

# ¿La fertilización con fósforo y azufre en soja aumenta el porcentaje de proteína en grano?

Inés C. Davèrède\* y Fernando H. Míguez

## Introducción

La producción de soja en la Argentina alcanzó las 61 Mt en la campaña 2014/15, con un rendimiento promedio récord nacional de 3176 kg ha<sup>-1</sup> (SIIA, 2016). Más del 80% del poroto (frijol) de soja producido en Argentina se industrializa y se exporta principalmente como aceite y harinas proteicas; constituyéndose en el tercer exportador mundial de poroto y el primer exportador de harina y de aceite.

El tenor proteico de la soja cultivada en Argentina ha descendido en los últimos años, por tanto también ha descendido el tenor proteico de las harinas que de ella se obtienen. Esto ha generado descuentos en el precio y hasta rechazo de embarques por no llegar al mínimo de proteína para ser clasificadas como Hipro. Por ello le resulta más difícil a la industria local competir con otros orígenes que cumplen fácilmente con los estándares internacionales para tenor proteico. Según estudios de la Bolsa de Comercio de Rosario (BCR) (Matteo y Carranza, 2014), el costo para la industria, derivado del bajo tenor proteico en el poroto, llegó a US\$ 405 millones en la campaña 2012/13.

La concentración de aceite y proteína en soja generalmente guardan una relación inversa entre sí y dependen principalmente del genotipo, del ambiente radiativo y térmico durante el llenado de las semillas, de la disponibilidad de nutrientes y del rendimiento del cultivo (Kane et al., 1997; Dardanelli et al., 2006; Thibodeau y Jaworski, 1975; Cuniberti y Herrero, 2007; Rotundo y Westgate, 2009; Cuniberti et al., 2013; Martínez y Cordone, 2015).

Numerosos estudios han encontrado respuesta en rendimiento a la aplicación de fósforo (P) y azufre (S) cuando los niveles disponibles en el suelo son bajos (Martínez y Cordone, 1998; 2015; Díaz Zorita et al., 2000; Gutiérrez-Boem et al., 2006; García et al., 2010), sugiriéndose umbrales de respuesta de 14 y 10 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. En algunos ensayos se han encontrado efectos positivos de la fertilización con P y S sobre el tenor proteico (Soldini et al., 2009; Martínez y Cordone, 2015), mientras que en otros no (EleMBERG et al., 2006). Hay muy poca información local respecto del efecto de la fertilización con P y S sobre la calidad del grano de soja. Nuestra hipótesis es que la fertilización PS aumenta los rendimientos y el porcentaje de proteína, pero una dosis doble de P y S tendrá mayores respuestas con respecto al testigo que una dosis simple de P y S. En este trabajo se evaluó el efecto de tres tratamientos: la fertilización pre-siembra con P solamente, con P y S y con una doble dosis de P y S sobre el rendimiento y la concentración de

proteína y aceite en el grano de soja en 20 localidades de la región pampeana. También se evaluó la relación entre las respuestas y las variables edáficas y climáticas, así como la relación entre la proteína y el aceite para cada variedad utilizada.

## Materiales y métodos

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con 4 repeticiones, replicado en 10 sitios en la campaña 2013/14 y otros 10 sitios en la campaña 2014/15. Salvo la localidad de Gualeguay, en la provincia de Entre Ríos y de Zavalla, en Santa Fe, el resto de los ensayos se llevaron a cabo en la provincia de Buenos Aires (**Tabla 1**).

La campaña 2013/14 se caracterizó por presentar excesivas precipitaciones, lo que atrasó y dificultó la siembra y la implantación, y disminuyó la radiación interceptada por el cultivo. La campaña de soja en 2014/15 se caracterizó por presentar condiciones climáticas muy favorables durante la mayor parte del ciclo del cultivo, permitiendo altos rendimientos en grupos de madurez cortos y un crecimiento vegetativo algo excesivo en los grupos de madurez largos (**Tabla 1**). Al no poder repetir las mismas localidades para cada año, el efecto año se incluyó dentro de la variabilidad atribuida a la localidad.

El 70% de las localidades registraron niveles menores de 15 mg kg<sup>-1</sup> de P Bray-1, el 95% menores de 10 mg kg<sup>-1</sup> de S-SO<sub>4</sub> y el 45% menores de 3% de materia orgánica (MO); el pH osciló entre 5.7 (Gualeguay) y 7.2 (Pringles II) y el contenido de N-NO<sub>3</sub> a 0-60 cm varió entre 7 (Pringles II) y 146 kg ha<sup>-1</sup> (Azul) (**Tabla 1**).

