

# Impacto de la fertilización en soja sobre la calidad del grano

Fernando Martínez<sup>1\*</sup> y Graciela Cordone<sup>1</sup>

## Introducción

Existe preocupación en la industria argentina de procesamiento de soja por la constante caída del contenido proteico de los granos (Cordone et al., 2011; Cuniberti y Herrero, 2013; Matteo y Calzada, 2013). Este contenido ha bajado gradualmente desde un 41-42% en la campaña 1971/72 hasta el 37-38% registrado en las últimas campañas. La evaluación de la calidad industrial del grano de soja también incluye la concentración de aceite que ha oscilado entre 20% y 24% en los últimos años. Los contenidos de proteína y aceite se combinan en el índice ProFat del grano (proteína + aceite). Para la operación plena de las plantas procesadoras se considera óptimo un contenido ProFat del grano de un 61% en base seca.

Debe considerarse que la harina proteica es un subproducto irremplazable de la industria de soja; actualmente el aceite, aún con su alto precio, puede ser reemplazado por otros. La disminución progresiva del contenido proteico del grano de soja "regional" es salvada por las procesadoras con reducciones de la humedad de entrega, el descascarillado y el mezclado con partidas con mayor concentración proteica, en particular de origen noreste argentino (NEA) y Paraguay. Todo esto se realiza para no sufrir penalidades al no alcanzar la calidad de contrato de la harina conocida como High-Pro.

A nivel nacional no existen referencias acerca del impacto de la nutrición del cultivo sobre la concentración de proteína y aceite en el grano de soja. Este artículo presenta y discute los resultados obtenidos en una red de ensayos realizados por la Agencia de Extensión Rural (AER) del INTA de Casilda (Santa Fe, Argentina) en la campaña 1998/99, que aportan información de interés en cuanto a los efectos de la nutrición sobre la calidad industrial del grano de soja.

## Metodología

La AER INTA Casilda condujo ensayos de fertilización fósforo-azufrada en soja entre 1992/93 y 1998/99 en la región centro sur de la provincia de Santa Fe (CSSF). Durante las campañas 1992/93 a 1996/97, la actividad experimental fue exploratoria; a partir de la campaña 1997/98 la actividad se dirigió al ajuste de la práctica, incluyendo las herramientas de análisis de suelo y tejidos vegetales que permitan su recomendación, las fuentes y dosis recomendables y las técnicas de aplicación. En el marco de estos ensayos, en la campaña

1998/99 se agregó la hipótesis de un posible efecto de la fertilización sobre la calidad del grano producido.

En la campaña 1998/99 se tomaron muestras de grano de las franjas experimentales de cada ensayo y se les practicó el análisis de calidad industrial rutinario. Los análisis, un número cercano a 200 muestras, fueron realizados en el laboratorio de calidad de la empresa ACHA (Aceitera Chabás, del grupo AGD).

El "ensayo tipo" en la campaña 1998/99 tuvo un diseño en franjas del ancho de la sembradora disponible en cada sitio por el largo del lote y con 2 repeticiones. Se analizaron los granos de ensayos de aplicación directa en soja de primera y soja de segunda (7 ensayos) y "residuales" en soja de segunda con la aplicación realizada en el trigo antecesor (3 ensayos).

Los suelos en los que se instalaron los ensayos son argiudoles típicos de las series Casilda y Hansen, con más de 50 años de agricultura continua. Los análisis de suelo previos a la siembra indicaron rangos de 2.44% a 2.84% de materia orgánica, de entre 8 y 17 mg kg<sup>-1</sup> de P Bray-1 y pH entre 5.8 y 6.0.

Las precipitaciones de la campaña 1998/99 para el Centro Sur de Santa Fe fueron aproximadamente 600 mm entre noviembre y abril, suficientes para cubrir los requerimientos de los cultivos. Heladas a mediados de abril afectaron el llenado final de los granos en los ensayos instalados más tardíamente y esta afectación fue más marcada en los tratamientos fertilizados con S que prolongaron su ciclo respecto a los testigos.

