

# EFECTO DE DIFERENTES ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAÍZ Y EL BALANCE DE NUTRIENTES EN EL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

## CAMPAÑA 2006/07

Gustavo N. Ferraris<sup>1</sup>, Lucrecia Couretot<sup>1</sup>, Mirta Toribio<sup>2</sup> y Ricardo Falconi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INTA Pergamino, <sup>2</sup>Profertil S.A. Investigación y Desarrollo, <sup>3</sup>El Ceibo Cereales S.A.

nferraris@pergamino.inta.gov.ar

### Introducción

El nitrógeno (N) es uno de los principales elementos requeridos para la producción de los cultivos de grano en la Región Pampeana Argentina. Deficiencias de este elemento reducen la expansión foliar, provocan su prematura senescencia y afectan la tasa fotosintética, dando como resultado una menor producción de materia seca y grano. Por otra parte, la disponibilidad de N afecta su concentración en el grano, interviniendo así en la determinación del contenido proteico, parámetro principal para definir la calidad comercial del grano cosechado. La incidencia de N sobre los dos factores, rendimiento y contenido de proteína, hacen que su manejo sea estratégico para la producción del cultivo.

Por otra parte, las estrategias de fertilización con fósforo (P) implementadas en Argentina han determinado un balance claramente negativo, por el retiro de cantidades importantes con los granos que no eran repuestas al sistema. Por este motivo, desde principios de la década del '80 se han observado respuestas positivas por el agregado de P en trigo, maíz y luego otros cultivos. Desde entonces, la disponibilidad de este nutriente en los suelos de la región ha disminuido marcadamente y, como consecuencia, en los últimos años aumentó el uso de fertilizantes fosforados. Es prioritario entonces diseñar estrategias que contemplen la reposición de las cantidades de nutrientes exportadas con los granos, y en el caso en que dichos niveles se encuentren por debajo de los umbrales críticos sugeridos, su restitución paulatina mediante fertilización.

Las respuestas al agregado de azufre (S) en cultivos de maíz en el sur de Santa Fe y norte de Buenos Aires se han vuelto más frecuentes en las últimas campañas (Cordone et al., 2001; Pedrol et al., 2001; Thomas et al., 2001), por lo que la fertilización con este nutriente es habitual en lotes de alta producción.

A su vez, las situaciones de baja disponibilidad de N, P y S no ocurren de manera aislada, sino que se combinan de diversas maneras, por lo que es necesario evaluar la respuesta a la fertilización y conocer los cambios de los niveles de nutrientes en los suelos de manera conjunta. Con el propósito de estudiar la evolución en el tiempo de los rendimientos, el balance de nutrientes y las propiedades químicas del suelo se diseñó un ensayo de estrategias de fertilización en la secuencia Maíz-Soja-Cebada/Soja-Trigo/Soja. El proyecto se inició en la campaña 2006/07, siendo Maíz el primero de los cultivos implantados. Los objetivos del trabajo durante el primer año fueron: 1. Evaluar el efecto de diferentes estrategias de fertilización sobre el rendimiento del cul-

tivo y 2. Cuantificar y valorizar el balance de nutrientes correspondiente a cada una de las estrategias.

### Materiales y Métodos

El ensayo es conducido en la localidad de Arribeños, partido de General Arenales. Se plantea un diseño en bloques al azar, con cuatro repeticiones. Se mantendrá por un plazo mínimo de cuatro años, abarcando una rotación Maíz- Soja – Cebada/Soja de 2da. – Trigo/Soja de 2da. El inicio de la secuencia se realizó con el cultivo de Maíz en 2006/07.

Las estrategias de fertilización evaluadas son las siguientes:

➤ **T1: Testigo** sin fertilización.

➤ **T2: Fertilización con tecnología de uso actual (TUA):** 80 kg / ha de superfosfato triple de calcio + 120 kg/ha de urea.

➤ **T3: Fertilización de diagnóstico:** Reposición para fósforo (P) y azufre (S) (considerando 4000 kg de trigo y cebada, 2500 de soja de segunda, 10000 kg de maíz y 3800 kg de soja de primera). Nitrógeno hasta alcanzar una disponibilidad de 150 kg/ha entre suelo (0-60 cm) y fertilizante para maíz, 125 kg/ha para trigo y cebada.

