* y fósforo disponible (Bray-1) hasta 50 mg kg⁻¹ para suelos desarrollados sobre 11 zonas de suelos de Uruguay.

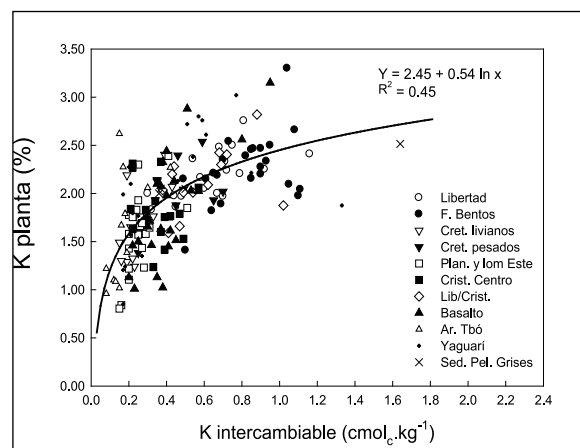


Figura 3. Relación entre K en plantas de *Lotus corniculatus L.* y K intercambiable según las zonas de suelos.

Azufre

La concentración media de S en planta fue de 0.23%, con un rango de 0.12 a 0.36% (Tabla 2 y Fig. 1d). Dado que para lotus no se han establecido concentraciones críticas de S en planta, se tomó el valor crítico de alfalfa, 0.20% (Kelling

y Matocha 1990). Nosotros encontramos que 16% de las plantas presentaron concentraciones de S menores a 0.20% y no se asociaron con ninguna zona en particular (Fig. 1d

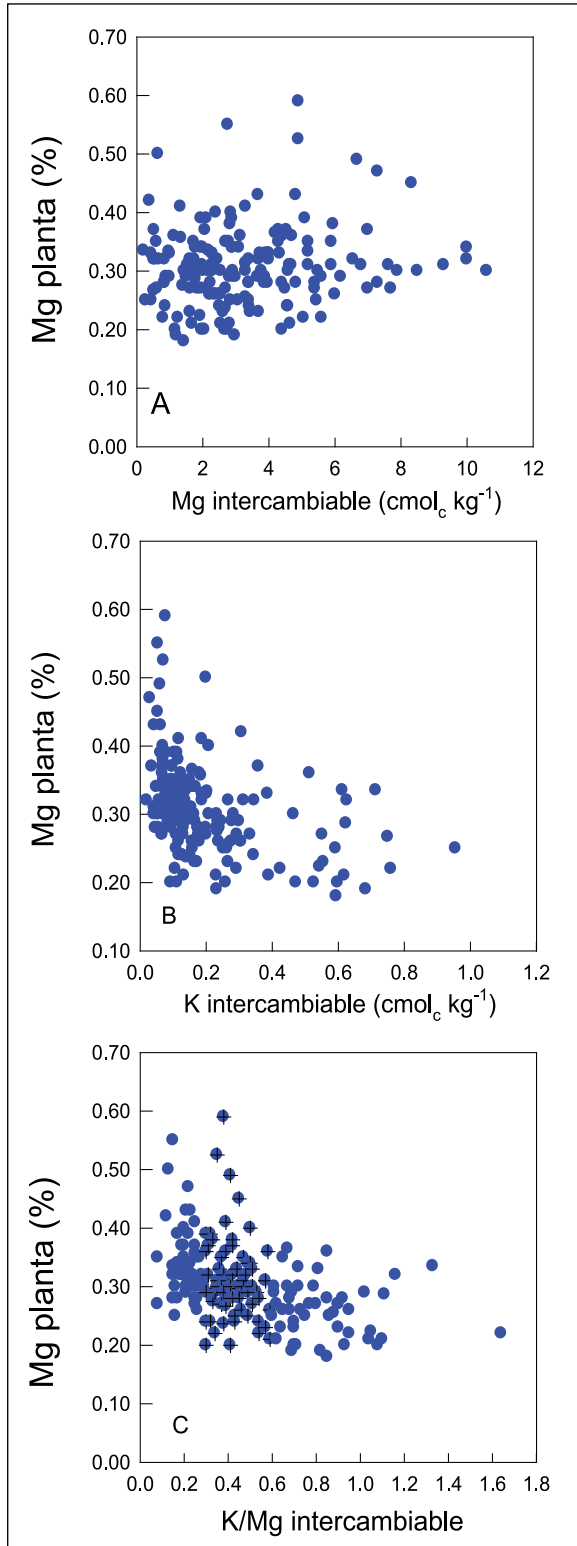


Figura 4. Relación entre concentración de Mg en planta de *Lotus corniculatus* L. y Mg intercambiable (A); K intercambiable (B) y relación K/Mg en suelo (C).

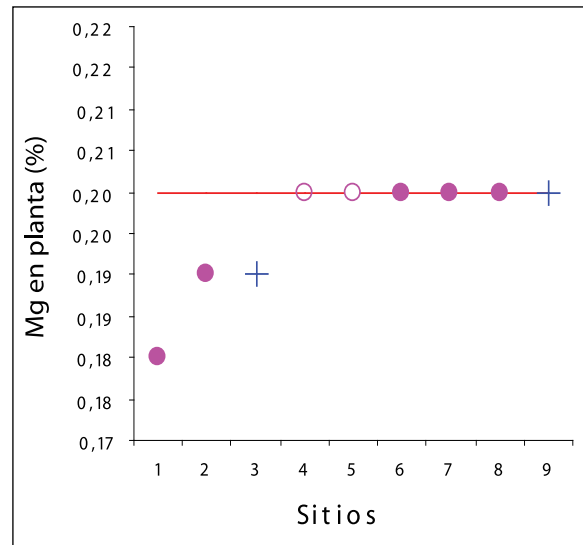
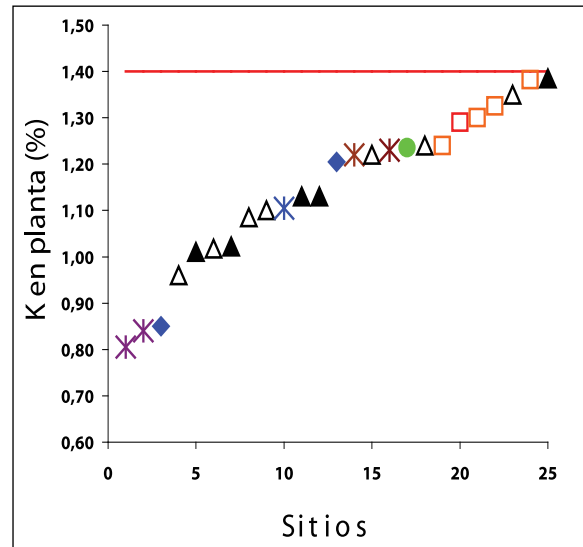
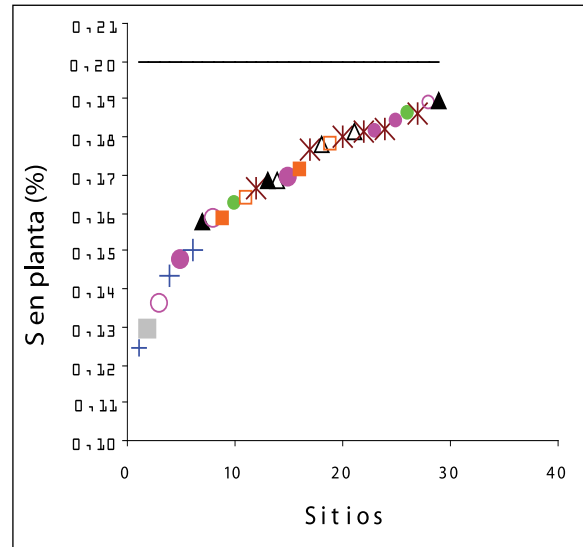


Figura 5. Identificación de suelos con bajos contenidos de S, K y Mg en planta.

y Fig. 5). Kelling y Matocha (1990) sugieren como criterio de suficiencia de S en planta una relación N:S entre 11:1 y 15:1. El 12% de las muestras estudiadas, provenientes de todas las zonas, presentaron relaciones N:S mayores a 15:1. De esas muestras, la mayoría presentó concentraciones de S inferiores a la concentración crítica.

Aunque es posible analizar la concentración de S tanto en tejidos vegetales como en suelos, aún no se ha avalado el uso de un indicador confiable que determine adecuadamente la disponibilidad de S por análisis de suelo para nuestras condiciones. En la mayoría de nuestros suelos, la dinámica del S es fundamentalmente orgánica, siendo de poca significancia el sulfato retenido en la fase inorgánica. Por lo tanto, la disponibilidad de sulfato será mayor en etapas de mineralización neta de MO, mientras que en etapas de acumulación de ésta se inmovilizará (Tisdale *et al.*, 1993). También deben considerarse los aportes de S por algunos fertilizantes fosfatados. En nuestro estudio no se encontró una relación entre los valores de MO del suelo y S en planta ($r = -0.02$ y $P = 0.78$), aunque Casanova y Cerveñansky (2001) sugieren que el valor de MO del suelo es un buen indicador de la disponibilidad de S. Probablemente las distintas situaciones de equilibrio mineralización-inmovilización de S, expliquen la falta de correlación. Estos resultados indicarían posibles deficiencias de S en algunas situaciones de suelo y del cultivo, y coinciden con lo observado en ensayos de campo, donde se ha encontrado respuesta a la aplicación de fertilizantes fosfatados con S (Zamalvide, 1998; Casanova y Cerveñansky, 2002).

La dinámica de la MO y la incorporación de S en los programas de fertilización previas deben ser elementos a considerar en futuros trabajos para estudiar la respuesta a S.

Potasio

La concentración media de K en plantas fue de 1.93%, con un rango de 0.81 a 3.30% (Tabla 2) y el 14% presentó valores menores a 1.40%. Este valor debe considerarse como una aproximación a la concentración crítica, ya que corresponde al contenido que separa las concentraciones bajas de las óptimas en alfalfa (Cornforth y Sinclair, 1984), debido a que no hay información sobre este nutriente para *Lotus corniculatus L.* (Fig. 3). La mayoría de las plantas con concentración de K inferior a dicho valor provenían de suelos de las Zonas 3 y 9, de texturas livianas y bajos contenidos de K (Fig. 1c y Fig. 5). También se observaron bajas concentraciones de K en plantas de las zonas de suelos sobre Planicies y lomadas del Este (Zona 5) y en suelos sobre cuaternario asociado a Basalto (Zona 8). En estos últimos podrían existir deficiencias de K atribuidas a la predominancia de arcilla esmectita, pobre en K (Hernández *et al.*, 1988; Hernández, 1997b). Los niveles más altos de K se encontraron en suelos de la Zona 2 (Fig. 1c) sobre materiales asociados a Formación Fray Bentos con presencia de arcillas micáceas (illita), ricas en K. Los niveles de K intercambiable en dichos suelos fueron superiores a $0.80 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ y las concentraciones de K en

planta fueron altas. Aunque no se han establecido en el país niveles críticos para K en el suelo, se han sugerido los valores de $0.15 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para suelos arenosos, $0.25 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para suelos medios y más de $0.35 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para suelos muy arcillosos, como tentativos para la mayoría de los cultivos (Hernández, 1997b). Utilizando la ecuación del ajuste de todos los puntos de este estudio, independientemente del tipo de suelo, $Y = 2.45 + 0.54 \ln X$, el valor estimado de análisis de suelo correspondiente a una concentración de 1.40% en planta es de aproximadamente $0.15 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Este valor en suelo es menor a los niveles críticos usados en el país como aproximación, e indica la necesidad de estudios específicos para este nutriente.

Magnesio

La concentración media de Mg en planta fue de 0.31%, con un rango de 0.18 a 0.59% (Tabla 2) y los valores más bajos se observaron en las Zonas 2 y 7 (Fig. 1e y Fig. 5). Como no existen referencias sobre concentraciones críticas de Mg para lotus, se usó la concentración crítica para alfalfa, 0.20%, (Kelling y Matocha, 1990). Nosotros encontramos un 5% de las muestras con concentraciones de Mg iguales o inferiores a esa concentración crítica. Si bien los contenidos de Mg en planta se correlacionaron positivamente con los valores de Mg intercambiable en el suelo ($r = 0.14$; $P = 0.05$) (Fig. 4a), la correlación fue más alta e inversa con los valores de K intercambiable ($r = -0.44$; $P = 0.01$ y Fig. 4b) y con el contenido de K en planta ($r = -0.59$; $P = 0.01$). La concentración de Mg en planta disminuyó con el aumento de la relación K:Mg intercambiables (Fig. 4c). Tisdale *et al.* (1993) sugiere que habría mayor probabilidad de deficiencias de Mg si la relación K:Mg intercambiable es cercana a 1:1 y/o la relación Ca:Mg es mayor a 15:1. El 9% de los sitios presentó relaciones K:Mg intercambiable cercanos a 1:1 y el 3% relaciones Ca:Mg superiores a 15:1. La mayoría de estos casos correspondieron a suelos de la Zona 2 (Formación Fray Bentos), con materiales ricos en Ca y K y relativamente pobres en Mg intercambiable. Estos datos indican que pueden ocurrir deficiencias de Mg por causas naturales, o inducidas por altas dosis de fertilización con K.

Calcio

La concentración media de Ca en planta fue 1.07%, con un rango de 0.34 a 1.84% (Tabla 2). El valor tomado como referencia fue de 0.40%, el cual es considerado como concentración baja (Cornforth y Sinclair, 1984). En nuestro estudio, sólo un suelo presentó concentraciones inferiores a ese valor. En el país, generalmente la aplicación de Ca se realiza como CaCO_3 para corregir el pH, ya que los suelos presentan niveles altos de Ca intercambiable, por lo cual no se esperan deficiencias de este nutriente en el mediano plazo.

Micronutrientes

Las concentraciones media de Cu, Fe, Mn y Zn en planta fueron 9, 96, 77 y 25 mg. kg⁻¹, respectivamente (Tabla 2). Según Kelling y Matocha (1990) y Cornforth y Sinclair (1984), los valores críticos de Cu, Fe, Mn y Zn para alfalfa son 5, 44, 24 y 12 mg. kg⁻¹, respectivamente. Dado que todas las concentraciones fueron superiores a las concentraciones críticas, los resultados obtenidos en nuestro estudio indican que no se esperarían deficiencias de estos micronutrientes para lotus en nuestras condiciones.

