

Manejo de la fertilización en la región pampeana centro-norte: Resultados económicos en el largo plazo*

Adrian Correndo,¹ Miguel Boxler² y Fernando García¹

Introducción

La fertilización de los cultivos de grano ha adoptado en las dos últimas décadas una especial relevancia en los sistemas de producción de la región pampeana argentina, donde los principales cultivos son soja [*Glycine max* (L.) Merr.] y maíz (*Zea mays* L.) en verano, y trigo (*Triticum aestivum* L.) en invierno. Para las gramíneas -maíz y trigo-, las recomendaciones de fertilización normalmente incluyen nitrógeno (N) y fósforo (P), y más recientemente azufre (S). En el caso de la soja, las recomendaciones se basan principalmente en la nutrición fosforada y recientemente azufrada, pero generalmente las dosis utilizadas son bastante menores respecto de las gramíneas.

Para facilitar la toma de decisiones, existen diferentes metodologías de diagnóstico mediante las cuales es posible estimar requerimientos, respuestas o probabilidad de respuesta a los nutrientes. Para todas ellas, la calibración local es una característica deseada para mejores recomendaciones. Sin embargo, la decisión de fertilización -tomada *ex-ante*- finalmente depende de aspectos económicos -y financieros-, donde las relaciones insumo:producto determinan la probable rentabilidad de la fertilización. Posteriormente, en una instancia *ex-post*, normalmente se utilizan indicadores que estiman la eficiencia de uso de los nutrientes, siendo clásico el uso de la eficiencia agronómica (kg respuesta kg⁻¹ nutriente aplicado), dada su utilidad para realizar cálculos económicos.

El uso de las herramientas de análisis mencionadas constituye parte fundamental del desarrollo de las mejores prácticas de manejo (MPM) del uso de fertilizantes en función de características específicas de cada sitio (Bruulsema, 2008). Las MPM de la nutrición

de cultivos son estratégicas para incrementar la productividad del sistema de forma sustentable. Este concepto es complejo, y consiste tanto de dimensiones económicas, como sociales y ambientales, que necesitan ser incluidas en las recomendaciones de manejo (IPNI, 2013). En este trabajo, se analizan algunos aspectos de la dimensión económica referidos al manejo de la nutrición nitrogenada, fosforada y azufrada en maíz, trigo y soja en experimentos de fertilización de largo plazo en la región pampeana centro-norte.

Materiales y métodos

Desde el año 2000, CREA Sur de Santa Fe, IPNI Cono Sur y Agroservicios Pampeanos SA (ASP) mantienen en conjunto ensayos de nutrición de cultivos en campo de productores de la región pampeana centro-norte (García et al., 2010). Esta red experimental se estableció con once ensayos bajo sistemas de siembra directa estabilizados, de los cuales se analizaron cinco sitios (**Tabla 1**). El periodo evaluado estuvo comprendido entre las campañas agrícolas 2000/01 y 2012/13. El diseño experimental de los ensayos es en bloques completos aleatorizados (DBCA), con tres repeticiones. El tamaño de las parcelas es de 25-30 m de ancho y 65-70 m de largo. En cada sitio, con el objetivo de evaluar diferentes manejos y respuestas a la fertilización con N, P, y S, se disponen distintos tratamientos que se repiten de forma anual sobre las mismas parcelas (**Tabla 2**). La soja de primera no se fertiliza con N, mientras que la secuencia trigo/soja de segunda se maneja fertilizando a la siembra del trigo con dosis para ambos cultivos. Las fuentes de nutrientes son urea (46-0-0), fosfato monoamónico (FMA; 11-52-0), y yeso agrícola (0-0-0-19S) para N, P, y S, respectivamente.

Tabla 1. Características básicas de los sitios evaluados. Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe.

Establecimiento	Balducchi	San Alfredo	La Blanca	La Hansa*	Lambaré
CREA	Teodelina	Santa Isabel	Gral. Baldissera	Amstrong-Montes de Oca	San Jorge - Las Rosas
Serie de suelo	Santa Isabel	Hughes	La Bélgica	Bustanza	Los Cardos
Tipo de suelo	Hapudol típico	Argiudol típico	Hapludol típico	Argiudol ácuico	Argiudol típico
Años de agricultura	+60	15	6	+20	12
Rotación	----- M-T/Sj -----		----- M-Sj-T/Sj -----		

* Comenzó con soja de primera en la campaña 2001/02.

¹ IPNI Cono Sur. Correo electrónico: acorrendo@ipni.net

² CREA Sur de Santa Fe.