➤ **T4: Fertilización de diagnóstico para alta productividad, con manejo sitio específico:** Reposición para P y S (considerando 5000 kg de trigo y cebada, 2500 de soja de segunda, 12000 kg de maíz y 3800 kg de soja de primera). En todos los cultivos se ajustará la estrategia de fertilización nitrogenada implementada a la siembra usando herramientas de manejo sitio-específico.

➤ **T5: Fertilización de diagnóstico con manejo sitio específico y restitución de niveles de P:** Reposición para S (considerando 5000 kg de trigo y cebada, 2500 de soja de segunda, 12000 kg de maíz y 3800 kg de soja de primera) y P con una estrategia de reposición + 16 kg P/ha (con el objetivo de incrementar su disponibilidad en 2 ppm/año). En todos los cultivos se ajustará la estrategia de fertilización nitrogenada implementada a la siembra usando herramientas de manejo sitio-específico.

Los fertilizantes fosforados y nitrogenados se aplicaron al voleo al momento de la siembra. Como fuentes se utilizaron superfosfato triple de calcio (0-20-0), urea granulada (46-0-0) y sulfato de calcio (0-0-0-18S).

### Determinaciones básicas realizadas

Previo a la siembra se obtuvieron muestras de suelo

de 0 a 20, 20 a 40 y 40 a 60 cm de profundidad. De cada bloque se extrajo una muestra compuesta. En la muestra de 0 a 20 cm de profundidad se determinó el pH y los contenidos de materia orgánica, fósforo extractable (Bray I), cationes intercambiables (K, Ca, Mg) y micronutrientes (Zn, B, Fe, Mn, Cu, B). El contenido de nitratos y sulfatos se determinó de 0 a 20, de 20 a 40 y de 40 a 60 cm de profundidad.

En el estado V7-V8 sobre la 7ma hoja expandida se determinó el índice de verdor a través del medidor de clorofila Minolta Spad 502, y a cosecha se evaluó el rendimiento. En una muestra de grano de cada parcela se cuantificó el contenido de N, P y S. Con los datos de rendimiento, concentración de nutrientes en grano y dosis aplicada de los mismos se realizó un balance de nutrientes.

Para cada estrategia de fertilización, se estimó una valorización económica del balance de N, P y S, y el margen bruto con o sin valorización de la extracción de nutrientes. Los precios considerados de N, P y S fueron de 3.3, 8 y 3.5 \$/kg equivalentes a 500, 540 y 210 U\$/tn de urea, SFT y sulfato de calcio, respectivamente. El precio de maíz utilizado fue de 470 U\$/tn (actualizado a febrero de 2008).

## Resultados y Discusión

La información del análisis completo de suelo previo a la siembra, se consigna en la Tabla 1. No se

comprobaron diferencias en el índice de verdor entre tratamientos ( $P=0.8$ ; Fig. 1). En cambio, se determinaron diferencias significativas en los rendimientos de grano ( $P=0.001$ ; Fig. 2). Los tratamientos de máxima dosis de N alcanzaron los mayores niveles de productividad, no difiriendo significativamente entre sí, aún cuando el tratamiento de reconstrucción de P alcanzara una producción de  $350 \text{ kg ha}^{-1}$  por sobre el de mantenimiento.

La concentración de N, P y S en grano difirió entre los tratamientos (Tabla 2). En N se notó una mayor concentración en los tratamientos que recibieron una mayor dosis, y diferencias marcadas entre las distintas estrategias. El porcentaje de N en grano fue bajo, dentro de los valores más reducidos que pueden recopilarse en la bibliografía. En P en cambio, los tratamientos que recibieron reposición, a causa de sus mayores rendimientos, alcanzaron concentraciones más bajas que los tratamientos T1 (Testigo) y T2 (TUA). En el T5, fertilizado con una dosis de reconstrucción, se alcanzó el nivel de P en grano de los tratamientos T1 y T2. Para el S no se observó una tendencia clara, siendo la concentración en grano similar entre los tratamientos fertilizados (T3, T4 y T5) y no fertilizados (T1 y T2). Los valores de extracción determinados en este ensayo abarcaron un rango de  $2.04$  a  $2.46 \text{ kg P tn}^{-1}$  de grano cosechado, y de  $0.59$  a  $0.70 \text{ kg S tn}^{-1}$  (base 13.5 % de humedad). Estos valores son ligeramente inferiores a los que pueden derivarse de

**Tabla 1.** Análisis de suelo al momento de la siembra. Los datos son promedio de cuatro repeticiones.

Profundidad (cm)	MO (%)	pH	N total (%)	N-Nitratos	P	S-Sulfatos	K	Mg	Ca	Zn	Mn	Cu	Fe	B
				(ppm)										
0-20	2.38	5.6	0.119	17.8	8.5	13.8	520	194	1302	0.7	23.4	0.8	62.9	0.9
20-40				9.0		10.8								
40-60				4.9		10.1								

**Tabla 2.** Concentración (%) de nitrógeno, fósforo y azufre en granos de maíz, expresados sobre base seca. Los datos son promedio de cuatro repeticiones.