Referencias Bibliográficas

Bermúdez R., W. Ayala, A. Morón y C. Mas. 2004. Residualidad del fósforo en mejoramientos de trébol blanco y lotus común sobre suelos superficiales. In Seminario de actuario técnica: Fertilización fosfatada de pasturas en la región Este. Actividades de difusión 356. INIA. Treinta y Tres. Pp. 59-66.

Bordoli J.M. 1998. Fertilización de pasturas de leguminosas y mezclas de gramíneas y leguminosas. Manejo de la fertilidad en sistemas extensivos (Cultivos y Pasturas). Facultad de Agronomía. Unidad de Educación Permanente y Postgrado. Pp. 71-79.

Bordoli J.M. 2005. Encalado de alfalfa E. Chaná. Simposio binacional Impacto de la intensificación agrícola en el recurso suelo. 1era. Reunión Uruguaya de la Ciencia del Suelo. Colonia del Sacramento, Uruguay. 6 y 7 de octubre.

Bray R.H. y L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.

Cambrá A. 1987. Encalado, fertilización y refertilización fosfatada en alfalfa para tres suelos del departamento de Canelones. Montevideo, Facultad de Agronomía, Uruguay.

Casanova O. y A. Cerveñansky. 2001 (Mayo-Junio). La materia orgánica es un buen estimador de la necesidad de azufre? *ISUSA Agrotomario* 4, No. 22.

Casanova O. y A. Cerveñansky. 2002. Nuevas alternativas de la fertilización P y S en alfalfa. XIX Reunión del Grupo Técnico en forrajeras del Cono Sur, Zona Campos. Mercedes, Corrientes, Argentina.

Casanova O. 2004. Fertilizantes fosfatados. Fertilización en suelos de sierra. *Boletín* 256, Seminario de Actualización, INIA Treinta y Tres. Uruguay.

Casanova O. 2004b. Manejo de la fertilización fosfatada en Zona de Sierras. In Seminario de actuario técnica: Fertilización fosfatada de pasturas en la región Este. Actividades de difusión 356. INIA. Treinta y Tres. Pp 67-72.

Casanova O. y M. Barbazán. 2005. Alternativas de mejoramiento de campo natural en suelo sobre Basamento Cristalino en Uruguay. In III Congreso Nacional sobre manejo de pastizales naturales. Paraná, Entre Ríos. Argentina. Pp. 144.

Censo General Agropecuario. 2000. On line. Actualizado: 17 de Noviembre de 2006. <http://www.mgap.gub.uy/Diea/CENSOVOL2/>

Cornforth I.S. y A.G. Sinclair. 1984. Fertilizer and lime recommendations for pastures and crops in New Zealand. Second Revised Edition. Ministry of Agriculture and Fisheries, Private Bag, Wellington.

Malavolta E., G.C. Vitti y S.A. Oliveira. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba: Potafos. 201 p.

Del Pino A. 2000. Respuesta de la producción animal al mejoramiento de campo natural con fósforo y leguminosa. <http://www.fagro.edu.uy/dptos/suelos/fertilidad/investiga/Prod-Carne>.

Durán A. 1991. Los suelos del Uruguay. Editorial Hemisferio Sur. 398p.

Durán A. 1998. Caracterización de suelos de la Región Basáltica del Uruguay. In XIV Reunión del Grupo técnico regional del Cono Sur en mejoramiento y utilización de recursos forrajeros del área tropical y subtropical: Grupo Campos. Serie técnica 94. INIA Tacuarembó. Pp. 3-10.

Hernández J. 1997. Óxidos de hierro en los suelos: sus propiedades y su caracterización con énfasis en los estudios de retención de fósforo. *Agrociencia* 1:1-14.

Hernández J. 1997b. Potasio. Manejo de la fertilidad en producciones extensivas (Cereales y pasturas). Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. Pp. 29-33.

Hernández J., O. Casanova y J.P. Zamalvide. 1988. Capacidad de suministro de potasio en suelos del Uruguay. Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. *Boletín de Investigación* No. 19. Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay. 20p.

Isaac R.A. y J.D. Kerber. 1971 Atomic Absorption and flame photometry: techniques and uses in soil, plant and water analysis. In *Instrumental Methods for Analysis of Soil and Plant Tissues*. Pp. 17-37. Soil Sci. Soc. Amer. Madison, Wisconsin, USA.

Jones J.B. y V.W. Case. 1990. Sampling, handling, and analyzing plant tissue samples. In *Soil testing and plant analysis*. Third edition. R. L. Westerman. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. 389-427.

Kelling K.A. y J.E. Matocha. 1990. Plant analysis as an aid in fertilizing forage crops. In *Soil testing and plant analysis*. Third edition. R. L. Westerman. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. 603-643.

MAP/DSF. 1976. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Ministerio de Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes. Montevideo, Uruguay.

Marchesi C.E. y J.A. Elhordoy. 1993. Limitantes nutricionales para la producción de pasturas mejoradas. Efecto de la dosis, fuente de fósforo y encalado en suelos de las unidades Arroyo Blanco y Zapallar. Tesis. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. 260p.

Martínez Haedo A. y H.D. Mastropiero. 1993. Limitantes nutricionales para la producción de pasturas mejoradas. Efecto de la dosis, fuente de fósforo y encalado al tercer año en suelos de Basamento Cristalino (Unidades: Sierra de Polanco y San Gabriel – Guaycurú). Tesis. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. 200p.

Morón A. 1998. Requerimientos de fertilización y relevamiento nutricional. In *Jornada de alfalfa*. Canelones, Uruguay. Pp. 15-20.

Morón A. 2000. Fertilidad de suelos y estado nutricional. In *Tecnología en alfalfa*. *Boletín de divulgación* N° 69. INIA La Estanzuela. Pp. 37-51.

Morón A. 2004. Relevamiento del estado nutricional y la fertilidad del suelo en cultivos de trébol blanco en la zona Este de Uruguay. In *Fertilización fosfatada de pasturas en la Región Este*. Seminario de Actualización Técnica. Actividad de difusión 356. INIA Treinta y Tres.

Murphy J. y J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27:31-36.

Olmos F. 1998. Mejoramientos de pasturas con Lotus. In XIV Reunión del Grupo técnico regional del Cono Sur en mejoramiento y utilización de recursos forrajeros del área tropical y subtropical: Grupo Campos. Serie técnica 94. INIA Tacuarembó. Pp. 59-60.

Pinkerton A., F.W. Smith y D.C. Lewis. 1997. Pasture species. In *Plant analysis, an interpretation manual*. Second edition. D. J. Reuter and J. B. Robinson editores.

SAS Institute. 1985. SAS/STAT Guide for Personal Computer. Version 6 Edition. SAS Inst. Cary, North Carolina, USA.

Smith F.W. y J.F. Loneragan. 1997. Interpretation of plant analysis: concepts and principles. In *Plant analysis, an interpretation manual*. Second Edition. Reuter D. J. and J. B. Robinson. Assistant Editor. C. Dutkiewicz. CSIRO. Australia.

Tisdale S. L., W.L. Nelson, J.D. Beaton y J.L. Havlin. 1993. Soil fertility and fertilizers. Fifth Edition.

Walkley A. y T.A. Black. 1934. An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37:29-38.

Zamalvide J. 1998. Fertilización de pasturas. In XIV Reunión del Grupo técnico regional del Cono Sur en mejoramiento y utilización de recursos forrajeros del área tropical y subtropical: Grupo Campos. Serie técnica 94. INIA Tacuarembó. Pp. 97-107. <

DOSIS ÓPTIMA ECONÓMICA DE NITRÓGENO EN MAÍZ BAJO SIEMBRA DIRECTA EN EL SUDESTE BONAERENSE

Agustín Pagani, Hernán E. Echeverría, Pablo A. Barbieri y Hernán R. Sainz Rozas.

Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce.

paganiagustin@hotmail.com

Introducción

El SE bonaerense se caracteriza por contar con suelos de muy buena aptitud y clima templado-frío que acorta la estación de crecimiento de los cultivos estivales. Estas características hacen que dicha zona difiera considerablemente del resto de la Región Pampeana y determina que los materiales genéticos de maíz utilizados posean ciclos de crecimiento intermedios a cortos que se adaptan a la estación de crecimiento y al período libre de heladas de alrededor de 150 días (Andrade, 1995). El cultivo de maíz presenta una gran importancia en los sistemas productivos del SE bonaerense debido a que constituye un componente clave de las rotaciones agrícolas (Dominguez et al., 2005). Dicho cultivo realiza grandes aportes de residuos orgánicos al suelo, mejorando el balance de carbono (Janzen, 2006) y por lo tanto, contribuye al mantenimiento de su calidad. Además, en el SE bonaerense, se ha producido un incremento de la superficie sembrada con maíz bajo siembra directa (SD) debido a ventajas operativas, en el almacenamiento de agua y en la conservación del suelo, entre otras (Tellería, 1996).

La adopción del maíz dentro de los planteos productivos está mayoritariamente condicionada por la rentabilidad que el cultivo le aporta a la empresa agropecuaria. En este sentido, la relación de precios entre el N y el grano de maíz cobra gran relevancia en la definición de los niveles de N a aplicar (Alvarez et al., 2003). Teniendo en cuenta que los fertilizantes nitrogenados tienen una alta importancia relativa dentro del costo de producción, se hace necesario contar con herramientas que permitan determinar la dosis óptima económica (DOE), es decir, la cantidad de insumo (fertilizante nitrogenado) que maximiza la renta de este cultivo.

El diagnóstico de requerimiento de nitrógeno (N) en maíz más utilizado se basa en la determinación del contenido de N como nitrato (N-NO_3^-) hasta los 60 cm de profundidad antes de la siembra (Ruiz et al., 2001). Sin embargo, también se ha propuesto como alternativa superadora la determinación de N-NO_3^- a una profundidad de 30 cm al estadio de seis hojas (V6). En estos trabajos se asume que el N disponible en el suelo es equivalente al aportado por el fertilizante o sea que su valorización es similar. A su vez, se ha demostrado una mayor eficiencia de recuperación del N cuando las aplicaciones se realizan en el estadio fenológico V6 (Sainz Rozas et al., 2004).

Frecuentemente, los trabajos de investigación generan abundante información acerca de la relación entre el rendimiento relativo y el contenido de N en el suelo al momento de la siembra o al estadio de V6 (estudios de calibración), pero no se cuenta con información que permita calcular la DOE teniendo en cuenta el N disponible en el suelo. El objetivo de este trabajo es determinar la DOE de fertilizante nitrogenado para el cultivo de maíz bajo SD en el SE bonaerense, considerando dos momentos de fertilización. Además, se pretende comparar

el efecto de la relación de precios N-grano de maíz y la potencialidad del año sobre la definición de la DOE.

Materiales y Métodos

En este trabajo se realizaron estimaciones del nivel de N (NN) óptimo económico basado en funciones de respuesta del cultivo de maíz a la disponibilidad de N al momento de la siembra (SI) o al estadio de V6, según la potencialidad del año y la relación de precios N/grano de maíz. El NN se define como los kg N ha^{-1} presentes en el suelo más los aplicados en forma de fertilizante y se asume que la valorización de ambos es equivalente. La DOE se determina como la diferencia entre el NN y la disponibilidad de N edáfica de 0-60 o 0-30 cm, para SI y V6, respectivamente. La información utilizada fue de 23 ensayos de fertilización nitrogenada realizados en el SE bonaerense (partidos de Gral. Pueyrredón, Balcarce y Tandil) por el Grupo de Suelos de la Unidad Integrada (INTA-FCA) Balcarce, entre los años 1996 y 2007 (Tabla 1). Las poblaciones de datos cubrieron una amplia gama de condiciones meteorológicas y de fertilidad de suelo con el fin de contemplar diversos escenarios productivos. Los conjuntos de datos obtenidos representan un abanico de respuestas en rendimiento a la disponibilidad y aplicación de N, no siendo otros nutrientes como fósforo y azufre limitantes, ya que se aseguró adecuada disponibilidad de los mismos. La fuente de N fue urea granulada aplicada al voleo en cobertura total. En los ensayos en los cuales las condiciones meteorológicas atentaban contra la supervivencia del cultivo, se recurrió a la aplicación de láminas de agua de entre 30 y 50 mm para permitir sobrellevar dicho estrés. De esta forma se aseguró la continuidad de los ensayos, pero el rendimiento máximo estuvo determinado principalmente por las precipitaciones.

Se utilizó el modelo cuadrático-plateau (utilizando el Software Table Curve), para describir la relación entre el rendimiento en grano (expresado al 14% de humedad) y el NN. Este modelo fue seleccionado por Pagani et al. (2008) debido a que, a partir de él, se obtienen las DOE más racionales desde el punto de vista agronómico. El mismo se define como:

$$Y = a + bX + cX^2 \text{ si } X < C$$

$$Y = P \text{ si } X > C$$

donde Y es el rendimiento en grano expresado al 14% de humedad (kg ha^{-1}) y X es el NN (kg ha^{-1}); a (ordenada al origen), b (coeficiente lineal), c (coeficiente cuadrático), C (NN crítico, donde ocurre la intercepción entre la fase de respuesta cuadrática y el plateau) y P es el rendimiento plateau. Dicho modelo fue derivado y las rectas resultantes se graficaron en función de la relación de precios entre el N y el grano de maíz a fin

de determinar el NN óptimo económico. La estimación del contenido de N mineral del suelo se realizó en base a la concentración de N-NO₃ determinado mediante microdestilación por arrastre de vapor. En el caso del análisis a la SI el muestreo se realizó a 60 cm de profundidad, para lo cual se tomaron estratos de 20 cm (0-20, 20-40 y 40-60 cm) y se promediaron las concentraciones de N correspondientes a cada uno de ellos. Para el caso del análisis en V6, el muestreo fue realizado a 30 cm sin división en estratos (0-30 cm). Para realizar la transformación a kg N ha⁻¹ se utilizaron valores de densidad aparente considerados de referencia para suelos bajo SD en el Sudeste bonaerense: 1,2 Mg m⁻³ para el estrato de 0-30 cm y un valor de 1,3 Mg m⁻³ para el de 0-60 cm. La relación de precios entre el N y el grano de maíz se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Relación de precios} = \frac{\text{Precio N (\$/kg N)} + \text{interés} + \text{CA}}{\text{Precio bruto grano (\$/kg)} - \text{gastos}}$$

donde CA: Costo de aplicación

A su vez, el precio del N depende del precio del fertilizante y de su concentración de N:

$$\text{Precio del N (\$/kg N)} = \frac{\text{Precio fertilizante (\$/ton)}}{\text{kg N/ton fertilizante}}$$

En el cálculo de la relación de precios se consideró como costo del fertilizante, el precio del mismo puesto en el campo más el costo financiero (en el caso de existir este) por haber usado crédito para adquirirlo. El valor del grano utilizado fue el neto, luego de descontados los gastos de cosecha, flete, secado y comercialización.