Los análisis de proteína y aceite se realizaron en tres repeticiones de cada localidad salvo Carmen de Areco, quedando 19 localidades para proteína y aceite, y 20 para rendimiento. Los tratamientos fueron los siguientes: T1) Testigo sin fertilización; T2) 20-22 kg P ha<sup>-1</sup>; T3) 20-22 kg P ha<sup>-1</sup> + 12-13 kg S ha<sup>-1</sup>; T4) 40-44 kg P ha<sup>-1</sup> + 24-26 kg S ha<sup>-1</sup>. La dosis varió levemente según la campaña.

Se sembraron distintas variedades tratadas con fungicidas curasemilla e inoculadas con *Bradyrhizobium japonicum* (salvo Pringles I que no fue inoculada) a una densidad de 300 000 -semillas ha<sup>-1</sup>. Los tratamientos se dispusieron en parcelas de 2 x 5m. Se realizó un estricto control de malezas, insectos y enfermedades. Antes de la siembra, se tomaron muestras de suelo de 0-20 y de 20-40 cm de profundidad y se realizaron análisis de pH (Peech, 1965), humedad, conductividad eléctrica (Allison et al., 1977), materia orgánica (Nelson y Sommers, 1982), cationes intercambiables (Richter et al., 1982), P extractable según Bray y Kurtz (1945) y cuantificación colorimétrica según

\* Facultad de Ciencias Agrarias de la Pontificia Universidad Católica Argentina (UCA). Buenos Aires, Argentina  
Autor de contacto. Correo electrónico: inesdaverede@gmail.com

**Tabla 1. Variedades de soja utilizadas en cada localidad y propiedades edáficas al momento de la siembra. Salvo N-NO<sub>3</sub>, el resto de los análisis se evaluaron a una profundidad de 0 a 20 cm.**

Localidad-año	Variedad	Proteína	Aceite	Rendim.	N-NO <sub>3</sub>	pH	MO	P Bray-1	S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Precipitaciones	
		Testigo*	Testigo*	Testigo	(0-60cm)					O+N+D	E+F+M
		%	%	---- kg ha <sup>-1</sup> ----			%	---- mg kg <sup>-1</sup> ----		----- mm-----	
Azul 2013	DM 3810	36.4	23.2	3910	146	6	6	5	4.9	162	414
Carmen de Areco 2013	DM 4670	N/D	N/D	2840	92	6.5	2	15	2.8	334	730
Daireaux 2013	NA 5009	39.1	21.7	4784	46	6.6	2.5	9	2.2	228	278
Gualeguay 2013	NA 5009	39.3	21.7	3434	78	5.7	3.2	7	3.8	281	633
Mercedes 2013	DM 4200	38.9	21.3	3873	79	6.5	3.6	25	5.8	249	592
Pehuajó 2013	DM 4800	38.1	24.3	2805	16	6.4	1.9	12	2	133	246
Tapalqué LT 2013	DM 4210	37.1	22.4	3311	84	6.3	5.3	5	3.3	194	328
Tapalqué EC 2013	DM 3810	34.5	24.3	3669	141	6	3.8	14	3.5	173	273
Tejedor 2013	DM 3810	35.8	24.1	3586	16	6.4	1.9	12	2	205	370
Villegas 2013	DM 3810	35.5	24.6	4702	25	6.3	2.2	11	5.6	417	375
Zavalla 2013	DM 3810	33.9	22.9	3095	70	N/D	3.2	28	N/D	332	692
America 2014	HiPro 3010	44.3	18.4	4057	80	6	2.4	21	3.3	151	123
Casbas 2014	DM 4670	37.1	24.7	4050	48	6.4	1.7	13	4.5	253	182
Chacabuco 2014	DM 4612	34.6	24.9	6499	82	6	3.8	7	5.4	363	279
Navarro 2014	FN 4.35	37.6	23.3	5138	56	6.1	3.5	4.8	4.6	516	275
Pehuajó 2014	ACA 4550	35.6	24.8	4038	96	6.4	2.6	8	3.7	128	114
Pringles I 2014	SPS 3900 Plenus	35.9	24.3	3339	39	7.2	3.2	16	4.9	365	454
Pringles II 2014	SPS 3900	37.3	22.7	2329	7	6.6	4.8	21	11.1	365	270
San Pedro 2014	NA 5009	36.8	23.8	3751	35	6.1	3.1	6	2.6	363	361
Trenque Lauquen 2014	DM 4712	36.2	21.7	2759	78	6.6	2.5	11	2.1	228	174

\* Expresado en base seca (0% de humedad); N/D: Dato no disponible.

Murphy y Riley (1962), zinc extractable (Lindsay y Norvell, 1978), capacidad de intercambio catiónico, nitratos (Marbán, 2005) y sulfatos -extracción con acetato de amonio pH 5, relación suelo: solución 1:5 con 1 hora de agitación y cuantificación turbidimétrica según Lisle (1994).