* Adaptado del trabajo presentado al XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo AACs, Bahía Blanca, 5-9 Mayo 2014.

Tabla 2. Rangos de nutrientes aplicados a los cultivos anualmente en los cinco tratamientos establecidos en los sitios experimentales. Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe. Campañas 2000/01 a 2012/13.

Nutriente	Testigo	Tratamiento			
		PS	NS*	NP*	NPS*
		----- Nutrientes, kg ha ⁻¹ -----			
N	-	10-20	90-175	90-175	90-175
P	-	20-46	-	20-46	20-46
S	-	17-25	17-25	-	17-25
* En los cultivos de soja no se aplica N.					

* En los cultivos de soja no se aplica N.

Tabla 3. Promedios de las relaciones de precios (kg grano para comprar 1 kg de nutriente) registradas entre las campañas 2000/01 y 2012/13, y sus respectivos coeficientes de variación (CV, %).

Grano	----- Trigo -----			----- Maíz -----			----- Soja -----	
	N	P	S	N	P	S	P	S
Nutriente								
kg grano para comprar 1 kg de nutriente	8.0	20.5	9.7	11.3	28.9	13.7	12.2	5.8
CV, %	23	29	19	19	28	14	28	13

Debido a la existencia de efectos residuales en las parcelas por la historia de fertilización, la respuesta de los cultivos a la fertilización no se analizó en forma pura para cada nutriente, sino que se evaluó mediante la diferencia de producción de granos (kg ha⁻¹) entre cada tratamiento fertilizado (PS, NS, NP y NPS) y el Testigo absoluto (**Figura 1**).

A partir de dichos valores, se estimó el beneficio económico o margen bruto (MB) parcial por fertilización (US\$ ha⁻¹) y el retorno de inversión (RI, US\$ US\$⁻¹ invertido) considerando la producción de granos (kg ha⁻¹) y la aplicación acumulada de N, P, y S (kg ha⁻¹) entre las campañas 200/01 y 2012/13. El primero se estimó como la diferencia entre los ingresos adicionales por cosecha -respecto del testigo- y los costos de fertilización de cada tratamiento. El segundo se calculó como el cociente entre los ingresos adicionales acumulados respecto del testigo y el costo de fertilización acumulado de cada tratamiento.

Para contemplar las variaciones en las relaciones grano:fertilizante y el valor monetario, los precios utilizados fueron los correspondientes a la serie histórica entre las campañas 2000/01 a 2012/13, expresados en US\$ constantes al 31 de Diciembre de 2013 (INDEC, 2014; IMF, 2014). Las series se elaboraron en base a las cotizaciones de granos "Rosario disponible" y fertilizantes (Agromercado, 2013; Márgenes Agropecuarios, 2013). El precio de los granos se ajustó descontando gastos de comercialización (fletes corto y largo a Rosario, secado, acopio, paritaria, zarandeo, impuestos y sellado), y al costo del fertilizante se adicionó el costo de aplicación y un interés por inmovilización igual a la tasa vigente por depósito en plazo fijo (BCRA, 2014).

Dentro de cada sitio, la producción acumulada de granos y el retorno de inversión se estudiaron mediante análisis de la varianza (ANOVA) y se utilizaron comparaciones múltiples entre los tratamientos de fertilización (Tukey, $\alpha=0.05$). En el caso del margen económico acumulado, se utilizó un modelo mixto de medidas repetidas en el tiempo, con una estructura de correlación AR1. Los análisis estadísticos se realizaron mediante el paquete Infostat versión 2013 (Di Rienzo et al., 2013).

Resultados y discusión

Producción de granos

La producción acumulada de granos de maíz, trigo y soja, mostró importantes variaciones en función del sitio y los tratamientos de fertilización (**Figura 1**). Estas variaciones entre sitios en cuanto a respuestas a N, P y/o S, dependieron de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, la historia del lote y el nivel de rendimiento de los cultivos (García et al., 2010). En general, los cultivos que más respuesta a la fertilización manifestaron fueron trigo y maíz y, en menor medida, soja de segunda. En contraparte, la soja de primera fue el cultivo que registró los menores efectos del manejo de la nutrición.