Para el cálculo del interés se consideró la tasa mensual y el período de inmovilización (generalmente 6-8 meses).

Resultados y Discusión

En la Figura 1 se presentan los valores de rendimiento en grano de maíz en función del NN para los momentos de SI y V6. Cada punto representa el promedio de rendimiento (de al menos tres repeticiones) correspondiente a cada tratamiento o sea NN (disponibilidad de N inicial + dosis de N aplicada) de los diferentes ensayos. Del ajuste del modelo surgieron ecuaciones cuyos coeficientes se presentan en la Tabla 2. Si bien las regresiones fueron significativas (p<0,01), los coeficientes de determinación (R²) de las mismas, podrían ser mejorados (Tabla 2). Esto se debe a que la relación entre el rendimiento de un cultivo y el N disponible está afectada por factores genéticos, ambientales y de manejo (Carcova, 2004). Esta limitación fue parcialmente superada cuando se agruparon los resultados en poblaciones correspondientes a años con diferente potencialidad, para ambos momentos (SI y V6). Se ajustaron los mismos modelos para años cuyos rendimientos máximos fueron superiores a 12000 kg ha⁻¹ (años favorables), entre 12000 y 10000 kg ha⁻¹ (años promedio), y para los que no superaron los 10000 kg ha⁻¹ (años poco favorables). De esta manera se logró cubrir tres escenarios de respuesta a la fertilización (Fig. 2). La construcción de tres curvas de respuesta para cada momento de muestreo-fertilización permitió reducir la variabilidad aumentando el valor predictivo del modelo (Tabla 3). Como se mencionó, el N no es el único factor que determina el rendimiento de maíz, por lo que la utilización de tres curvas de respuesta permitió realizar un análisis más detallado y sobre todo de

Tabla 1. Información descriptiva de los sitios experimentales para el análisis a la siembra (SI) y en 6 hojas expandidas (V6). MO: materia orgánica (0-20 cm), pH: 1:2,5 suelo/agua (0-20cm), P: fósforo disponible (0-20), N-NO³⁻: nitrógeno como nitratos (0-60 cm para SI y 0-30 cm para V6).

En-sayo	Campaña	Sitio	Antecesor	Riego	MO (g kg ⁻¹)	pH	P (mg kg ⁻¹)	N-NO ³⁻ (kg ha ⁻¹)	Dosis N (kg ha ⁻¹)
-----SI-----									
1	1994/95	Balcarce	Maíz	si	55	5,8	18	41	0, 70, 140
2	1995/96	Balcarce	Maíz	si	55	5,8	20	11	0, 35, 70, 140, 210
3	1996/97	Tandil	Maíz	si	55	5,8	24	9	0, 70, 210
4	1996/97	Balcarce	Maíz	si	55	5,8	21,4	32	0, 70, 210
5	1997/98	Balcarce	Trigo	no	65	6	16,0	55	0, 70, 140, 210, 280
6	1997/98	Gral. Pueyrredón	Maíz	si	56	5,8	22	85	0, 70, 140, 210, 280
7	1999/00	Tandil	Maíz	si	55	6	17,2	54	0, 60, 120, 180
8	2000/01	Balcarce	Maíz	no	55	6,4	36,9	31	0, 70, 180
9	2001/02	Balcarce	Maíz	si	54	6,4	16,9	22	0, 180
10	2001/02	Balcarce	Maíz	no	54	6,4	16,9	22	0, 180
11	2002/03	Gral. Pueyrredón	Maíz	no	54	6,4	18,9	13	0, 180
12	2002/03	Balcarce	Maíz	no	54	6,4	18,9	13	0, 180
13	2004/05	Balcarce	Maíz	si	57	5,3	14,9	42	0, 60, 120
14	2005/06	Balcarce	Soja 2da	si	53	5,9	19,8	65	0, 150
15	2006/07	Balcarce	Soja 2da	no	53	5,3	8	88	0, 50, 100
-----V6-----									
16	1994/95	Balcarce	Maíz	si	55	5,8	18	49	0, 35, 70, 140
17	1995/96	Balcarce	Maíz	si	55	5,8	20	28	0, 35, 70, 140, 210
18	1996/97	Balcarce	Maíz	si	55	5,8	24	44	0, 70, 140, 210
19	1997/98	Tandil	Maíz	si	56	5,8	22	32	0, 60, 120, 180
20	1998/99	Balcarce	Maíz	no	58	5,8	15	43	0, 70, 140, 210
21	1999/00	Gral. Pueyrredón	Maíz	si	59	6	17,3	56	0, 60, 180
22	1999/00	Balcarce	Maíz	si	59	6	17,3	42	0, 60, 180
23	2004/05	Balcarce	Maíz	si	49	5,6	19,5	56	0, 60, 120

mayor aplicabilidad para cada situación en particular. Debido a que todos los experimentos fueron conducidos bajo adecuadas prácticas de manejo (selección del material genético, fecha de siembra, densidad, espaciamento entre hileras, control de plagas, malezas y fertilización con otros nutrientes), es evidente que las diferencias en respuesta a N entre las curvas de la Figura 2 se deben a las variaciones anuales en las condiciones meteorológicas. Dentro de estas variables se encuentran como más relevantes para definir el rendimiento de maíz, la disponibilidad hídrica durante el ciclo del cultivo, sobre todo alrededor de la floración (Calviño et al., 2003), aunque también la temperatura y la radiación son factores determinantes del rendimiento durante el período crítico del cultivo (Carcova, 2004). La relevancia de esta segregación, radica en la posibilidad de optar entre curvas de alto o bajo rendimiento, en los casos que sea posible definir escenarios de precipitación diferente al promedio. En situaciones donde se prevea que no existirán limitaciones hídricas importantes para el cultivo por aplicación de riego, podrá

elegirse trabajar con la función de altos rendimientos (años favorables). Por el contrario, en situaciones donde sean probables precipitaciones menores que el promedio o que la actitud del productor sea más conservadora, sería aconsejable estimar la dosis de N a aplicar con la función de menores rendimientos (años poco favorables). Este caso puede darse si se cuenta con pronósticos meteorológicos que indiquen un efecto "Año Niña" para el ciclo del cultivo, en el cual sean probables precipitaciones menores a la media. Si no se cuenta con información de este tipo, probablemente la utilización de la función de años promedio sea la que arroje resultados económicamente más convenientes a largo plazo (Alvarez et al., 2003). De todas maneras, la elección de una u otra estrategia forma parte del contexto, racionalidad y filosofía de cada productor. Una vez obtenidas las ecuaciones de respuesta de rendimiento a la disponibilidad de N para ambos momentos de muestreo-fertilización, se procedió a derivar el modelo con el fin de obtener nuevas funciones que fueron graficadas utilizando el NN como variable independiente, y la relación de precios N-grano de maíz como variable dependiente (Fig. 3 y Tabla 4). Esto permitió desarrollar tablas de recomendación para la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz al momento de la SI (Tabla 5) o en V6 (Tabla 6). Así, previa selección de la Tabla a utilizar (en función de la potencialidad del año y del momento de muestreo-fertilización), puede ingresarse a la misma con una relación de precios y disponibilidad de N determinada, y de esta manera obtener la DOE para la condición seleccionada. Cuando se fertilice con fosfato diamónico

Tabla 2. Coeficientes de las funciones de ajuste de rendimiento al nivel de N (NN) para el momento de la siembra (SI) y seis hojas (V6). c: coeficiente cuadrático, b: coeficiente lineal, a: ordenada al origen, C: NN crítico, donde ocurre la intersección entre la fase de respuesta cuadrática y el plateau, R²: coeficiente de determinación de la regresión.

Momento	c	b	a	C	R ²
SI	-0,182	70,44	4115	177	0,72
V6	-0,223	78,42	4434	168	0,66

Tabla 3. Coeficientes de las funciones de ajuste de rendimiento al nivel de N (NN) para el momento de la siembra (SI) y seis hojas (V6) según la potencialidad del año. c: coeficiente cuadrático, b: coeficiente lineal, a: ordenada al origen, C: NN crítico, donde ocurre la intersección entre la fase de respuesta cuadrática y el plateau, R²: coeficiente de determinación de la regresión.

Años	c	b	a	C	R ²
----- SI -----					
Favorables	-0,212	92,89	3085	209	0,93
Promedio	-0,179	67,14	4425	194	0,85
Poco favorables	-0,215	68,54	3559	160	0,95
----- V6 -----					
Favorables	-0,208	82,17	4710	198	0,95
Promedio	-0,319	94,65	4146	145	0,80
Poco favorables	-0,293	79,52	3420	113	0,92

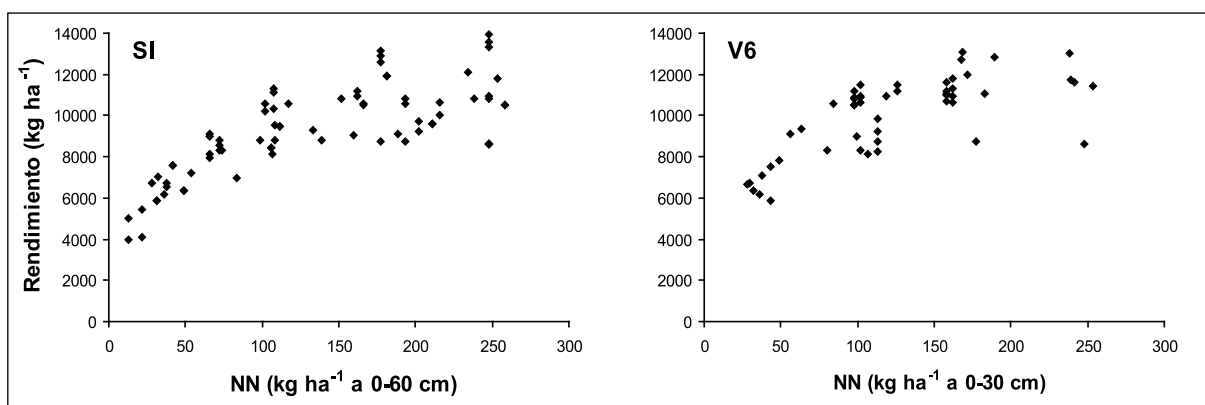


Figura 1. Relaciones entre el rendimiento de maíz y el nivel de N (NN) a la siembra (SI) y al estadio de seis hojas (V6) del maíz en el SE bonaerense.

o monoamónico con posterioridad a la determinación del contenido de nitratos, se deberá descontar de la DOE, los kg de N aportado por el fertilizante fosforado. Es válido mencionar que ante elevada disponibilidad de N, generalmente no es rentable la aplicación de dosis menores a 30 kg N ha⁻¹ por lo que en estas situaciones no es recomendable la fertilización, si ello implica un costo de aplicación. Debido a lo anterior, no se consideraron en las Tablas 5 y 6, valores de DOEs menores a 30 kg N ha⁻¹. A modo de ejemplo, para la relación de precios promedio (10 kg de maíz necesarios para pagar 1 kg de N) y una disponibilidad de N a la SI frecuente (50 kg N ha⁻¹), la DOE sería de 86, 110 y 145 kg N ha⁻¹ para años poco favorables, promedio y favorables, respectivamente (Tabla 5). Para idénticas condiciones en el estadio de V6, la DOE sería de 69, 83 y 123 kg N ha⁻¹ para años poco favorables, promedio y favorables, respectivamente (Tabla 6).

En cuanto al momento de muestreo-fertilización, en general se observó que las DOEs fueron menores en V6 respecto de SI para todos los años evaluados. Lo anterior, está de acuerdo con los resultados de Sainz Rozas et al. (2004) quienes determinaron menores pérdidas de N del sistema en V6 respecto de la aplicación a la SI. Esto se traduce en mayores eficiencias de recuperación del fertilizante en V6, cuando las tasas de absorción de N por el maíz comienzan a ser significativas (Echeverría y Sainz Rozas, 2005). En la Figura 4 se presenta la evolución de la relación de precios N-grano de maíz para los últimos diez años en Argentina, donde se observa que dicho valor fluctuó entre un mínimo de 5,3 y un máximo de 17,5 kg de grano de maíz necesarios

para pagar 1 kg de N. Este amplio rango de oscilación de precios provoca variaciones en el NN óptimo económico y, por lo tanto, en la DOE de tan solo 30 y 23 kg N ha⁻¹ para SI y V6, respectivamente (promedio de años favorables, promedio y poco favorables). Por su parte, cuando se considera el efecto de potencialidad del año (para el promedio de relación de precios), las variaciones en el NN y la DOE, prácticamente se duplican puesto que se determinaron valores de 59 y 54 kg N ha⁻¹ para SI y V6, respectivamente (diferencia entre los años favorables y poco favorables). Considerando que, para una situación determinada, es muy poco probable definir la potencialidad del año y que, por el contrario las fluctuaciones en la relación de precios son generalmente de menor magnitud que la mencionada, el impacto del efecto año sobre los cambios en el NN y por lo tanto en la DOE es aún mayor. Estos resultados enfatizan la importancia del

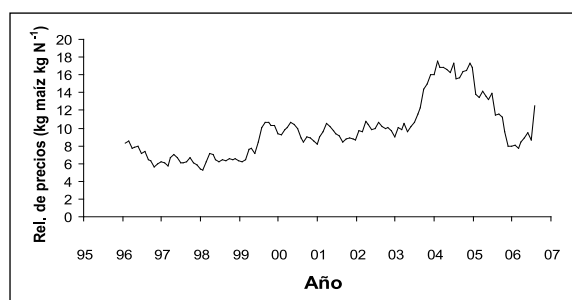


Figura 4. Relación de precios N-grano de maíz durante el período 1997-07 en Argentina. Fuente: Series de precios AACREA.