Tratamiento		%N	%P	%S
T1	Testigo	1.01	0.28	0.08
T2	TUA	1.08	0.28	0.07
T3	PS rep - N diag 10 t	1.07	0.25	0.08
T4	PS rep - N diag 12 t	1.17	0.24	0.08
T5	PS reconstr - N diag 12 t	1.28	0.28	0.08
P=		0.00	0.03	0.01
CV (%)		4.76	8.43	5.47

**Tabla 4.** Valorización económica (\$/ha) del balance de nitrógeno, fósforo y azufre en cada estrategia.

Tratamiento		Balance (\$/ha)		
		N	P	S
T1	Testigo	-269	-178	-23
T2	TUA	-185	-85	-22
T3	PS rep - N diag 10 t	-152	29	34
T4	PS rep - N diag 12 t	-161	65	45
T5	PS reconstr - N diag 12 t	-214	145	43

**Tabla 3.** Balance de nitrógeno, fósforo y azufre para los diferentes tratamientos. Los datos de rendimiento y concentración de nutrientes en grano fueron ajustados a 13 % de humedad.

Tratamiento		Aplicado (kg/ha)			Extracción (kg/ha)			Balance (kg/ha)		
		N	P	S	N	P	S	N	P	S
T1	Testigo	0	0	0	82	23	6	-82	-23	-6
T2	TUA	46	16	46	102	27	6	-56	-11	-6
T3	PS rep - N diag 10 t	69	30	69	115	26	8	-46	4	10
T4	PS rep - N diag 12 t	89	36	89	138	28	9	-49	8	13
T5	PS reconstr - N diag 12 t	89	52	89	154	34	10	-65	18	12

Ciampitti y García (2007), los cuales alcanzarían a 3 y 1.4 kg tn<sup>-1</sup> de grano para P y S, respectivamente.

Sobre la base de los rendimientos, la concentración de nutrientes en grano y los aportes por fertilización, se generaron balances para cada uno de los tratamientos. El porcentaje de NPS en grano fue ajustado a humedad de cosecha, para no sobreestimar la extracción. El balance fue deficitario para todas las estrategias en cuanto a N, y para las dos primeras estrategias (Testigo y TUA) en el caso de P y S. A su vez, la magnitud de este balance difirió considerablemente entre tratamientos, siendo más positivo en el tratamiento de reconstrucción, mientras que el más negativo fue el Testigo.

Estos balances representan un costo o beneficio oculto de las estrategias de fertilización, que deberían ser incluidos en los análisis de rentabilidad de los cultivos, ya que están en relación directa con el potencial productivo futuro de los suelos (Tabla 4). Esta situación ocurre para el caso de P y S, nutrientes con efecto residual en los próximos cultivos de la rotación. En el caso del N, es aceptado que no debe manejarse bajo el criterio de reposición, ya que los excedentes que no son absorbidos por el cultivo salen del sistema, fundamentalmente por lixiviación de nitratos durante el otoño. Sin embargo, en una rotación intensiva como la que se planifica en este experimento, de seis cultivos en cuatro años, el N cicla en los vegetales y permanece en mayor proporción bajo formas orgánicas, en los residuos y la biomasa microbiana. Siendo nuestros sistemas

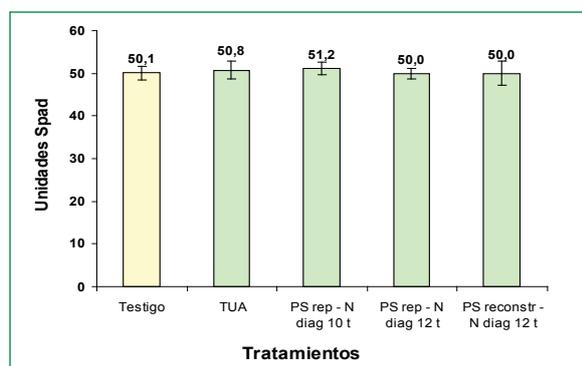
productivos deficitarios en N, pareciera entonces pertinente incluir el balance de N en el análisis real de rentabilidad del sistema, como se presenta en la Figura 3. En esta Figura se destaca también que, bajo la situación actual de buenos precios de los granos, las estrategias de alta fertilización, al posibilitar los mayores rendimientos, alcanzan los márgenes más altos aún cuando se invierta más en fertilizantes.