Las dosis de P y S en aplicación directa en cultivos de soja de ciclo completo (soja de 1ª) y soja de segunda siembra (soja de 2ª) fueron de 23 kg P ha<sup>-1</sup> y 12 kg S ha<sup>-1</sup>; y las dosis de aplicación en trigo, para el cultivo de trigo y soja de segunda siembra (soja de 2ª residual), fueron de 23 kg P ha<sup>-1</sup> y 17 kg S ha<sup>-1</sup>. Como fuentes de P se utilizaron superfosfato triple de calcio (SFT, 20% de P) o fosfato monoamónico (FMA, 23 % de P). Las fuentes de S fueron kieserita (sulfato de magnesio, 22% de S), yeso (sulfato de calcio, 17% de S), sulfato de amonio (SA, 24% de S), sulfonitrato de amonio (SNA, 14% de S) o SulPoMag® (sulfato doble de potasio y magnesio, 11% de S). Las variedades utilizadas fueron todas del GM VI corto, y previamente a la siembra siempre se inoculó la semilla. El manejo del cultivo fue el usual de la región, con monitoreo de INTA Casilda. La cosecha fue con máquina comercial y las pesadas con balanza de platos. Los rendimientos se corrigieron a humedad comercial de 13.5%.

<sup>1</sup> AER INTA Casilda, Casilda, Santa Fe, Argentina

\* Correo electrónico: martinez.f@inta.gob.ar

## Resultados de análisis de calidad industrial

### Resumen de los 10 ensayos

En la **Figura 1** se presentan los resultados de calidad industrial de los granos de soja identificados por tratamiento de fertilización. Los valores de proteína y de ProFat tendieron a incrementarse con la aplicación de P, mientras que en promedio, los valores de aceite fueron similares para los cuatro tratamientos indicados.

La evaluación por ensayo mostró disminuciones en concentración de aceite por fertilización en dos de tres sitios de fertilización directa en soja de 2ª, e incrementos en proteína en un sitio (datos no mostrados). En uno de los cuatro sitios de soja de 1ª, la fertilización incrementó la concentración de proteína.

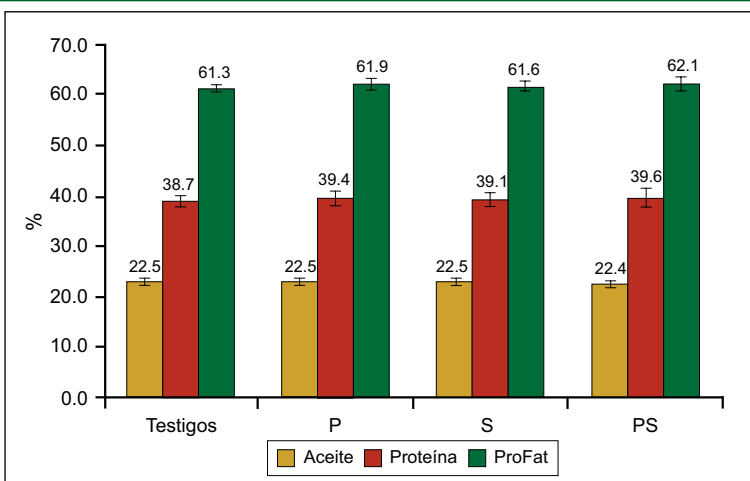
La **Figura 2** muestra la relación inversa entre aceite y proteína observada en las unidades experimentales de los diez ensayos. No se observaron diferencias en esta relación inversa entre manejos de soja y fertilización (de 1ª o 2ª, testigos o fertilizados), la concentración de proteína tendió a disminuir en un 1.67% por cada 1% de incremento del aceite. Los tres sitios de soja de 2ª sin o con fertilización en el cultivo de invierno anterior, son los que mostraron menores valores de proteína y los mayores valores de aceite. Si bien son otros sitios, las sojas de 2ª con fertilización directa mostraron mayores valores de proteína.