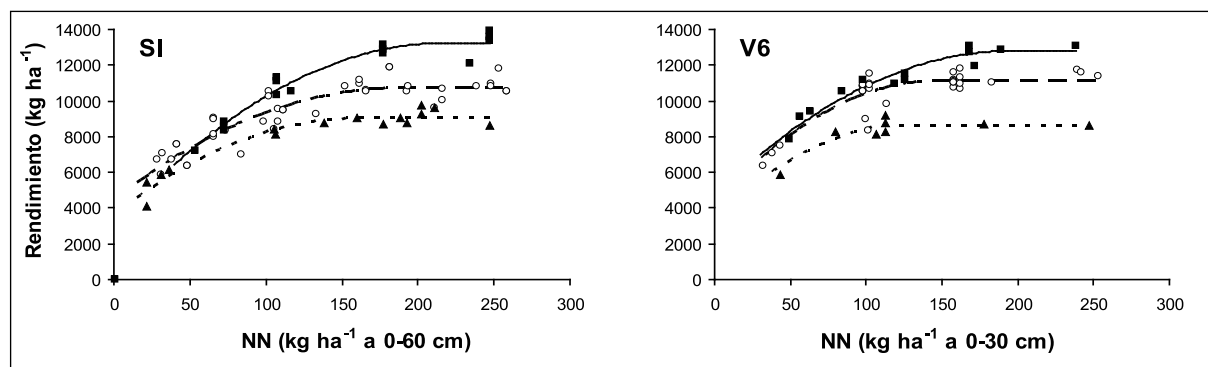


Figura 2. Relaciones entre el rendimiento de maíz y el nivel de N (NN) determinado a la siembra (SI) y al estadio de seis hojas (V6) en el SE bonaerense. Las curvas presentan funciones de ajuste del modelo cuadrático-plateau para los rendimientos correspondientes a años favorables (cuadrados negros), promedio (círculos blancos) y poco favorables (triángulos negros).

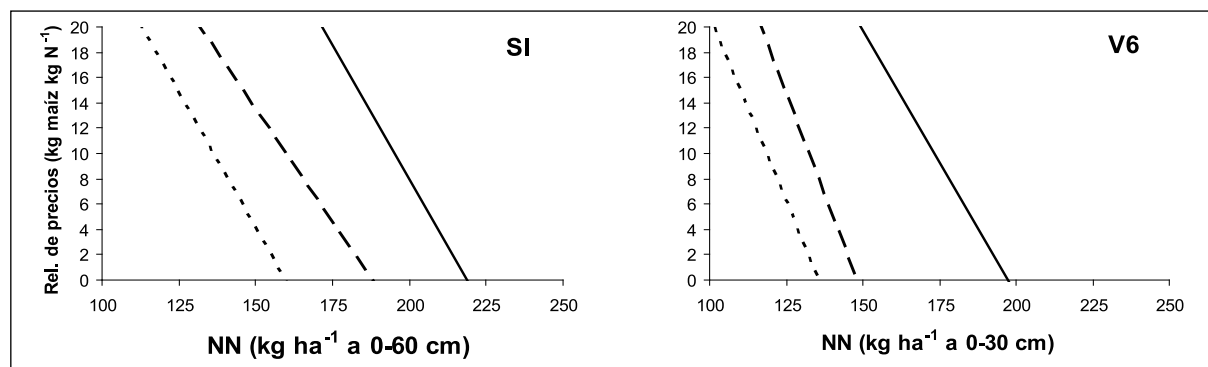


Figura 3. Funciones derivadas de las relaciones entre el rendimiento del cultivo y el nivel de N (NN) en el suelo a la siembra (SI) y al estadio de seis hojas (V6) en el SE bonaerense. Años favorables (línea llena), promedio (línea discontinua) y poco favorables (línea punteada).

nivel de rendimiento máximo como mayor condicionante de la DOE. En este sentido, es más factible definir acertadamente el rendimiento máximo en V6 que a la SI, debido a que generalmente se cuenta con mayor información disponible en ese momento (disponibilidad hídrica en el suelo, pronósticos climáticos, relaciones de precios).

En síntesis, se determinó la DOE del fertilizante nitrogenado para el cultivo de maíz bajo SD en el SE bonaerense.

La DOE para la fertilización con N al estadio de V6 fue inferior que la correspondiente al momento de la siembra, lo que ratifica las ventajas de fertilizar el maíz en V6 respecto de la siembra. La potencialidad del año condicionó la DOE en mayor medida que la relación de precios N/grano de maíz, por lo que a la hora de fertilizar, la definición del rendimiento objetivo del cultivo cobra mayor relevancia aún que la relación de precios.

Tabla 4. Coeficientes de las funciones derivada de las relaciones entre el rendimiento del cultivo y el nivel de N (NN) en el suelo determinado a la siembra (SI) y al estadio de seis hojas (V6) en el SE bonaerense. b: coeficiente lineal, a: ordenada al origen.

Años	----- SI -----		----- V6 -----	
	b	a	b	a
Favorables	-0,424	92,89	-0,416	82,17
Promedio	-0,357	67,14	-0,639	94,66
Poco favorables	-0,429	68,55	-0,586	79,52

Tabla 5. Dosis óptima económica (DOE) de fertilización nitrogenada para años con condiciones favorables, promedio y poco favorables en función de la relación de precios N fertilizante/grano de maíz y el contenido de N mineral del suelo (kg ha⁻¹) para la fertilización a la siembra. La zona resaltada en color gris indica las situaciones más frecuentes.

Años favorables	Relación de precios (kg grano kg N ⁻¹)											
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
N suelo (kg ha ⁻¹)	----- kg N ha ⁻¹ -----											
20	185	183	180	178	175	173	171	168	166	164	161	
30	175	173	170	168	165	163	161	158	156	154	151	
40	165	163	160	158	155	153	151	148	146	144	141	
50	155	153	150	148	145	143	141	138	136	134	131	
60	145	143	140	138	135	133	131	128	126	124	121	
70	135	133	130	128	125	123	121	118	116	114	111	
80	125	123	120	118	115	113	111	108	106	104	101	
90	115	113	110	108	105	103	101	98	96	94	91	
100	105	103	100	98	95	93	91	88	86	84	81	
110	95	93	90	88	85	83	81	78	76	74	71	
120	85	83	80	78	75	73	71	68	66	64	61	
130	75	73	70	68	65	63	61	58	56	54	51	
Años promedio	Relación de precios (kg grano kg N ⁻¹)											
N suelo (kg ha ⁻¹)	----- kg N ha ⁻¹ -----											
20	151	148	146	143	140	137	134	132	129	126	123	
30	141	138	136	133	130	127	124	122	119	116	113	
40	131	128	126	123	120	117	114	112	109	106	103	
50	121	118	116	113	110	107	104	102	99	96	93	
60	111	108	106	103	100	97	94	92	89	86	83	
70	101	98	96	93	90	87	84	82	79	76	73	
80	91	88	86	83	80	77	74	72	69	66	63	
90	81	78	76	73	70	67	64	62	59	56	53	
100	71	68	66	63	60	57	54	52	49	46	43	
110	61	58	56	53	50	47	44	42	39	36	33	
120	51	48	46	43	40	37	34	32	0	0	0	
130	41	38	36	33	0	0	0	0	0	0	0	
Años poco favorables	Relación de precios (kg grano kg N ⁻¹)											
N suelo (kg ha ⁻¹)	----- kg N ha ⁻¹ -----											
20	126	123	121	119	116	114	112	109	107	105	102	
30	116	113	111	109	106	104	102	99	97	95	92	
40	106	103	101	99	96	94	92	89	87	85	82	
50	96	93	91	89	86	84	82	79	77	75	72	
60	86	83	81	79	76	74	72	69	67	65	62	
70	76	73	71	69	66	64	62	59	57	55	52	
80	66	63	61	59	56	54	52	49	47	45	42	
90	56	53	51	49	46	44	42	39	37	35	32	
100	46	43	41	39	36	34	32	0	0	0	0	
110	36	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Agradecimientos

Trabajo financiado por el proyecto INTA AERN5656, el AGR261/08 de la FCA-UNMP y con recursos de la Est. Exp. INTA Balcarce.

Referencias bibliográficas

Álvarez R., H.S. Steinbach, C.R. Álvarez y M.S. Grigera. 2003. Recomendaciones para la fertilización nitrogenada de trigo y maíz en la Pampa Ondulada. Informaciones Agronómicas del Cono Sur, N° 18.
Andrade F.H. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. Field Crop Res. 41:1-12.
Calviño P.A., F.H. Andrade y V.O. Sadras. 2003. Maize Yield as Affected by Water Availability, Soil Depth, and Crop Management. Agron. J. 95:275-281.
Carcova J., G. Abeledo y M. Lopez Pereira. 2004. Análisis de la generación del rendimiento: crecimiento, partición y componentes. En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Satorre EH, Benech RL, Slafer GA, de la Fuente EB, Miralles DJ,

Otegui ME, Savin R (eds.). Editorial Facultad de agronomía. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. pp. 75-95.
Dominguez G., G. Studdert y H.E. Echeverría. 2005. Propiedades del suelo: efectos de las practicas de manejo. En: Echeverría HE, García FO (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 207-229.
Echeverría H.E. y H.R.Sainz Rozas. 2005. Maíz. En: H.E. Echeverría y F.O. García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA. pp. 255-282.
Janzaen J.J. 2006. The soil carbon dilemma. Shall we hoard it or use it? Soil boil. Biochem. 38:419-424.
Pagani A., H.E. Echeverría, H.R. Sainz Rozas y P.A. Barbieri. 2008. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. Ciencia del Suelo (en prensa).
Sainz Rozas H.R., H.E. Echeverría y P.A. Barbieri PA. 2004. Nitrogen Balance as Affected by Application Time and Nitrogen Fertilizer Rate in Irrigated No-Tillage Maize. Agron. J. 96:1622-1631.
Tellería J.G. 1996. Siembra Directa de Maíz. En: Maíz, Cuaderno de Actualización Técnica N°57. CREA. Buenos Aires, Argentina. pp. 90-96. <

Tabla 6. Dosis óptima económica de fertilización nitrogenada para años buenos, promedio y malos en función de la relación de precios N fertilizante/grano de maíz y el contenido de N mineral del suelo (kg ha⁻¹) para la fertilización en V6. La zona resaltada en color gris indica las situaciones más frecuentes.

Años favorables	Relación de precios (kg grano kg N ⁻¹)										
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
N suelo (kg ha ⁻¹)	----- kg N ha ⁻¹ -----										
20	163	161	158	156	153	151	149	146	144	141	139
30	153	151	148	146	143	141	139	136	134	131	129
40	143	141	138	136	133	131	129	126	124	121	119
50	133	131	128	126	123	121	119	116	114	111	109
60	123	121	118	116	113	111	109	106	104	101	99
70	113	111	108	106	103	101	99	96	94	91	89
80	103	101	98	96	93	91	89	86	84	81	79
90	93	91	88	86	83	81	79	76	74	71	69
100	83	81	78	76	73	71	69	66	64	61	59
110	73	71	68	66	63	61	59	56	54	51	49
120	63	61	58	56	53	51	49	46	44	41	39
130	53	51	48	46	43	41	39	36	34	0	0
Años promedio	Relación de precios (kg grano kg N ⁻¹)										
N suelo (kg ha ⁻¹)	----- kg N ha ⁻¹ -----										
20	119	117	116	114	113	111	109	108	106	105	103
30	109	107	106	104	103	101	99	98	96	95	93
40	99	97	96	94	93	91	89	88	86	85	83
50	89	87	86	84	83	81	79	78	76	75	73
60	79	77	76	74	73	71	69	68	66	65	63
70	69	67	66	64	63	61	59	58	56	55	53
80	59	57	56	54	53	51	49	48	46	45	43
90	49	47	46	44	43	41	39	38	36	35	33
100	39	37	36	34	33	0	0	0	0	0	0
110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Años poco favorables	Relación de precios (kg grano kg N ⁻¹)										
N suelo (kg ha ⁻¹)	----- kg N ha ⁻¹ -----										
20	105	104	102	100	99	97	95	94	92	90	88
30	95	94	92	90	89	87	85	84	82	80	78
40	85	84	82	80	79	77	75	74	72	70	68
50	75	74	72	70	69	67	65	64	62	60	58
60	65	64	62	60	59	57	55	54	52	50	48
70	55	54	52	50	49	47	45	44	42	40	38
80	45	44	42	40	39	37	35	34	32	0	0
90	35	34	32	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FERTILIZACIÓN NITROGENADA DE MAÍZ EN EL SUDESTE DE CÓRDOBA

Martín A. Sanchez y Sebastián J. Muñoz

Asesores CREA Monte Buey-Inriville

msanchez@nodosud.com.ar; sebajm1980@hotmail.com

Introducción

En sistemas con prolongada historia agrícola, la fertilización permite incrementar la rentabilidad del cultivo. En consecuencia, una manera de aumentar la eficiencia en el uso de los fertilizantes, es conocer en que forma responde el cultivo cuando se incrementa la disponibilidad de nutrientes, en diferentes condiciones ambientales.

La respuesta a la fertilización es un proceso complejo, en el que interactúan el cultivo y el medio edafo-climático, y cuya magnitud dependerá tanto de la fertilidad del lote, determinada por la disponibilidad de nutrientes durante el ciclo del cultivo, como del rendimiento potencial que el cultivo pueda lograr, relacionado con la oferta de radiación, las temperaturas y la disponibilidad de agua (Salvagiotti et al., 2003). Todo ello permite inferir que los patrones de respuesta pueden no ser los mismos entre y dentro de cada campaña agrícola.

En ausencia de limitaciones en la disponibilidad hídrica u otros nutrientes, la disponibilidad de nitrógeno (N) será el factor que limite la expresión del rendimiento máximo que el cultivo pueda alcanzar.

La metodología más difundida de diagnóstico y recomendación de fertilización nitrogenada para el cultivo de maíz, se basa en la medición del contenido de nitratos en suelos (0-60 cm) al momento de la siembra (Díaz Zorita y Duarte, 1997; Ruiz et al., 2001). Esta metodología tiene su fundamento en que la cantidad de N a aplicar (Nf) proviene de la diferencia entre el umbral crítico (UC) y la disponibilidad de N-NO₃ determinada en pre-siembra (Ns). Dicho umbral indica el punto de quiebre a partir del cual el cultivo no responde más al agregado de N.

$$Nf = UC - Ns$$

Es importante destacar que se trata de una aproximación empírica, donde no se toman en cuenta los procesos que determinan el rendimiento, ni aquellos que afectan la dinámica del N en el sistema suelo - planta, implicando la necesidad de calibrar esta metodología para cada ambiente (Salvagiotti et al., 2003).

El objetivo de este trabajo fue analizar, a lo largo de 4 campañas consecutivas, la curva de respuesta del cultivo de maíz al incremento en la disponibilidad de N en distintos lotes de producción y obtener un umbral crítico de respuesta en establecimientos del CREA Monte Buey-Inriville (Córdoba).