En todos los sitios, los mayores niveles de producción se alcanzaron con el tratamiento NPS y los más bajos con el Testigo. Las diferencias más importantes se observaron en el sitio Balducchi donde el Testigo registró una producción acumulada de 53.9 t respecto de las 118.5 t del tratamiento NPS (+119%). En contraste, las menores diferencias se registraron en el sitio Lambaré, donde el tratamiento NPS no se diferenció de NS y NP, y resultó 27% y 10% superior a los tratamientos Testigo y PS, respectivamente. Este comportamiento contrastante se atribuye a que el sitio Balducchi es aquel que documenta

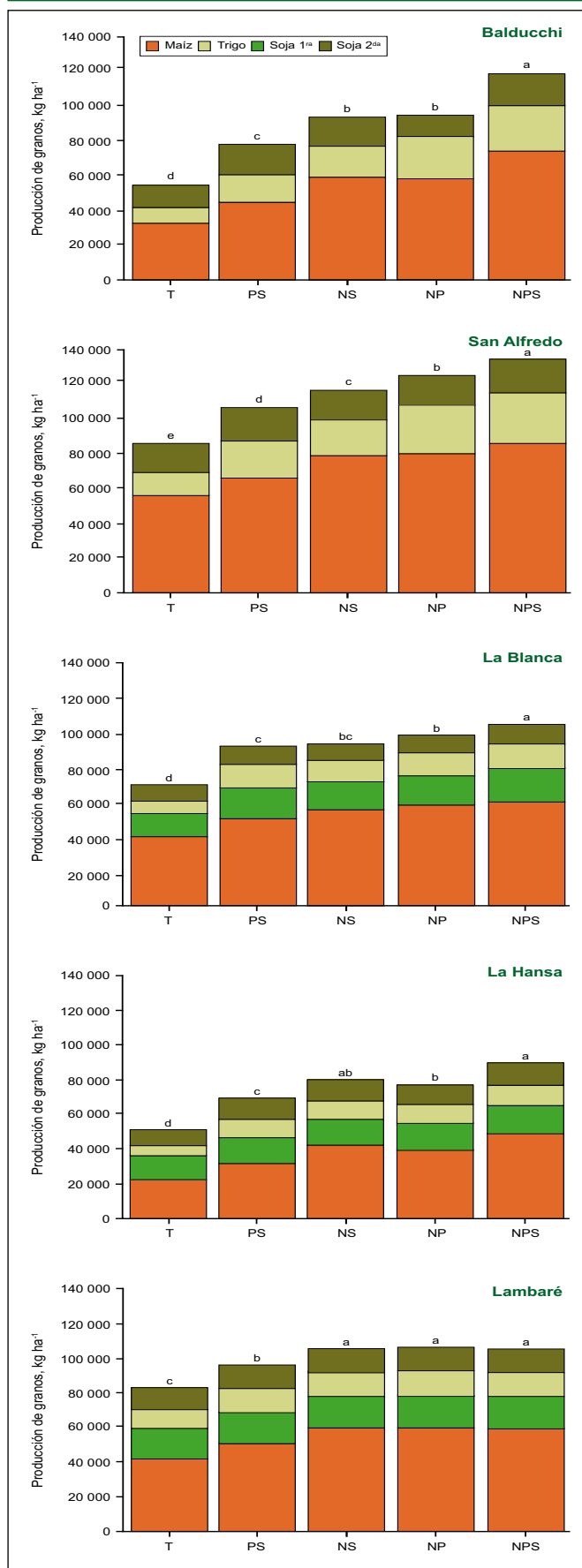


Figura 1. Producción acumulada de granos según los diferentes tratamientos de fertilización en los cinco sitios evaluados. Campañas 2000/01 a 2012/13. Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de un mismo sitio, según Tukey al 5%.

la más prolongada historia de agricultura continua previa a los ensayos (más de 60 años), mientras que Lambaré documenta una historia de rotación agrícola-ganadera más reciente. Esta condición se refleja en los análisis de suelos de cada sitio, donde se observa que Balducchi y Lambaré fueron los sitios de la red con mayor y menor degradación del suelo, respectivamente (García et al., 2010).

En los sitios en rotación M-T/Sj, los rendimientos sin limitaciones nutricionales (NPS) fueron mayores en San Alfredo, pero las mayores diferencias entre sitios se registraron en la producción del Testigo, que en Balducchi fue claramente menor (**Figura 1**). Por otro lado, en Balducchi se observan importantes reducciones de producción por no aplicar N (PS), P (NS) o S (NP), siendo más importante la limitación por N que la de P y S. En tanto en San Alfredo, la falta de aplicación de N generó las mayores mermas de producción, seguido por la falta de P y S.