Los efectos de la fertilización en aceite, proteína y ProFat (% aceite + % proteína) se evaluaron comparando las concentraciones de estas variables entre los testigos y los tratamientos fertilizados (**Figura 3**). En general, la fertilización tendió a disminuir la concentración de aceite, y a aumentar la de proteína y el ProFat.

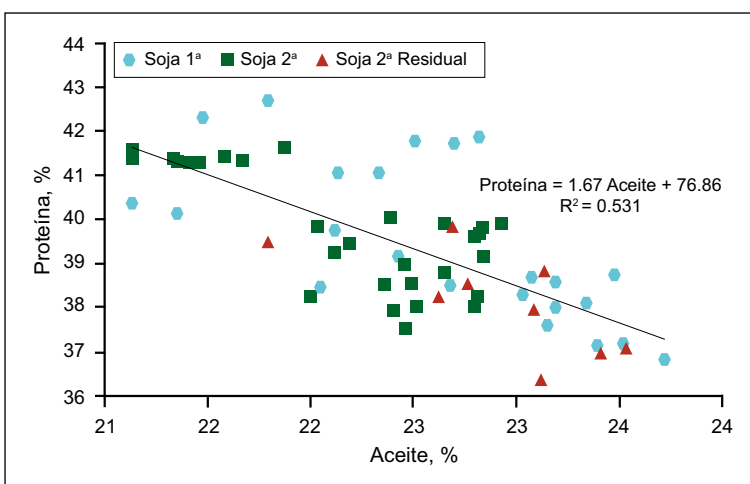
Analizando los efectos de cada tratamiento de fertilización, la aplicación de P disminuyó la concentración de aceite en cuatro de ocho sitios pero tendió a aumentarla en los otros cuatro; aumentó la proteína y ProFat en siete sitios.

La aplicación de S tendió a aumentar la concentración de aceite en cinco de trece sitios y a disminuirlas en los otros ocho. El S aumentó la proteína y el ProFat en diez y once de los trece sitios evaluados, respectivamente.

La aplicación de PS tendió a aumentar el aceite en siete de once sitios pero la disminuyó marcadamente en los otros cuatro sitios. El PS aumentó la proteína y el ProFat en siete de los once sitios evaluados.