Materiales y Métodos

Durante las campañas 2003/04, 2004/05, 2005/06 y 2006/07 se condujeron 18 ensayos, evaluando distintas dosis de N en lotes implantados en siembra directa en campos de productores del CREA Monte Buey-Inriville (provincia de Córdoba). Los sitios donde se llevaron a cabo las experiencias (Fig. 1) corresponden a localidades del Departamento Marcos Juárez, en la provincia de Córdoba: Monte Buey, Inriville, Gral. Baldissera, Monte Maíz, Marcos Juárez y Arias.

Los ensayos fueron realizados en franjas aleatorizadas con dosis crecientes de fertilización nitrogenada (0, 60, 120 y 180 kg de N por hectárea). En todos los casos se aseguraron condiciones no limitantes de fósforo (P). La fertilización se realizó una vez implantado el cultivo, desde V4 a V6, utilizando la fuente nitrogenada UAN; y en otros casos se

empleó urea incorporada en pre-siembra.

Los híbridos utilizados en los ensayos fueron DK 615, DK 615 MG, DK 682 MG, AW 190 MG, AX 882, DK 722 MG, NK 900 TDM y NK 940, todos de buen comportamiento en la zona. La fecha de siembra de los ensayos fueron de mediados a fin de septiembre, época donde se siembra una mayor proporción de los lotes de maíz de la zona.

Se analizó la respuesta obtenida en los diferentes lotes a través de ajustes cuadráticos con la finalidad de conocer el tipo de respuesta en rendimiento en función de la disponibilidad de N a la siembra (N fertilizante + N-NO₃ a 60 cm de profundidad). La respuesta a la fertilización nitrogenada también fue cuantificada a través del rendimiento relativo máximo, valor que se calculó como la relación entre el rendimiento de cada tratamiento y el rendimiento máximo obtenido en cada repetición y en cada ambiente. Se determinaron los Umbrales Críticos de Nitrógeno disponible a la Siembra (UCNS), a través de ajustes de tipo lineal meseta con el programa Table Curve, utilizando la relación entre el contenido de N a la siembra y el rendimiento relativo.

Para la comparación de los tratamientos se llevó a cabo un análisis de la variancia (ANVA) con el paquete estadístico SAS (1996) y para la comparación de los promedios se empleó el test de comparación de medias de Duncan.

Resultados y Discusión

La Tabla 1 indica la clase de suelo, los resultados de los análisis químicos las parcelas, la fertilización de base y el rendimiento de las parcelas testigos de los lotes donde se llevaron a cabo los ensayos.

Los rendimientos promedios a lo largo de las 4 campañas evaluadas fueron de 9038, 11049, 12055 y 12615 kg/ha respectivamente para las dosis de 0, 60, 120 y 180 kg N (fertilizante)/ha. Existen diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) entre todos los tratamientos (Tabla 2).

Los cuatro años de realización de estos ensayos fueron muy dispares considerando su oferta climática (Fig. 2), presentando el año 2003-04 precipitaciones durante el ciclo del cultivo inferiores a la mediana histórica, y las campañas restantes con lluvias abundantes durante todo el período estival; superando o igualando a dicha mediana.

El rendimiento promedio de todos los sitios y tratamientos fue de 9687 kg/ha para la campaña 2003/04, de 11850 kg/ha para la campaña 2004/05 (un 22% superior), de 12087 kg/ha para la campaña 2005/06 (un 24% superior respecto a la campaña 2003/04) y de 11277 kg/ha para la campaña 2006/07 (superior en un 17% respecto a la campaña 2003/04) (Tabla 3). Es importante destacar que existieron diferencias significativas ($p < 0,001$) entre las campañas 2003/04 y las restantes; mientras que entre estas últimas (2004/05, 2005/06 y 2006/07) no existieron diferencias estadísticas (Tabla 2). Más aún, en la campaña 2003/04 fue en la única donde los tratamientos con agregado de fertilizante nitrogenado no presentaron diferencias significativas entre sí; mientras que en las demás campañas las diferencias entre los tratamientos fueron significativas. Todo ello confirma lo mencionado por Andrade et al. (2000), para quienes las precipitaciones son un factor clave a tener en cuenta en el cultivo de maíz, ya que existe una alta relación

entre la disponibilidad de agua durante el ciclo del cultivo y la respuesta a la fertilización.

Del mismo modo, las respuestas al agregado de N a lo largo de las 4 campañas, también fueron muy dispares, siendo la campaña 2006/07 la que presentó valores de una mayor precipitación acumulada a lo largo del ciclo del maíz (791 mm) y resultó en una mayor respuesta promedio al agregado de N (2614 kg/ha). La campaña 2003/04, con precipitaciones acumuladas de 359 mm, fue la de menor respuesta al agregado de N (de 1282 kg/ha). Las campañas 2004/05 y 2005/06 presentaron valores de precipitaciones acumuladas intermedias entre las mencionadas con antelación (646 y 532 mm) y, consecuentemente, también lo fueron las respuestas al N (Tabla 3).

A pesar de la disparidad de los rendimientos y las respuestas a lo largo de las 4 campañas de evaluación; es importante remarcar que no existió interacción significativa ($p=0,4649$) entre los distintos tratamientos y las campañas evaluadas. Por lo tanto es válido afirmar que a lo largo de estos 4 años lo que se modificó fueron los niveles pero no la tendencia creciente de respuesta en rendimiento al agregado de N al suelo. De allí que es posible analizar por separado los efectos principales de tratamientos y campañas en promedio.

Analizando a lo largo de las 4 campañas, la curva de respuesta del rendimiento del maíz al incremento creciente de la oferta de N (suelo+fertilizante) (Fig. 3); se visualizan los distintos patrones de comportamiento influenciado principalmente por la condición hídrica anual. También se puede observar en la misma figura para cada campaña un modelo matemático de respuesta a la fertilización, donde se modeliza la relación entre el rendimiento de maíz y la oferta total de N (N-NO₃ del suelo + el fertilizante en 0-60 cm).

A pesar de la disparidad de las respuestas del cultivo al agregado de N a lo largo de las 4 campañas, se observa un comportamiento similar de las mismas para las 3 últimas campañas (2004/05, 2005/06 y 2006/07) donde las precipitaciones fueron muy superiores a la mediana histórica durante el ciclo del cultivo. Por lo tanto, para las campañas donde el agua no fue un recurso limitante de la producción, ajustando la información a través de un modelo lineal-meseta, se determinó, con un r^2 de 0,70; un UCN disponible a la siembra (N-NO₃ a 60 cm + N fertilizante) de 216 kg/ha, por encima del cual la probabilidad de respuesta a la fertilización nitrogenada es baja (Fig. 4). Según este modelo y de acuerdo con este ajuste, hay un 1,7% de incremento en la respuesta al aumentar en 10 kg/ha la disponibilidad de N a

la siembra por debajo del valor del umbral (Tabla 4).

Las líneas inferiores y superiores que se pueden observar en la Figura 4, corresponden a un intervalo de confianza para la predicción del 95% del set de datos. Se puede esperar que el 95% de los rendimientos a predecir se encuentre dentro de esta área, para un oferta de N dada.

Es importante destacar que el UCNS hallado para el SE Córdoba en años considerados de buenas condiciones para el desarrollo y crecimiento del maíz, es muy superior a los 162 kg N/ha encontrado por Salvaggiotti et al. (2004) para ambientes de alta producción (> 9500 kg/ha) en el Centro-Sur de Santa Fe o a los 170 kg/ha de N a la siembra para alcanzar rendimientos de 12000 kg/ha mencionados por Bianchini et al. (2002) o a los 180 kg/ha para obtener rendimientos de 10000 Kg o superiores mencionado por Ruiz (2001).

Conclusiones

- La gran variabilidad en la oferta hídrica interanual que se observó en las campañas 2003-04, 2004-05, 2005-06 y 2006-07 influyó en la respuesta a la fertilización nitrogenada, permitiendo alcanzar rendimientos máximos de 11951 kg/ha, 16919 kg/ha, 13844 kg/ha y 14359 kg/ha para cada campaña agrícola, respectivamente.
- Se lograron adecuados ajustes del modelo de fertilización a través de una función lineal plateau ($R^2 = 0,70$), con los rendimientos convertidos a rendimientos relativos máximos.
- La oferta óptima de N (N suelo + fertilizante en 0-60 cm) varió según las condiciones hídricas de cada campaña evaluada. El umbral crítico de respuesta fue de 216 kg N/ha en años donde el agua no fue una limitante para la producción de granos. Este umbral es superior a los 162 kg N/ha que otros autores encontraron para rendimientos mayores a los 9500 kg/ha en una red de ensayos en el centro - sur de Santa Fe.
- A pesar de la disparidad de los rendimientos y las respuestas a lo largo de las 4 campañas de evaluación; es importante remarcar que no existió interacción significativa ($p=0,4649$) entre los distintos tratamientos y las campañas. Por lo que, a lo largo de estos 4 años lo que se modificó fueron los niveles pero no la tendencia creciente de respuesta en rendimiento ante la aplicación de N al suelo.

Agradecimientos

A todas las empresas del CREA Monte Buey-Inrville, sin la colaboración de sus miembros hubiese sido imposible realizar este tipo de experiencias.

Tabla 1. Detalle de campos, lotes, clase de suelo y fertilidad química de los suelos donde se realizaron los ensayos.

Año	Campo	Lote	Clase	MO (%)	P Bray I (ppm)	Fertilización de base (kg/ha)			Rendimiento (Dosis 0 N/ha)
						N (Suelo+ Fert)	P	S	
2003/04	Aurelli	AU 17	Iiw	3,01	22	53	23	0	8532
2003/04	Los Algarrobos	Guillermo	Iic	2,86	26	53	16	12	-
2003/04	Baldissera	CapoBianchi	Iic	2,43	25	37	13	0	7413
2003/04	La Redención	19	IIles	2,44	32	47	17	0	8706
2003/04	Santo Domingo	15 Oeste	IIc	2,47	22	36	0	0	7496
2003/04	La Querencia	23	Iis	3,35	12	27	25	0	8455
2004/05	Aurelli	AU 14	IIw	1,73	7	96	21	0	9548
2004/05	Los Algarrobos	Charab AS	IIc	2,07	9	68	11	0	10473
2004/05	Monte Buey	MB 9	IIw	2,11	9	110	22	0	8438
2004/05	San Manuel	SM 8	I-1	2,51	11	84	18	0	10038
2004/05	Balzi	Balzi	IIc	1,88	6	68	18	0	9363
2004/05	Santo Domingo	SD 7	IIc	3,02	50	121	12	0	10184
2004/05	La Maya	LM 5	IIc	2,32	10	145	13	13	13047
2005/06	Monte Buey	MB 7	IIc	2,23	17	86	26	13	9564
2005/06	Lusuriaga	LU	IIc	2,79	18	67	17	0	10782
2006/07	Lusuriaga	LU	IIc	2,45	13	36	23	0	9331
2006/07	Los Algarrobos	Piches a	IIc	2,55	18	44	12	40	6189
2006/07	Los Algarrobos	Piches b	IIc	2,55	18	44	12	0	6405
2006/07	Monte Buey	MB 10 a	IIc	3,25	14	60	28	20	10884
2006/07	Monte Buey	MB 10 b	IIc	3,25	14	51	28	0	10503

Referencias Bibliográficas

Andrade F.H., H.E. Echeverría, N.S. González y S.A. Uhart. 2000. Bases para el manejo del Maíz, el Girasol y la soja. Requerimientos de nutrientes minerales Pag. 223.

Díaz Zorita M. y G. Duarte. 1997. Fertilización Nitrogenada de Maíz en el Oeste bonaerense. En: Actas VI Congreso Nacional de Maíz – Pergamino, III: 144 – 149.

Ruiz R.A., E.H. Satorre, G.A. Maddonni., J. Carova y M.E. Otegui. 2001. Umbrales de decisión para la fertilización nitrogenada en maíz. En: Actas VII Congreso Nacional de Maíz – Pergamino.

Salvagiotti F., H. Pedrol, J. Castellarín, G. Cordone, J. Capurro, J.C. Felizia, A. Gargicevich, O. Gentili, F. Martinez, J. Mendez, G. Prieto y N. Trentino. 2003. Modelos de respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz. Para Mejorar la Producción N° 23. Pág. 83-84. INTA Oliveros.

Salvagiotti F., H. Pedrol, J. Castellarín, G. Cordone, J. Ca-

purro, J.C. Felizia, A. Gargicevich, O. Gentili, F. Martinez, J. Mendez, G. Prieto y N. Trentino. 2004. Umbrales de Nitrógeno a la siembra para el diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz según el potencial de rendimiento. Para Mejorar la Producción N° 26 Pág. 84-87. INTA Oliveros.

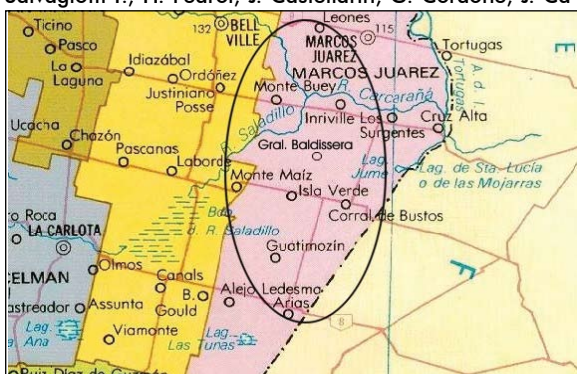


Figura 1. Localidades donde se llevaron a cabo los ensayos durante las campañas 2003/04, 2004/05, 2005/06 y 2006/07.

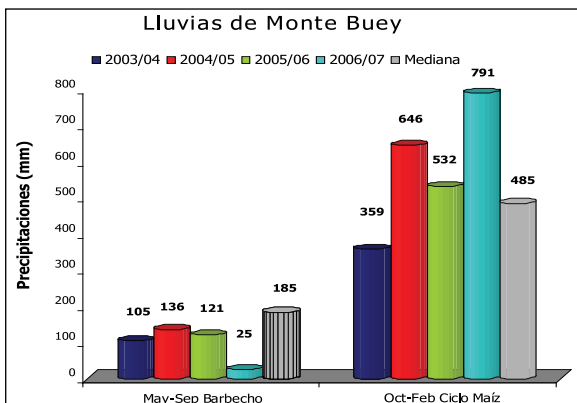


Figura 2. Precipitaciones por campaña agrícola evaluada de la localidad de Monte Buey (prov. de Córdoba).