Bajo rotación M-Sj-T/Sj, la producción sin limitaciones fue similar en los tres sitios. La producción de granos acumulada en el Testigo fue mayor en Lambaré respecto de La Blanca, reflejando una mejor condición de fertilidad en el primero debida, en parte, a su menor historia agrícola que además incluía rotación con pasturas. Por otra parte, en La Blanca los nutrientes más limitantes fueron N y P (en similar magnitud) y, en menor medida, S. En este sitio fue donde el P fue más limitante. En La Hansa, la mayor limitación se dio por la falta de N, seguido por la falta de S o P. En Lambaré, el principal limitante fue el N, y la falta de P o S no generó reducciones respecto del manejo NPS.

Margen por fertilización

Durante el periodo analizado, las relaciones de precios registraron altibajos que generaron momentos más y menos aptos para la inversión en fertilizantes. A modo de resumen, en la **Tabla 3**, se detallan las relaciones de precios (kg grano para comprar 1 kg de nutriente) medias y los coeficientes de variación (CV) entre las campañas 2000/01 y 2012/13. La tendencia general fue de márgenes positivos, mayores en los últimos años, con variaciones entre sitios y entre campañas según condiciones climáticas, incidencia de enfermedades, y relaciones de precios (ejemplo, 2008/09, atípicamente altas), registrando márgenes reducidos en algunos casos y pérdidas en otros (especialmente para los tratamientos con P) (**Figura 2**).

En la **Figura 2**, se muestra cómo fue la evolución del MB parcial acumulado para los diferentes tratamientos de fertilización en los cinco sitios. Luego de trece campañas, los mayores márgenes por fertilización se registraron en los sitios bajo rotación M-T/Sj. En Balducchi (con mayor historia de agricultura continua), los márgenes acumulados fueron de 1679, 2774, 1606 y 4770 US\$ ha⁻¹ para los tratamientos PS, NS, NP y NPS, respectivamente.

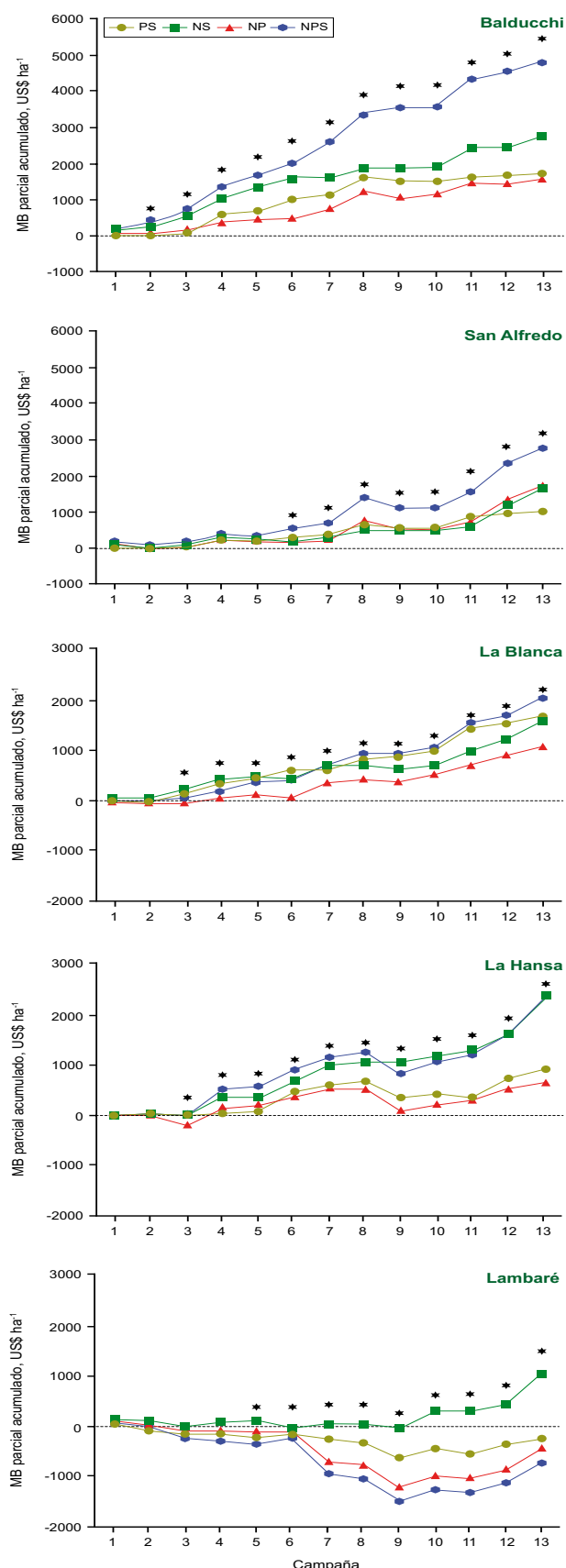


Figura 2. Margen acumulado (US\$ ha⁻¹) por sobre el testigo no fertilizado para los diferentes tratamientos de fertilización en los cinco sitios evaluados. Campañas 2000/01 a 2012/13. Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe. Las barras indican el error estándar. *Diferencias significativas entre tratamientos, dentro de una misma campaña en cada sitio, según Tukey al 5%.