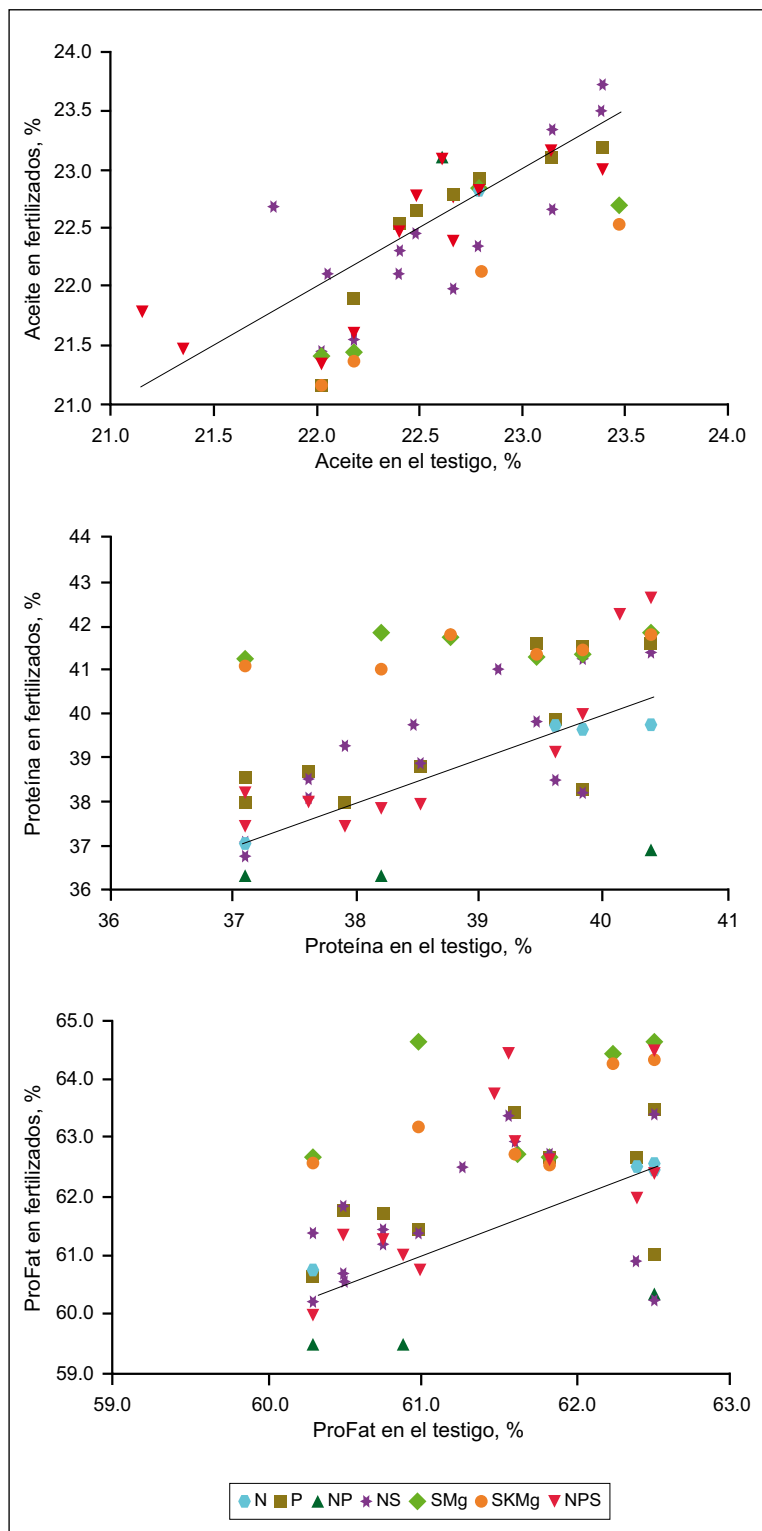
**Figura 1. Resultados de los análisis de grano en base seca según tratamiento de fertilización. Promedio de 10 ensayos realizados en la campaña 1998/99. Laboratorio Calidad ACHA – Chabás, Santa Fe.**



**Figura 2. Resultados de los análisis de grano en base seca según tratamiento de fertilización. Promedio de 10 ensayos realizados en la campaña 1998/99. AER INTA Casilda, Santa Fe.**

**Tabla 1. Tratamientos de fertilización en soja. Campaña 1998/99. AER INTA Casilda, Santa Fe.**

	Tratamiento y dosis kg ha <sup>-1</sup>	Nutriente agregado, kg ha <sup>-1</sup>			
		N	P	S	Mg
1.	Testigo	0	0	0	0
2.	SPT 50	0	10	0	0
3.	SPT 100	0	20	0	0
4.	SPT 150	0	30	0	0
5.	SPT 50 + SNA 86	10	10	12	0
6.	SPT 50 + Kieserita 55	10	20	12	9.5
7.	SPT 50 + Yeso agrícola 70	10	20	12	0
8.	SPT 50 + Yeso agrícola 140	10	20	24	0
9.	Kieserita 55	0	0	12	9.5
10.	Yeso agrícola 70	0	0	12	0
11.	Yeso agrícola 140	0	0	24	0



**Figura 3. Relaciones de concentraciones de aceite, proteína y ProFat entre tratamientos Testigo y tratamientos fertilizados. "Las líneas negras indican la relación 1:1 entre los valores de aceite, proteína, y ProFat de los tratamientos Testigo y los tratamientos fertilizados". Ensayos Campaña 1998/99, AER INTA Casilda, Santa Fe.**

Si bien se evaluaron en pocos sitios, solamente cuatro, la aplicación de potasio y/o magnesio por sobre S no afectó las concentraciones de aceite, proteína y ProFat.