Tabla 2. Comparación de tratamientos de fertilización nitrogenada en cada una de las campañas agrícolas evaluadas y rendimiento promedio por tratamiento y por año.

Tratamiento (kg N/ha)	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	Rendimiento medio por tratamiento
0	8119 b	9674 c	10173 d	8663 d	9038 C
60	9779 a	11622 b	11923 c	10992 c	11049 B
120	10376 a	12778 a	12784 b	12337 b	12055 A
180	10083 a	13328 a	13468 a	13115 a	12616 A
Rendimiento medio por año	9627 B	11850 A	12087 A	11277 A	11198

Letras distintas indican diferencias significativas (P<0,01), minúsculas entre filas de una misma columna y mayúsculas entre columnas de una misma fila

Tabla 3. Respuestas al agregado de N en cada una de las campañas agrícolas evaluadas y respuesta promedio por tratamiento y por año.

Tratamiento (kg N/ha)	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	Respuesta media por año
60	1192	1948	1750	2329	1948
120	2103	3104	2611	3675	3053
180	1949	3654	3295	4452	3643
Respuesta media por año	1282	2177	1914	2614	2148

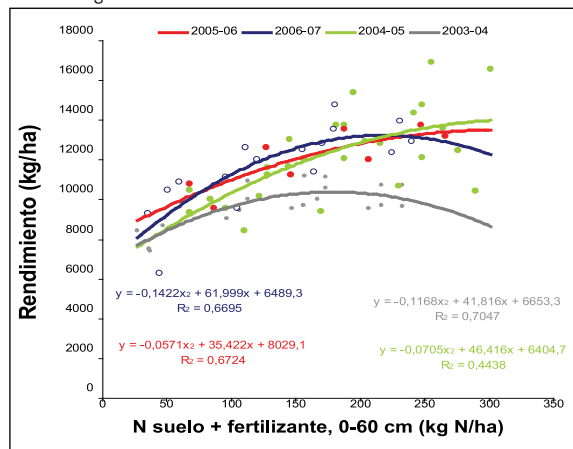


Figura 3. Relación entre el rendimiento del cultivo de maíz y las dosis de N aplicadas para cada una de las campañas evaluadas en el SE Córdoba.

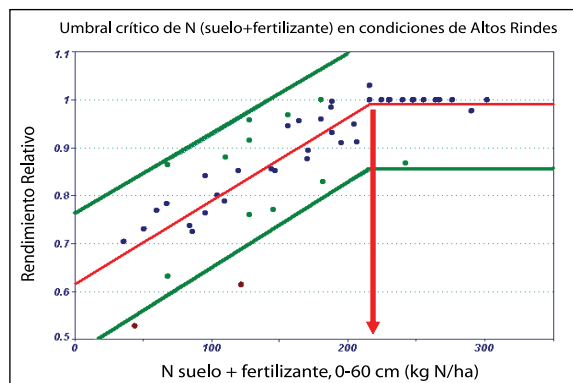


Figura 4. Relación entre el rendimiento relativo en maíz y el N disponible a la siembra hasta los 60 cm de profundidad (N-NO₃ + N del fertilizante).

Tabla 4. Parámetros de la curva plateau en condiciones de buena disponibilidad hídrica.

Parámetros	Valor
Pendiente	1,7% +/- 0,2%
UCN	216 +/- 15.5

ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE SULFATO EN SUELOS DEL SUDESTE BONAERENSE

N. Reussi Calvo¹, H. Echeverría² y H. Sainz Rozas^{1,2}

¹CONICET, ²Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce

hecheverr@balcarce.inta.gov.ar

Presentado en el XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACs. San Luis, Mayo, 2008.

Introducción

En Argentina, se ha producido en los últimos años un proceso de intensificación de la agricultura que sumado a la falta de reposición de azufre (S) vía fertilizantes y/o abonos orgánicos han generado una disminución de la disponibilidad de S en los suelos. Para la región pampeana, varios trabajos han determinado respuestas al agregado de S en el cultivo de soja (Gutierrez Boem et al., 2007), maíz (Prystupa et al., 2006) y en trigo (Salvagiotti y Miralles 2007; Reussi Calvo et al., 2006b).

Para el diagnóstico de las deficiencias de S, al igual que para nitrógeno (N), se han propuesto la utilización de modelos de simulación y de métodos basados en el análisis de muestras de suelo (Blake Kalff et al., 2002), los cuales requieren que se evalúe la disponibilidad de S en el suelo. Algunos trabajos han obtenido una buena asociación entre la disponibilidad de S en suelo y la respuesta al agregado o la absorción de dicho nutriente por el cultivo (Zhao y McGrath, 1994; Reussi Calvo et al., 2006a). En general, los métodos basados en el análisis de muestras de suelo sólo contemplan la determinación del contenido de sulfato en superficie; sin embargo, considerando que para suelos de texturas finas existen evidencias de que los horizontes subsuperficiales pueden aportar sulfato (San Martín y Echeverría, 1995; Bloem et al., 2001), surge la necesidad de cuantificar los niveles de dicho nutriente en los estratos subsuperficiales del perfil del suelo.

Actualmente, en Argentina, la profundidad de muestreo para la determinación de la concentración de sulfato proviene de la recomendada para N disponible, la cual generalmente es de 0-20, 20-40 y 40-60 cm (Gonzalez Montaner et al., 1997). No obstante, para diferentes condiciones edafoclimáticas, Alvarez et al. (2001) determinaron una fuerte asociación entre la concentración de nitrato en el estrato de 0-20 cm y la concentración de nitrato en el estrato de 0-60 cm. Considerando que en suelos de aptitud agrícola moderadamente ácidos la movilidad de sulfato y de nitrato son similares (Scherer, 2001), se podría muestrear el estrato superficial (0-20 cm) con la finalidad de predecir la concentración de sulfato en profundidad. Lo mencionado, facilitaría los muestreos de suelo y permitiría hacer un uso más extensivo de los métodos de diagnóstico por parte de los productores. El objetivo de este trabajo fue evaluar la posibilidad de estimar la concentración de sulfato hasta los 60 cm de profundidad usando como variable predictiva la concentración de sulfato en la capa de 0-20 ó 0-40 cm.

Materiales y Métodos

Se realizaron 22 experimentos en el sudeste de la provincia de Buenos Aires desde 2001 hasta el 2007, para determinar la respuesta de los cultivos de verano (maíz y soja) y de invierno (trigo) a la fertilización con N, fósforo (P) y S. Los experimentos se condujeron bajo siembra directa y labranza convencional. Los suelos característicos de esta región son Argiudoles Típicos y Paleudoles Petrocálculos (Salazar Lea Plaza y Moscatelli, 1989). En cada experimento los tratamientos evaluados fueron un control y diferentes dosis de N, P y S, los cuales se aplicaron

en forma aleatorizada y con tres o cuatro repeticiones, dependiendo de cada sitio. A la siembra de los cultivos se determinó el contenido de S-sulfato en el perfil (0-20, 20-40 y 40-60 cm), pH y materia orgánica en superficie (0-20 cm). El S-sulfato se extrajo con $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ (Islam y Bhuiyan, 1998) y se determinó por turbidimetría con BaCl y Tween 80 como estabilizador (Johnson, 1987). La materia orgánica se determinó por el método de Walkley y Black (1934) y el pH en relación 1:2,5 (suelo-agua). En la Tabla 1 se muestra el valor promedio de S-sulfato y el rango de pH y de materia orgánica determinados en función del sistema de labranza y del cultivo en consideración.

La relación entre los contenidos de S-sulfato, en los distintos estratos del suelo, se analizó por regresión y correlación utilizando los procedimientos incluidos en el programa Statistical Analysis

1) Muestreos de suelo 0-20 ó 0-40 cm según precisión deseada.
Ej: Muestreo 0-20 cm a la siembra del trigo



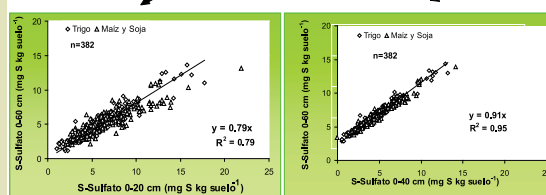
2) Análisis de las muestras
Ej: Valor = 9 mg kg⁻¹



3) Elección y uso del modelo de predicción de S-Sulfato de 0-60 cm
Ej: Modelo 0-20 cm ($y = 0.79x$): 9 mg kg⁻¹ x 0.79 = 7.13 mg kg⁻¹
Factor de conversión a kg ha⁻¹ (0-60 cm) = 7.2 (Densidad 1.2 Mg ha⁻¹)
Ej: 7.13 mg kg⁻¹ x 7.2 = 52 kg S-Sulfato ha⁻¹

Menor predicción

Mayor predicción



4) Diagnóstico
Ej: Disponibilidad a la siembra de trigo = 52 kg S-Sulfato ha⁻¹
Umbral = 30 kg S-Sulfato ha⁻¹
Diagnóstico = Suficiencia de S.

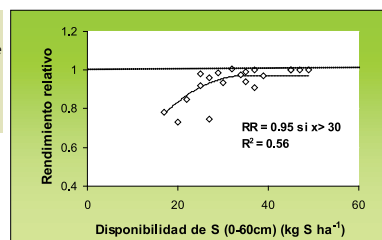


Figura 3. Esquema de integración y utilidad del modelo de estimación de la concentración de S-sulfato en los primeros 60 cm del suelo para el cultivo de trigo.

System (SAS Institute, 1988). La comparación del efecto del cultivo (verano- invierno), se realizó contrastando las ordenadas al origen y las pendientes de las correlaciones de S-sulfato de 0-20 ó 0-40 cm versus 0-60 cm por el test t ($P = 0.05$). Se realizaron intervalos de confianza ($\alpha = 0.05$) para la estimación de la concentración de S-sulfato de 0-60 cm.

Resultados

En todos los cultivos analizados se determinó una estrecha asociación ($P < 0.001$) entre la concentración de S-sulfato de 0-20 y 0-60 cm de profundidad, lo cual indicaría que la concentración de S-sulfato de 0-20 cm es una variable adecuada para predecir la concentración de dicho nutriente en los primeros 60 cm del suelo. Sin embargo, el valor predictivo del modelo obtenido para los cultivos de verano (maíz y soja) fue inferior que el determinado para trigo ($R^2 = 0.68$ y 0.88 , respectivamente). En una experiencia realizada para la variable N-nitrato, Alvarez et al. (2001), obtuvieron una estrecha relación entre la concentración de nitrato en el estrato de 0-20 y 0-60 cm ($R^2 = 0.89$). Por otra parte, cuando en esta experiencia se utilizó como variable predictiva la concentración de S-sulfato de 0-40 cm, el ajuste del modelo obtenido mejoró de manera considerable tanto para los cultivos de invierno como para los de verano ($R^2 = 0.97$ y 0.94 , respectivamente). Estos resultados indican que para situaciones en las cuales se desea lograr una mayor precisión en la estimación de la concentración de S-sulfato hasta los 60 cm, se debería utilizar como variable predictiva el contenido de S-sulfato hasta los 40 cm de profundidad.

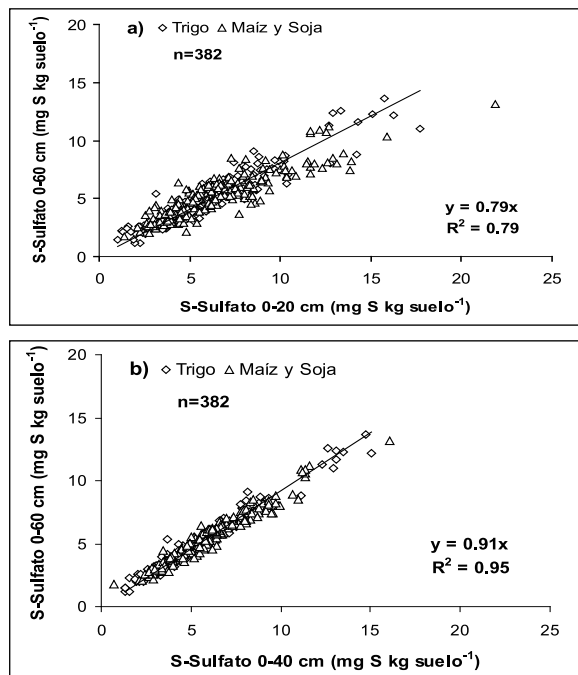


Figura 1. Relación entre la concentración de S-sulfato de 0-20 (a) y 0-40 cm (b) con la concentración S-sulfato de 0-60 cm de profundidad, para diferentes cultivos y situaciones de manejo (Reussi Calvo et al., 2008).

Por otra parte, cuando se realizó el análisis conjunto de los 22 experimentos, no se determinaron diferencias significativas entre las pendientes de las poblaciones de trigo y cultivos de verano (Fig. 1). Esto indicaría que no hubo efecto de la época del año (invierno-verano) sobre la estimación de la concentración de S-sulfato de 0-60 cm. A su vez, cuando se utilizó como variable predictiva la concentración de 0-20 cm, el modelo obtenido explicó un 79% de la variabilidad de la concentración S-sulfato de 0-60 cm (Fig. 1a), mientras que cuando se consideró como variable predictiva el estrato de 0-40 cm, el ajuste del modelo lineal aumentó de manera considerable ($R^2 = 0.95$, Fig. 1b). Lo mencionado, confirma la mayor capacidad predictiva del modelo que utiliza como variable el contenido de S-sulfato de 0-40 cm. Por otra parte, estos resultados sugieren que el aporte de S por mineralización no fue de gran magnitud hasta el momento de la siembra de los cultivos de verano, lo cual se atribuye a las bajas temperaturas del suelo para los meses de octubre y noviembre en el sur bonaerense (14.5 y 17.5°C , respectivamente), las cuales son aún menores en suelos bajo siembra directa (Domínguez et al., 2001).

Además, es válido remarcar que las pendientes de las relaciones obtenidas fueron menores a uno (Fig. 1), lo que indica que la concentración de S-sulfato disminuyó con la profundidad de muestreo (Fig. 2). De igual forma, la variabilidad de la concentración de sulfato disminuyó con la profundidad, lo que confirma la conveniencia de determinar el contenido de sulfato en los estratos superficiales (Fig. 2). Las concentraciones determinadas en el estrato de 0-20 cm se ubicaron por debajo del umbral de 10 mg kg^{-1} usualmente reportado en la literatura internacional clásica (Jones, 1986). Considerando que en varios ensayos no se determinó respuesta al agregado de S, el umbral de 10 mg kg^{-1} es demasiado conservador. Por otra parte, la concentración promedio de sulfato en el estrato de 20-40 y 40-60 cm representó el 78 y el 68% del estrato de 0-20 cm, respectivamente. Los resultados obtenidos sugieren una baja adsorción de S-sulfato hasta los 60 cm del perfil, la cual se podría explicar por un efecto conjunto del alto contenido de materia orgánica y del pH cercano a 6 de estos suelos (Tabla 1), propiedades que no favorecen la adsorción de dicho nutriente.