Para los mismos tratamientos, los márgenes acumulados en San Alfredo fueron de 1019, 1650, 1714 y 2748 US\$ ha⁻¹, respectivamente. En Balducchi, el margen por fertilización comenzó a diferenciarse entre tratamientos a partir de la segunda campaña y, a partir de la sexta, el beneficio acumulado del manejo NPS comenzó a ser notoriamente superior al resto. En San Alfredo, se comenzaron a registrar diferencias significativas a partir de la sexta cosecha y, a partir de la octava campaña, el tratamiento NPS fue claramente superior al resto.

Por otra parte, los sitios bajo rotación M-Sj-T/Sj, presentaron márgenes por fertilización relativamente menores respecto de la rotación M-T/Sj, principalmente debido a las diferentes proporciones de maíz y soja en la rotación, que son los cultivos que más y menos respondieron a la fertilización (Figura 1), y que más y menos inversión en fertilizantes registraron, respectivamente. El sitio La Blanca registró márgenes acumulados por 1659, 1604, 1094, y 2034 US\$ ha⁻¹ para PS, NS, NP y NPS, respectivamente. Para los mismos tratamientos, en La Hansa se obtuvieron beneficios por 901, 2296, 653 y 2279 US\$ ha⁻¹, y en Lambaré los márgenes fueron de -280, 1005, -435 y -761 US\$ ha⁻¹, respectivamente. En este último sitio, el único tratamiento con un beneficio neto fue NS, mientras el resto de los tratamientos -que incluyeron P en dosis de reposición-, resultaron en márgenes negativos dada la baja respuesta a causa de los altos niveles de P en el suelo.

En la Figura 3 se detalla el retorno de la inversión en fertilización, al final de la decimo-tercera campaña, para cada sitio según el manejo de la nutrición. En Balducchi, los manejos más rentables fueron NPS y NS (2.15 y 2.11 US\$ US\$⁻¹), seguidos de PS (1.78 US\$ US\$⁻¹) y luego NP (1.43 US\$ US\$⁻¹). En San Alfredo, con un RI medio de 1.56 US\$ US\$⁻¹, no se detectaron diferencias entre tratamientos. En La Blanca, se determinaron diferencias significativas entre NS (1.86 US\$ US\$⁻¹) y NP (1.36 US\$ US\$⁻¹). En La Hansa, el tratamiento NS registró la mayor rentabilidad (2.31 US\$ US\$⁻¹) seguido de NPS, PS, y NP con 1.70, 1.46, y 1.23 US\$ US\$⁻¹, respectivamente. En Lambaré, el sitio de mejores condiciones iniciales de fertilidad, solo resultó rentable el tratamiento NS (1.54 US\$ US\$⁻¹), mientras que el resto de los tratamientos registró un RI medio de 0.83 US\$ US\$⁻¹ invertido. Estos resultados, indican que la rentabilidad media de la práctica en Lambaré, el suelo con menor respuesta a la fertilización, fue de un 54% con un manejo razonable dados los altos niveles de P en el suelo.

A nivel general, si bien el tratamiento NPS fue el que más beneficios acumuló en el periodo evaluado (Figura 2), fue el tratamiento NS el que mejor pagó la inversión en fertilización (Figura 3), principalmente relacionado al bajo costo relativo y a la creciente respuesta de los cultivos a la fertilización azufrada. Sin embargo, es importante mencionar que este manejo, que omite la aplicación de P, tiene un costo no cuantificado en este trabajo correspondiente a un empobrecimiento en P