### Resultados analíticos de un ensayo en particular

Se presentan los resultados de rendimiento, componentes de rendimiento, análisis de tejido, calidad industrial

del grano y rendimiento de producto industrial de un ensayo de fertilización directa en soja de segunda. El antecesor fue cebada cervecera fertilizada con nitrógeno (N) + P + S (primera aplicación de S) y que tuvo un rendimiento de 3600 kg ha<sup>-1</sup>. La variedad de soja utilizada fue A – 6444 RR de Nidera, con inoculación y a 0.35 m de espaciamiento entre líneas. La fecha de siembra fue el 22/12/98 y la de cosecha el 27/05/99. El suelo del lote es serie Casilda4, fase moderadamente ondulada y moderadamente erosionada, con 50 años de agricultura continua y en 5to. año continuo de siembra directa. El análisis de suelo 0-20 cm de profundidad indicó pH = 5.69; P Bray = 33 mg kg<sup>-1</sup>; MO = 2.86% y S-SO<sub>4</sub> por turbidimetría = 3 mg kg<sup>-1</sup>. La siembra se realizó con el perfil bien provisto de agua (130 mm en diciembre de 1998). Se presentó un periodo de altas temperaturas y sin ocurrencia de lluvias entre el 12/02 y el 1/03 de 1999. Llovieron 644 mm de siembra a cosecha. Las primeras heladas ocurrieron el 16 y 17/04/1999. El tamaño de las parcelas fue de 4.4 m x 300 m (1320 m<sup>2</sup>); el diseño fue de bloques al azar con 2 repeticiones para 11 tratamientos de fertilización (Tabla 1). Siembra y cosecha se realizaron con maquinaria comercial y pesada con balanza electrónica de platos. El muestreo para componentes de rendimiento se realizó en forma manual con 3 muestras de 0.5 m<sup>2</sup> por repetición sobre 8 tratamientos selectos; para el análisis de tejido vegetal se tomó una muestra compuesta de 25 hojas (75 folíolos) por tratamiento en estadio fenológico R4 y para calidad industrial del grano una muestra de 1 kg por parcela.

La Tabla 2 permite observar la contundente respuesta del cultivo a la aplicación de S (siempre como sulfato), solo o en combinación con P. Las dosis mayores de S y la combinación P+S+Mg produjeron los mayores rendimientos. Aún con alta disponibilidad de P del suelo, producida por la fertilización fosfórica precedente, el cultivo respondió a dosis crecientes del nutriente. Las heladas de mediados de abril se produjeron cuando aún no había finalizado el período de llenado de granos. Esto tuvo mayor incidencia sobre las parcelas con S que no habían comenzado a amarillear sus hojas; sin embargo, esas parcelas presentaron granos más pesados. Puede inferirse entonces que las heladas tempranas limitaron el llenado de granos de esas parcelas y que de haber terminado su ciclo normalmente podrían haber manifestado mayor peso de granos. El análisis de los componentes de rendimiento permitió observar que la respuesta a la fertilización aumentó el número de vainas por m<sup>2</sup> y granos por m<sup>2</sup>, que a su vez fueron más pesados (aún con la restricción que las heladas le impusieron al llenado de las parcelas fertilizadas con S).

**Tabla 2. Rendimiento y componentes de rendimiento para los distintos tratamientos de fertilización en soja. Campaña 1998/99. AER INTA Casilda, Santa Fe.**

Tratamiento y dosis kg ha <sup>-1</sup>		Rendimiento, kg ha <sup>-1</sup>	pl m <sup>-2</sup>	Peso 1000 semillas, g	Granos m <sup>-2</sup>	Vainas m <sup>-2</sup>
Valor-p		(***)	(ns)	(***)	(**)	(*)
CV (%)		1.94	8.6	2.8	10.5	12.1
1.	Testigo	2097 d	47.7	117.3 b	2042 c	1138 b
2.	SPT 50	2117 d	49.7	118.1 b	2390 bc	1323 ab
3.	SPT 100	2191 cd	-	-	-	-
4.	SPT 150	2289 c	48.3	120.3 b	2480 abc	1352 ab
5.	SPT 50 + SNA 86	2569 b	43.7	133.0 a	2940 ab	1656 a
6.	SPT 50 + Kieserita 55	2809 a	-	-	-	-
7.	SPT 50 + Yeso agrícola 70	2545 b	50.3	132.0 a	3059 ab	1746 a
8.	SPT 50 + Yeso agrícola 140	2769 a	48.3	132.2 a	2958 ab	1610 a
9.	Kieserita 55	2647 b	-	-	-	-
10.	Yeso agrícola 70	2606 b	43	130.4 a	2712 abc	1499 ab
11.	Yeso agrícola 140	2768 a	45.7	131.3 a	3139 a	1725 a