Los modelos obtenidos pueden ser utilizados como una herramienta para la estimación del contenido de S-sulfato en los primeros 60 cm de profundidad, cuya precisión dependerá de la profundidad de muestreo considerada (0-20 ó 0-40 cm). Por ejemplo para una concentración S-sulfato en los primeros 20 cm de 9 mg kg^{-1} , el

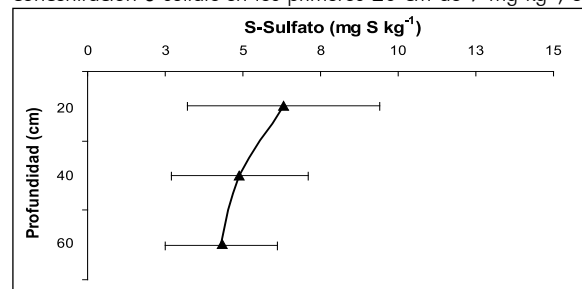


Figura 2. Concentración promedio de S-sulfato ($n = 382$) en suelo para los estratos de 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Las líneas indican el desvío estándar.

Tabla 1. Concentración promedio de S-sulfato en diferentes profundidades, y rango de pH y de materia orgánica en superficie, para distintos sistemas de labranzas y cultivos. Valores entre paréntesis representan el número de muestras tomadas por cultivo y sistema de labranza en cada profundidad.

Sistema de labranza	Cultivo	Experimento	Materia orgánica ($\text{g } 100 \text{ g suelo}^{-1}$)	pH	S-sulfato (mg kg suelo^{-1})		
			0-20 cm		0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Siembra directa	Soja	2 (54)	5.1-6.1	5.7-6.1	8.6 ± 2.6	6.5 ± 2.5	4.7 ± 2.7
	Maíz	4 (81)	4.8-5.7	5.6-5.9	6.8 ± 2.1	5.4 ± 2.1	5.6 ± 1.7
	Trigo	9 (124)	5.1-6.0	5.7-6.1	5.4 ± 2.9	4.1 ± 2.5	3.9 ± 2.3
Labranza convencional	Soja	1 (30)	5.1-5.5	5.7-6.3	9.5 ± 2.5	5.5 ± 3.0	4.4 ± 3.1
	Maíz	2 (45)	4.4-6.1	5.7-6.3	9.6 ± 3.9	5.6 ± 1.9	5.3 ± 1.6
	Trigo	4 (48)	4.7-6.0	5.7-6.2	5.9 ± 1.5	4.1 ± 1.8	4.0 ± 1.7

valor estimado de S-sulfato de 0-60 cm fue de 7.13 ± 0.26 mg kg^{-1} . Siguiendo el mismo razonamiento, para igual concentración de S-sulfato pero de 0-40 cm, el valor estimado de 0-60 cm es de 8.26 ± 0.14 mg kg^{-1} . Considerando que Alvarez et al. (2001) reportaron una sobrestimación de solo el 2% en la concentración de N-mineral en el estrato de 0-60 cm, por asumir igual densidad entre estratos de suelos, es factible para nuestras condiciones emplear una densidad promedio de 1.2 Mg m^{-3} para el perfil del suelo (Fabrizzi et al., 2005). Esto permite estimar la disponibilidad de S (kg S-sulfato ha^{-1}) en los primeros 60 cm del suelo, la cual para el ejemplo planteado sería de 51.3 y de 59.4 kg S-sulfato ha^{-1} cuando se utiliza como variable predictiva el estrato de 0-20 y 0-40 cm, respectivamente. Esta información es relevante para efectuar el diagnóstico de la deficiencia de S para los cultivos. Por último, en la Figura 3 se presenta a modo de ejemplo y para el cultivo de trigo, un esquema resumido de los pasos a seguir desde el momento que se realiza el muestreo de suelo hasta la determinación del diagnóstico de la deficiencia de S (muestreo, determinación de S-sulfato, elección del modelo de predicción y diagnóstico).

Conclusion

Los resultados obtenidos en esta experiencia indican que es factible estimar la concentración de S-sulfato en los primeros 60 cm del suelo. Si bien el muestreo en superficie (0-20 cm) presenta ventajas desde el punto de vista práctico, es recomendable el muestreo del estrato de 0-40 cm para situaciones en las cuales se busca una mayor precisión. Por último, es válido mencionar que esta información debe ser validada previó a su utilización en regiones con suelos de texturas más gruesas y con menores contenidos de materia orgánica que los considerados en esta experiencia.

Agradecimiento:

Este trabajo fue financiado con fondos del proyecto INTA AERN5656 y de la UNMP AGR261/2008.

Bibliografía

Alvarez C.R., R. Alvarez y H.S. Steinbach. 2001. Predictions of available nitrogen content in soil profile depth using available nitrogen concentration in surface layer. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 32: 759-769.
 Blake Kalff M.M.A., F.J. Zhao y S.P. McGrath. 2002. Sulfur deficiency diagnosis using plant tissue analysis. In: *Proceedings 503. International Fertilizer Society*. York, UK. pp. 1-23.
 Bloem E., S. Haneklaus, G. Sparovek y E. Schnug. 2001. Spatial and temporal variability of sulphate concentration in soils. *Communi-*

cation in Soil Science and Plant Analysis 32: 1391-1403.

Dominguez G.F., G.A. Studdert, H.E. Echeverría y F.H. Andrade. 2001. Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia del Suelo* 19: 47-56.

Fabrizzi K.P., F.O. García, J.L. Costa y L.I. Picone. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research* 81: 57-69.

González Montaner J.H., G.A. Maddoni y M.R. Dinapoli. 1997. Modeling Grain. Yield and Grain Yield Response to Nitrogen in Spring Wheat Crops in the Argentinean Southern Pampa. *Field Crops Research* 51: 241-252.

Islam M.y N. Bhuiyan. 1998. Evaluation of various extractants for available sulfur in wetland rice (*Oryza sativa*) soils of Bangladesh. *Indian Journal Agricultural Science* 58: 603-606.

Jones M.B. 1986. Sulfur availability indexes. In *Sulfur in Agriculture*, Vol 27. Tabatabai, M.A. ed. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. pp. 549-566.

Johnson G.V. 1987. Sulfate: Sampling testing, and calibration. P. 89-96. ind J. R. Brown (ed.). *Soil testing: Sampling correlation, calibration and interpretation*. SSSA Spec. Publ. 21. SSSA, Madison, WI.

Prystupa P., F. Gutierrez Boem, F. Salvaggiotti, G. Ferraris y L. Couretot. 2006. Measuring corn response to fertilization in the Northern Pampas. *Better Crops* 90: 25-27.

Reussi Calvo N., H.E. Echeverría y H.R. Sainz Rozas. 2006a. Comparación de métodos de diagnóstico de deficiencias de azufre en trigo. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas y CD 2 pág. Salta- Jujuy, Argentina.

Reussi Calvo N., H.E. Echeverría y H.R. Sainz Rozas. 2006b. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de azufre en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 24: 77-87.

Reussi Calvo N., H.E. Echeverría y H.R. Sainz Rozas. 2008. Determination of sulfate concentration in soil: depth of sampling. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* (En prensa).

San Martín N.F. y H.E. Echeverría. 1995. Sulfato en suelos del sudeste Bonaerense. *Ciencia del Suelo*. 13: 95-97.

Salazar Lea Plaza J.C. y G. Moscatelli. 1989. Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires. Editorial Edipubli S.A, Buenos Aires, Argentina. pág. 525.

Salvaggiotti F. y D.J. Miralles. 2007. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. *European Journal of Agronomy*.

Sas Institute Inc. 1988. SAS/STAT Users Guide. Version 6.03 Edition. Cary, NC.

Scherer H.W. 2001. Sulfur in crop production. *European Journal of Agronomy* 14:81-111.

Walkley A. y I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-37.

Zhao F.J. y S.P. McGrath. 1994. Soil extractable sulphate and organic sulphur and their availability to plants. *Plant and Soil* 164: 243-250. <

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

Fontanetto, H.¹, O. Keller¹, D. Giailevra², L. Belotti² y C. Negro²

¹INTA, EEA Rafaela, Ruta 34 km 227, (2300) Rafaela, Santa Fe. ²Actividad Privada, (2300) Rafaela, Santa Fe. hfontanetto@rafaela.inta.gov.ar

Presentado en el XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACs. San Luis, Mayo 2008.

Introducción

La soja es un cultivo en franca expansión en la Argentina y en todas sus regiones productivas durante la última década, siendo cultivada en zonas y en suelos muy variados; factores que junto a los altos precios internacionales, a la gran expansión de la siembra directa y la simplicidad del manejo de los materiales tolerantes a glifosato, determinaron ese notable crecimiento.

Lo mencionado precedentemente permitió que la producción nacional de soja llegue a 47 millones de toneladas, pero estos altos valores productivos conllevan también a una alta extracción de nutrientes del suelo. Es conocido

que la soja es el cultivo que más altos índices de cosecha tiene entre los cultivos agrícolas y particularmente de fósforo (P) (Arias et al., 1989; Berardo, 2000; Diaz Zorita et al., 2000; Echeverría y García, 1998; Fontanetto y Keller, 2006a; Gutiérrez Boem et al., 1998), lo que produjo las alarmantes disminuciones de los niveles de P extractable del suelo que se registró en todo el país (Darwich, 1980; Arias et al., 1989; Tasi, 2000; Quinteros et al., 2000; Fontanetto y Keller, 2005).

Para la zona central de Santa Fe se mencionan tasas de disminución de P disponible del suelo (Bray I) de 1,2 a 1,6 ppm/año (Fontanetto

y Keller, 2006b), lo que provocó que toda la zona centro-oriental presente una deficiencia generalizada de este nutriente, con valores que no superan los 10 ppm en la capa 0-20 cm del suelo.

Ante este panorama, resulta necesario desarrollar prácticas tecnológicas localmente adaptadas para el manejo de P que faciliten y promuevan un mayor y más eficiente uso de los fertilizantes fosfatados a fines de contribuir a la sustentabilidad de los sistemas de producción agrícola. En este sentido, el mantenimiento de la fertilidad de los suelos o la reposición de los nutrientes extraídos por las cosechas es uno de los requisitos más importantes.

Por lo mencionado, es muy importante contar con información actualizada de la respuesta de la soja a la fertilización fosfatada, dada la continua aparición en el mercado de materiales con potenciales de producción cada vez más altos. La soja se caracteriza por presentar niveles críticos de P en suelo (debajo de los cuales se observan respuestas significativas a la fertilización) menores a los de otros cultivos tales como alfalfa, trigo y maíz. Por lo tanto, el diagnóstico de la fertilización fosfatada se basa en el análisis de muestras de suelo del horizonte superficial utilizando un extractante adaptado a los suelos del área en evaluación, siendo para la región pampeana de Argentina en general, el extractante Bray 1. El análisis de la capa superficial del suelo (0-20 cm) representa la información más precisa para identificar la deficiencia de P y la causa de bajas producciones y eventualmente decidir la fertilización para eliminarla como limitante de la producción (Melgar *et al.*, 1995). A pesar de ello, la respuesta a la fertilización fosfatada en el cultivo de soja resulta a veces errática (Gutiérrez Boem *et al.*, 1998).

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar el efecto de la fertilización fosfatada sobre el rendimiento del cultivo de soja y determinar los niveles críticos de P extractable en suelos de la zona central de la provincia de Santa Fe.

Materiales y Métodos

Durante las campañas 2002/03, 2003/04, 2004/05, 2005/06 y 2006/07 se implantaron 32 ensayos en lotes de producción del área central de Santa Fe, ubicados en los departamentos Las Colonias, San Justo y San Jerónimo, sobre suelos argiudoles y en lotes con siembra directa continua. El detalle de los mismos aparece en la Tabla 1.

Se evaluaron cinco tratamientos: testigo (P0), 10 (P10), 20 (P20) 30 (P30) y 40 (P40) kg de P ha⁻¹, aplicados como superfosfato triple de calcio (20% de P) al momento de la siembra, al costado y por debajo de la línea de siembra. El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones y en parcelas de 6 surcos de ancho por 7 m de largo. El rendimiento de granos fue evaluado mediante cosecha manual (sobre 10 m² en cada parcela y expresados al 13,5% de humedad). Se calculó el Rendimiento Relativo (RR: rendimiento del testigo/rendimiento "máximo"). El rendimiento "máximo" de cada experimento fue estimado a través del promedio de los rendimientos de los tratamientos con más alta producción en cada repetición. La determinación del nivel crítico de P en suelo fue realizada por medio del método gráfico de Cate y Nelson (1965). Los resultados se analizaron estadísticamente mediante procedimientos incluidos en las rutinas del programa SAS (SAS, 1999).

Resultados y Discusión

El 81% de los suelos de este estudio presentaron valores de P extractable inferiores a 17 ppm, lo que demuestra la generalizada deficiencia de este nutriente, y debido al balance negativo de los sistemas agrícolas de la región (extracción por los cultivos respecto a la aplicación como fertilizantes). El rendimiento medio de todos los sitios y tratamientos fue de 3.570 kg/ha, con rangos de 2.274 a 5.318 kg/ha. Se observó un efecto significativo ($p < 0.05$) de la fertilización

con P sobre el rendimiento de granos del cultivo de soja para el análisis conjunto de los sitios evaluados, con diferencias entre el testigo y los tratamientos fertilizados; y entre P10 respecto a P20, P30 y P40. No se presentaron diferencias para los niveles P20, P30 y P40 (Fig. 1). Las respuestas medias de los tratamientos en kg/ha fueron de 233 (P10), 446 (P20), 499 (P30) y 479 (P40).

Las eficiencias de uso del P fueron de 23,3; 22,3; 16,6 y 12,0 kg de grano/kg de P aplicado para las dosis de P10, P20, P30 y P40, respectivamente. La respuesta del cultivo de soja al agregado del P se detalla en la Figura 2, agrupándose los rendimientos en cuatro rangos de P extractable del suelo (0-20 cm).