## Conclusiones

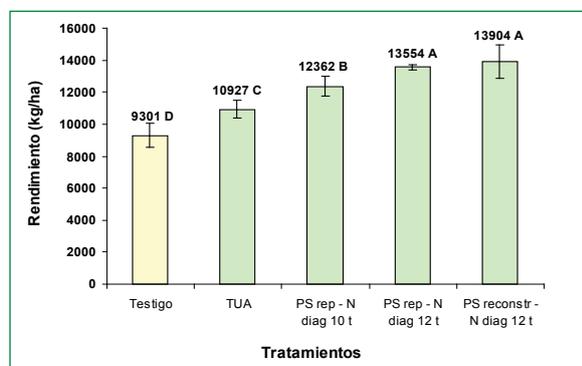
- Las estrategias de fertilización evaluadas, en el primer año de ensayos, alcanzaron niveles contrastantes de rendimientos. La concentración de nutrientes en los granos difirió entre tratamientos, siendo el N, el nutriente que experimentó el rango de variación más amplio.
- Como consecuencia de las variaciones en los rendimientos, se observaron cambios en la rentabilidad a causa de las diferentes estrategias. Las de alta fertilización alcanzaron los mayores niveles de rentabilidad. Esto se ve acentuado cuando se pondera el balance de nutrientes en el sistema. Aunque el "costo oculto" provocado por un balance negativo de nutrientes no es tenido en cuenta en los análisis económicos, debería considerarse al evaluar la rentabilidad de los cultivos ya que guarda relación directa con el potencial productivo de los suelos.

## Referencias Bibliográficas

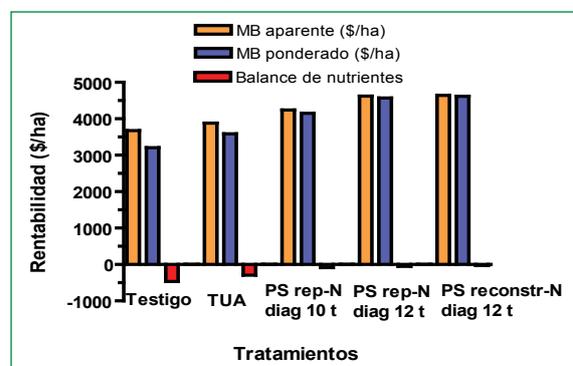
- Cordone G., F. Martínez, R. Abrate, J. Capurro, A. Gargicevich, O. Gentili, J. Mendez, G. Prieto y N. Trentino. 2001. Fertilización de maíz en distintos ambientes de la Región Pampeana Norte. *Informaciones Agronómicas* 11: 15-17.
- Ciampitti, I., y G. García. 2007. Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales, oleaginosos e industriales. En: *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 33: 13-16. *Archivo agronómico* N° 11. 4 pp.
- Pedrol H., F. Salvagioti, J. Castellarán, N. Trentino, J. Mendez, J. Capurro, J.C. Felizia, O. Gentili, A. Gargicevich, G. Prieto, D. Damen y A. Gelin. 2001. Respuesta de maíz a nitrógeno y azufre en sistemas agrícolas del sur de Santa Fe. VII Congreso Nacional de Maíz.
- Thomas A., M. Boxler, B. Alvarez de Toledo, R. Houssay, L. Martín, A. Berardo y F.O. García. 2001. Red de nutrición CREA Sur de Santa Fe. Resultados de la campaña 2000/2001: Maíz. *Informaciones Agronómicas* 11: 5-10. ◀



**Figura 1.** Índice de verdor (unidades Spad) para las diferentes estrategias de fertilización evaluadas en el ensayo. Las barras verticales representan la desviación Standard de la media.



**Figura 2.** Rendimiento de grano de diferentes estrategias de fertilización. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos. Las barras verticales representan la desviación standard de la media. Arribeños, General Arenales. Campaña 2006/07.



**Figura 3.** Margen bruto aparente del cultivo de maíz (sin considerar la salida o ingreso de nutrientes), valorización económica del balance y margen bruto ponderando la extracción de NPS del sistema. Arribeños, General Arenales. Campaña 2006/07.