(\*\*\*) , (\*\*), (\*) y NS: significativo a nivel de P < 0.01, < 0.05, < 0.10, y no significativo respectivamente. Valores dentro de cada columna seguidos de igual letra no difieren entre sí a nivel de α = 0.05 según DMRT.

**Tabla 3. Concentración foliar de nutrientes en 7 tratamientos selectos de fertilización en soja. Campaña 1998/99. AER INTA Casilda, Santa Fe.**

Tratamiento y dosis kg ha <sup>-1</sup>	Contenido de nutrientes										
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	%						mg kg <sup>-1</sup>				
1. Testigo	3.4	0.45	1.3	1.7	0.20	0.18	47.1	8.8	111	63	34
2. SPT 50	3.6	0.42	1.2	1.7	0.19	0.19	46.5	9.4	119	77	31
5. SPT 50 + SNA 86	4.8	0.38	1.4	1.7	0.13	0.29	37.4	11.9	142	165	27
7. SPT 50 + Yeso agrícola 70	4.9	0.39	1.3	1.8	0.13	0.30	37.6	11.0	137	132	28
8. SPT 50 + Yeso agrícola 140	5.0	0.42	1.4	1.9	0.14	0.32	40.0	11.7	145	162	28
10. Yeso agrícola 70	4.9	0.39	1.3	1.6	0.14	0.29	39.8	11.5	144	119	27
11. Yeso agrícola 140	5.1	0.36	1.3	1.6	0.13	0.33	37.6	10.5	139	150	28

Observaciones: las celdas sombreadas en rojo corresponden a valores que están por debajo de los niveles considerados normales o de suficiencia (Correndo y García, 2012).

Por otra parte, la fertilización azufrada se relacionó con una mayor concentración foliar de S y también de N (Tabla 3), que fue aportado por la fijación biológica de nitrógeno (FBN). El tratamiento 6, que incluye la aplicación de una pequeña dosis de N no supera en su contenido al obtenido con aplicaciones de S.

La Tabla 4 informa los contenidos de aceite y proteína en base seca y el valor industrial ProFat de las muestras. La Figura 4 indica el rendimiento transformado en

equivalente de producto industrial por ha. El agregado de P, a dosis crecientes, determinó un incremento de entre 3.5 y 9.4% en el "rendimiento ProFat". Las aplicaciones de S, solas o en combinación con P produjeron incrementos de entre 25 y 38% de rendimiento industrial ProFat.

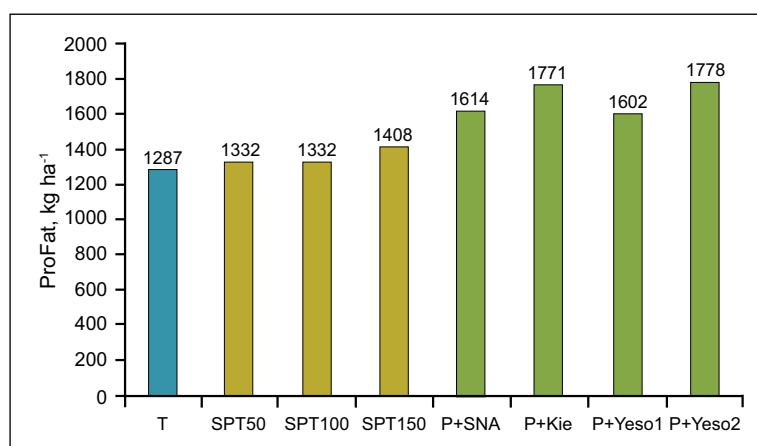
### Conclusiones

La fertilización azufrada y fósforo-azufrada produjo incrementos de rendimiento de soja y también mejoras