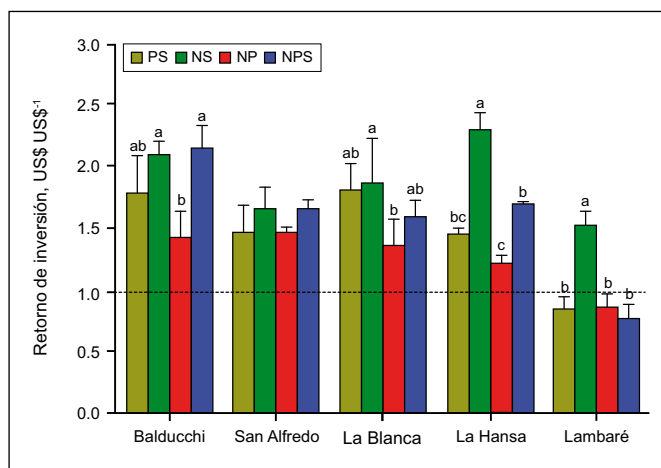


Figura 3. Retorno medio de inversión (US\$ US\$⁻¹ invertido) para los diferentes tratamientos de fertilización en los cinco sitios evaluados. Campañas 2000/01 a 2012/13. Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe. La línea punteada horizontal indica el umbral de indiferencia. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de un mismo sitio, según Tukey al 5%.

del suelo respecto del tratamiento NPS que, en general, mantiene y/o mejora los niveles de este nutriente clave para la producción de cultivos (Ciampitti et al., 2011). De forma similar, aplicar un manejo sin fertilización (Testigo), además de degradar progresivamente la fertilidad del suelo, en el período evaluado generó lucros cesantes por 367, 211, 156, 177, y 77 US\$ ha⁻¹ año⁻¹ en Balducchi, San Alfredo, La Blanca, La Hansa, y Lambaré, respectivamente.

Conclusión

En este trabajo se muestra cómo, en el largo plazo, las dimensiones productiva y económica expresan los efectos del manejo de la fertilización. La disponibilidad de nutrientes en el suelo, la historia del lote y el nivel de rendimiento de los cultivos determinaron respuestas y resultados económicos específicos por sitio. En general, las mayores ganancias acumuladas correspondieron al manejo NPS, indicando que además de los beneficios sobre la fertilidad del suelo, existe un efecto económico significativo. La fertilización como práctica de manejo resultó rentable especialmente cuando se incluyó S debido al bajo costo relativo de la fertilización azufrada, y a la creciente y cada vez más generalizada respuesta al nutriente. Finalmente, la decisión de no utilizar fertilizantes generó lucros cesantes entre 77 a 367 US\$ ha⁻¹ año⁻¹. Este costo, sumado a la degradación del recurso suelo, ratifica como un aspecto clave la necesidad de un correcto manejo de la nutrición de los cultivos, en el marco de sistemas de producción sustentables.

Agradecimientos

A todos los productores, asesores técnicos y personal de la región CREA Sur de Santa Fe, y a Agrosericios Pampeanos (ASP) por su apoyo continuo a la Red de Nutrición.

Bibliografía

- Agromercado. 2013. Series históricas. <http://www.agromercado.com.ar/?economico>
- Banco Central de la República Argentina. 2014. Estadísticas monetarias y financieras. <http://www.bcra.gov.ar/index.asp>
- Bruulsema, T.W., C. Witt, F.O. García, S. Li, T.N. Rao, F. Chen, y S. Ivanova. 2008. A Global Framework for Fertilizer BMPs. *Better Crops* 92(2):13-15. IPNI. Norcross, EE.UU.
- Ciampitti, I.A., F.O. García, L.I. Picone, y G. Rubio. 2011. Phosphorus: balance and soil extractable dynamics in field crops rotations in Pampean soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75:131-142.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, C.W. Robledo. 2013. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- García, F.O., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, I. Ciampitti, A. Correndo, F. Bauschen, A. Berardo, N. Reussi Calvo. 2010. La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe. 2^{da} Ed. Buenos Aires, AACREA. 2010. 64 p.
- IMF. 2014. International Monetary Found. United States and the IMF. <http://www.imf.org/external/country/USA/index.htm>
- INDEC. 2014. Índices de precios. http://www.indec.mecon.ar/principal.asp?id_tema=10
- IPNI. 2013. 4R de la Nutrición de Plantas: Un Manual para Mejorar el Manejo de la Nutrición de Plantas. Bruulsema, T.W., P. Fixen, y G. Sulewski (Eds.). 1^{ra} Ed. Acaassuso. International Plant Nutrition Institute. 140 p.
- Márgenes Agropecuarios. 2013. Estadísticas. <http://www.margenes.com/estadistica/> ♦



Foto 1. Visita aérea del ensayo de fertilización de largo plazo en Teodelina, Santa Fe, Argentina.