La soja presentó respuesta a la fertilización fosfatada hasta valores de 17 ppm de P extractable Bray I, por encima de esos niveles la respuesta fue nula. Estos resultados difieren de los obtenidos por otros autores (Melgar *et al.*, 1995; Barbagelata *et al.*, 2002; Ferrari *et al.*, 2005) quienes habían encontrado niveles críticos entre 9 a 13 ppm. Los más altos incrementos al agregado de P se dieron en el rango de P Bray 5,0 a 9,9 ppm (aumentos de 346 a 671 kg/ha), luego en el rango de 10,0 a 13,9 ppm (incrementos de 240 a 537 kg/ha) y finalmente para el rango de 14,0 a 16,9 ppm (aumentos de 173 a 489 kg/ha).

Al relacionar el nivel de P extractable del suelo y el rendimiento relativo máximo alcanzado para cada sitio, se obtuvo mediante análisis gráfico, un umbral aproximado de 17 ppm de P en suelo necesarios para alcanzar un rendimiento relativo igual o superior al 95% (Fig. 3), quedando 3 puntos (10% de error) fuera de los cuadrantes inferior izquierdo y/o superior derecho. Estos valores encontrados son superiores a otras investigaciones desarrolladas en suelos similares de las provincias de Buenos Aires, Entre Ríos y Santa Fe (Melgar *et al.*, 1995; Barbagelata *et al.*, 2002; Ferrari *et al.*, 2005) y podría deberse a que los mayores potenciales de las nuevas variedades demandarían mayores cantidades de P y los niveles mencionados en esas experiencias estarían desactualizados.

La información obtenida permitió corroborar la alta respuesta de la soja a la fertilización fosfatada y la generalizada deficiencia de este nutriente en los suelos de la región central de Santa Fe. Asimismo, se validó que el análisis del P extractable de la capa superficial del suelo (0-20 cm) es una herramienta de diagnóstico para una correcta fertilización fosfatada de la soja en suelos argiudoles de la región central de la provincia de Santa Fe, determinándose en forma preliminar un nivel crítico de aproximadamente 17 ppm de P extractable, a partir del cual la probabilidad de respuesta disminuye sensiblemente.

Conclusiones

- La respuesta al agregado de P fue muy alta en todas las campañas agrícolas y se presentaron respuestas hasta con dosis de 20 kg/ha de P.
- Las mayores respuestas al P se verificaron en suelos con menos de 9 ppm de P extractable.
- Los incrementos promedios debidos a la fertilización variaron de 173 a 671 kg/ha.
- Las eficiencias de uso del P fueron muy altas.
- Los niveles críticos obtenidos son superiores a los informados hasta el presente para otras regiones de la Argentina.
- La mayor potencialidad de rendimiento de los nuevos cultivares podrían ser la causa de los altos niveles críticos encontrados en esta experiencia.

Bibliografía

- Arias N., J.J. De Battista; M. Landi y A. Cabelluzzi. 1989. Relevamiento de estimadores de la fertilidad de Vertisoles, Alfisoles e Intergrados del centro-este de Entre Ríos. INTA EEA C. del Uruguay. Serie Prod. Veg. N° 39.
- Barbagelata P.; R. Melchiori y O. Paporotti. 2002. Phosphorus fertilization of soybeans in clay soils of Entre Ríos province. Better Crops

International, 16(1): 3-5.

Berardo A. 2000. Dinámica del fósforo en el sistema suelo-planta: eficiencia, residualidad y manejo de la fertilización. INPOFOS. Jornada de actualización técnica para profesionales. Pág. 4-10.

Cate R.B.J. y L.A. Nelson. 1965. A rapid method for correlation of soil test analyses with plant response data. North Carolina Agric. Exp. Stn., Int. Soil Testing Series Tech. Bull. n° 1.

Darwich N. 1980. Niveles de fósforo asimilable en los suelos pampeanos. Actas IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos.

Diaz Zorita M., G. Grosso, M. Fernandez Caniggia y G. Duarte. 2000. Efectos de la ubicación de un fertilizante nitrógeno-fosfatado sobre la nodulación y la producción de soja en siembra directa en la región de la Pampa Arenosa, Argentina. Ciencia del Suelo 17(2):62-65.

Echeverría H. y F. García. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. Boletín Técnico No. 149. EEA INTA Balcarce.

Ferrari M., R. Melchiori y H. Fontanetto. 2005. Fertilización fosfórica en soja: El aporte de la fracción orgánica lábil del suelo. INPOFOS Cono Sur. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Simposio: "FERTILIDAD 2005". Trabajo de Poster.

Fontanetto H. y O. Keller. 2005. Consideraciones sobre el manejo de la fertilización en soja. A.A.P.R.E.S.I.D. FERTILIDAD y FERTILIZACION en Siembra Directa: 58-79. Diciembre 2005.

Fontanetto H. y O. Keller. 2006a. Consideraciones sobre el manejo de la fertilización de la soja. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Información Técnica de cultivos de verano. Campaña 2006. Publicación Miscelánea N° 106: 45-79.

Fontanetto H. y O. Keller. 2006b. Manejo de

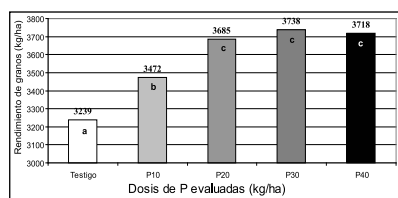


Figura 1. Rendimiento en granos de soja promedio según dosis de P. Letras distintas significan diferencias estadísticas, test LSD (P=0.05).

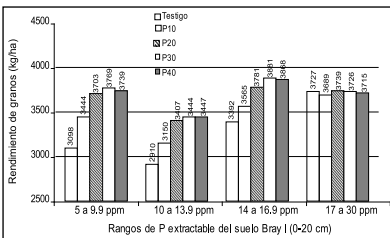


Figura 2. Respuesta de la soja a las dosis de P ensayadas y agrupadas por cuatro rangos de P extractable del suelo (0-20 cm).

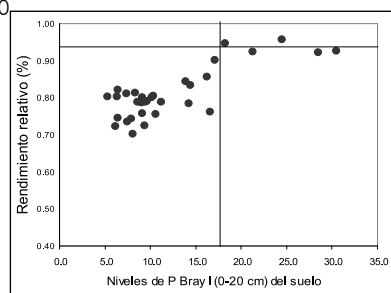


Figura 3. Relación entre el nivel de P extractable del suelo (Bray 1) y el rendimiento relativo de la soja en suelos de la región central de Santa Fe.

Tabla 1. Campañas agrícolas, sitios, cultivares empleados, distancias de plantación y nivel de P extractable promedio de cada sitio (0-20 cm) de las experiencias.

N°	Campaña	Sitios	Cultivar	Distancia	P Bray I (ppm)	MO (%)	pH	Antecesor
1	2002/03	S. M. Escobas	A 6445	0.52	17.1	2.78	5.9	maíz
2		Nelson	A 6601	0.52	5.3	2.20	5.8	sorgo
3		Humboldt	A 6445	0.52	18.2	2.93	6.0	maíz
4		S. J. Norte	A 6001	0.52	10.3	2.77	5.8	soja
5		M. Juana	TJ 2049	0.52	30.5	3.09	6.1	maíz
6		San Carlos	TJ 2049	0.52	8.6	2.42	5.9	soja
7	2003/04	Videla	ACA 505	0.52	6.4	2.33	5.8	soja
8		Larreacha	A 5409	0.52	9.1	2.54	5.9	soja
9		Videla	A 5901	0.52	8.3	2.47	5.9	soja
10		Bdo. De Irigoyen	A 6445	0.42	9.6	2.61	5.9	maíz
11		San Carlos	A 6445	0.52	16.2	2.67	5.9	maíz
12		Bdo. De Irigoyen	TJ 2049	0.52	14.4	2.44	5.9	maíz
13	2004/05	San Justo	TJ 2049	0.52	6.2	2.31	5.8	soja
14		Videla	A 6445	0.52	7.9	2.38	5.8	soja
15		Cnia. Silva	ACA 505	0.52	8.1	2.21	5.8	soja
16		Videla	A 6445	0.52	9.4	2.51	5.9	maíz
17		San Justo	A 6445	0.52	6.3	2.42	5.9	maíz
18		M. Juana	A 6411	0.52	21.3	3.12	5.9	maíz
19	2005/06	San Carlos	TJ 2049	0.52	10.2	2.68	5.9	maíz
20		Loma Alta	A 6445	0.52	10.6	2.59	5.9	soja
21		Arocena	A 6445	0.52	9.5	2.62	5.9	soja
22		San Carlos	TJ 2049	0.52	13.9	2.55	5.9	maíz
23		San Justo	DM 5800	0.52	7.5	2.16	5.9	maíz
24		M. Juana	A 6411	0.52	28.5	3.05	5.9	maíz
25	2006/07	Videla	A 6445	0.52	11.2	2.43	5.9	soja
26		Videla	ACA 505	0.52	6.4	2.22	5.9	soja
27		Nelson	DM 5800 I	0.52	9.1	2.08	5.9	maíz
28		M. Juana	ACA 605	0.52	24.5	2.93	5.9	soja
29		S. M. Escobas	A 6411	0.52	16.6	2.66	5.9	maíz
30		Humboldt	ACA 605	0.52	14.2	2.79	5.9	soja
31	2006/07	San Carlos	TJ 2055	0.52	9.0	2.41	5.9	maíz
32		San Justo	A 6411	0.52	7.4	2.37	5.9	soja

CONGRESOS, CURSOS Y SIMPOSIOS

Esta sección presenta eventos futuros en el ámbito regional e internacional que pueden ser de interés de los lectores

1

Reunión Anual Internacional de ASA-CSSA-SSSA

Lugar y fecha: Houston, TX, EE.UU. 5-9 Octubre 2008.
Información: <http://www.acsmeetings.org/>

XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo

Lugar y fecha: Quito, Ecuador. 29-31 Octubre 2008.
Información: www.secsuelo.org

V Congreso Brasileiro de Soja – Mercosoja 2009

Lugar y fecha: Goiania, Goias, Brasil. 19-22 Mayo 2009
Información: sac@cnpsa.embrapa.br

XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo

Lugar y fecha: San José, Costa Rica. 16-20 Noviembre 2009.
Información: www.clacs2009.com

V Simposio Internacional Interacciones de Minerales de Suelo con Componentes Orgánicos y Microorganismos

Lugar y fecha: Pucón, Chile. 26-30 Noviembre 2008.
Información: www.ismom2008ufro.cl, mariluz@ufro.cl

Frutic Chile 2009 - Información e ingeniería para la producción sustentable de frutas y hortalizas

Lugar y fecha: Concepción, Chile. 5-9 Enero 2009
Información: www.frutic09.org

VIº Reunión de Producción Vegetal y IIIº de Producción Animal del NOA.

Lugar y fecha: Centro Cultural Eugenio F. Virla, Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, Argentina. 23- 24 Abril 2009
Información: produccionvegetal@hotmail.com

PUBLICACIONES DE IPNI

Las siguientes publicaciones se encuentran disponibles con un costo nominal



Título de la Publicación (Vea el catalogo completo de publicaciones de IPNI en www.ipni.net/lasc)	Costo U\$S	Costo \$ arg.
Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Este libro, editado por INTA (Argentina) con la colaboración de IPNI, contiene los principios y conceptos fundamentales de la fertilidad de suelos y del manejo de fertilización para numerosos cultivos.	20	60
Simposio Fertilidad 2007. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2007.	14	40
La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros seis años 2000-2005. Resumen y discusión de los principales resultados obtenidos en la Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe (Argentina).	3.5	10
Nutrición y fertilización potásica en frutales y vides. Publicación de INIA La Platina (Chile) que discute los principales aspectos del manejo de potasio en frutales y vides, con énfasis en la situación del centro de Chile.	20	60
Fertilización de forrajes en la región pampeana. Una revisión de los avances en el manejo de la fertilización de pasturas, pastizales y verdeos en la región pampeana argentina. (Nueva edición en CD).	4	12
Simposio Fertilidad 2005. Nutrición, Producción y Ambiente. Actas del Simposio organizado por INPOFOS y Fertilizar en Rosario en Abril de 2005.	10	30
Síntomas de deficiencias nutricionales de trigo, maíz y soja. Set de tres posters que muestran y describen los síntomas de deficiencia de nutrientes en los tres cultivos.	5	15
Como se desarrolla una planta de soja. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	5	15
Como se desarrolla una planta de maíz. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	5	15
Simposio Fertilidad 2004. Fertilidad de Suelos para una Agricultura Sustentable. Actas del Simposio organizado por INPOFOS y Fertilizar en Rosario en Abril de 2004.	8	25
Simposio El Fósforo en la Agricultura Argentina. Actas del Simposio efectuado en Rosario en Mayo de 2003 (98 pág.)	5	15
Fertilidad 2002. Trabajos presentados en la Cuarta Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Rosario (Argentina) en Mayo de 2002.	2.5	7.5
Fertilidad 2001. Trabajos presentados en la Tercera Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Julio de 2001.	2.5	7.5
Fertilidad 2000. Trabajos presentados en la Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Abril de 2000.	2.5	7.5
Manual de Fertilidad de Suelos. Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes.	15	45
Estadística en la investigación del uso de fertilizantes. Recopilación de conferencias presentadas en cursos de la especialidad por el Dr. Larry Nelson, publicada por la oficina de INPOFOS del Norte de Latinoamérica.	6	18
Fertilización del Algodón para Rendimientos Altos. Cubre en forma detallada los requerimientos nutricionales, análisis foliar y de suelos y fertilización del cultivo.	5	15
Nutrición de la Caña de Azúcar. Guía completa para la identificación y corrección de desordenes y desbalances nutricionales de la caña de azúcar.	15	40
Balance para el éxito. Trifolios con información de manejo nutricional de cultivos. Disponibles: Alfalfa, Trigo, Maíz, Soja, Sorgo granífero, Algodón.	0.50 c/u	1.5 c/u

Suscripción



www.ipni.net/lasc

Si Ud. desea recibir Informaciones Agronómicas del Cono Sur, por favor complete el cupón y envíelo por correo, fax o correo electrónico a:

IPNI Cono Sur, Av. Santa Fe 910, (B1641ABO) Acaassuso, Argentina

Tel./Fax: (54) 011-4798-9939 Correo Electrónico: Lpisauri@ipni.net

Nombre y Apellido:

Institución o Empresa:

Principal Actividad:

Calle: Nro.: C.Postal:

Localidad: Provincia:

E-mail: Teléfono:

¡MUCHAS GRACIAS!