**Tabla 4. Calidad industrial, rendimiento de grano y rendimiento industrial por ha para los distintos tratamientos de fertilización en soja. Campaña 1998/99. AER INTA Casilda, Santa Fe.**

Tratamiento y dosis kg ha <sup>-1</sup>	Aceite BS %	Proteína BS %	ProFat %	Producto industrial kg ha <sup>-1</sup>	Diferencia con el testigo %
1. Testigo	22.18	39.19	61.37	1289 b	-
2. SPT 50	20.91	42.02	62.93	1332 b	+ 3.5
3. SPT 100	21.65	39.15	60.80	1332 b	+ 3.5
4. SPT 150	21.13	40.38	61.51	1408 b	+ 9.4
5. SPT 50 + SNA 86	20.47	42.38	62.85	1615 a	+ 25.5
6. SPT 50 + Kieserita 55	20.96	42.09	63.05	1771 a	+ 37.6
7. SPT 50 + Yeso agrícola 70	20.83	42.14	62.97	1603 a	+ 24.5
8. SPT 50 + Yeso agrícola 140	20.86	43.35	64.21	1778 a	+ 38.2
9. Kieserita 55	20.57	42.34	62.91	1665 a	+ 29.4
10. Yeso agrícola 70	21.15	41.09	62.24	1622 a	+ 26.0
11. Yeso agrícola 140	21.25	41.15	62.40	1728 a	+ 34.3

*Producto Industrial: Valores dentro de cada columna seguidos de igual letra no difieren entre sí a nivel de  $\alpha = 0.05$  según DMRT, significativo a nivel de P 0.05.*



**Figura 4. Rendimiento industrial promedio (ProFat, kg ha<sup>-1</sup>) según 8 tratamientos selectos de fertilización en soja. Campaña 1998/99. AER INTA Casilda, Santa Fe.**

en el valor ProFat de los granos cosechados, en una serie de ensayos conducidos por la AER INTA Casilda durante la campaña 1998/99 y para las condiciones presentadas.

En los últimos 15 años no ha habido investigaciones que sigan esta línea de trabajo referida a calidad según fertilización, lo cual puede ser relevante dados los resultados observados en estos ensayos.

El potencial de la fertilización en el centro sur de Santa Fe y en toda la región pampeana norte, permitiría una doble mejoría de la producción sojera. Por un lado, el incremento del rendimiento aumenta el ingreso del

productor considerando la favorable relación costo:beneficio de la técnica, mejorando el balance de nutrientes del suelo e incrementando la fijación biológica de N. Por otra parte, la fertilización podría consolidar la rentabilidad de las procesadoras de soja al permitir obtener una mayor proporción del producto industrial con el mismo volumen de molienda.

### Bibliografía

- Cordone G., C. Vidal, R. Albrecht, F. Martínez, L. Martins, H. Pescetti, G. Almada, L. Angeloni, E. Casasola, G. Cavallero, M. De Emilio, M. Gatti, G. Gerster, S. Guerra, J. Méndez, R. Paganl, J. Pabón, G. Prieto, L. Quevedo, N. Trentino, A. Rausch, A. Malmantile, J. Rossi, J. Scarel, C. Espíndola y M. Parodi. 2011. Rendimiento industrial de soja en la provincia de Santa Fe, Argentina. Actas Congreso Mercosoja 2011. Rosario, Argentina, 14-16 Septiembre 2011. ACSOJA.
- Cuniberti, M. y R. Herrero. 2013. Proteína de la Soja Argentina. Workshop "Las harinas de soja ¿pierden competitividad en el mercado?". Congreso de Aapresid 9/8/13.
- Matteo F. y J. Calzada. 2013. La caída de la proteína en soja le cuesta a Argentina 405 millones de dólares. Reporte de la Bolsa de Comercio de Rosario. Diciembre 2013. <http://www.bcr.com.ar/>