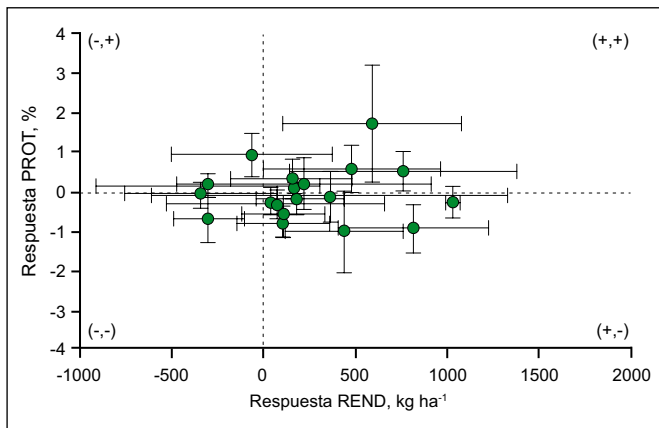
En el año 2013 se aplicó fosfato monoamónico (11-52(22P)-0) como fuente de P y Microessentials® como fuente de P y S (12-41(18P)-0-10S). En el año 2014 se aplicaron los fertilizantes superfosfato triple de calcio (0-46(20P)-0) como fuente de P y superfosfato simple (0-20(9P)-0-14S) como fuente de P y S. Los fertilizantes se aplicaron al voleo un mes y medio antes de la siembra. Se sembraron variedades de ciclo III hasta ciclo V (**Tabla 1**). En madurez comercial del cultivo, se cosecharon 2 m<sup>2</sup> de cada parcela cortando las plantas al ras del suelo, las plantas se terminaron de secar al sol y se trillaron con una trilladora estacionaria. Antes de pesar, se midió la humedad con un higrómetro y se pesaron las muestras para calcular el rendimiento, luego se contaron 3 grupos de 200 semillas y se pesaron por separado para calcular

el peso de las semillas. Los rendimientos se expresaron con 13% de humedad. Se tomaron muestras de 500 g de semilla de cada parcela cosechada y se analizaron para proteína y aceite en el laboratorio de la BCR, expresándose los resultados sobre base seca.

Para el análisis estadístico se utilizó un modelo mixto para detectar diferencias entre tratamientos sobre rendimiento y proteína (SAS, 1992) que consideró varianzas heterogéneas entre sitios. Se realizaron contrastes pre-planificados para calcular las diferencias entre tratamientos de interés para cada variable y su significancia estadística, y para determinar el error estándar de cada promedio, que se incluyó en las figuras.

## Resultados

La interacción localidad x tratamiento fue significativa para proteína (P = 0.06) y para aceite (P = 0.016). O sea que la respuesta varió según la localidad, mientras que los efectos principales tratamiento y localidad fueron significativos para rendimiento (P < 0.01), pero no así su interacción (P = 0.18).



**Figura 1. Respuesta en proteína (PROT, %) vs. respuesta en rendimiento (REND, kg ha<sup>-1</sup>) en grano del cultivo de soja a la aplicación al voleo de 20 kg P ha<sup>-1</sup> pre-siembra. Cada punto representa el promedio y el error estándar de una localidad en la región pampeana en las campañas 2013/14 y 2014/15.**

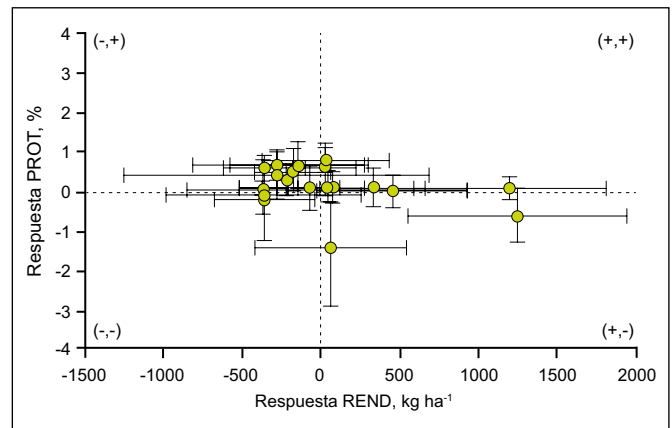
El rendimiento de las parcelas testigo (T1) varió entre 2329 kg ha<sup>-1</sup> en Pringles y 6499 kg ha<sup>-1</sup> en Chacabuco. El porcentaje de proteína en las parcelas testigo osciló entre un promedio de 33.9% en Zavalla y 45.2% en América, donde se sembró una variedad Hipro (alta proteína). La diferencia registrada en el nivel de proteína en el T1 en América, única localidad donde se sembró una variedad Hipro, respecto de las demás localidades, indica que el genotipo podría ser un factor importante y debería ser considerado en próximas experiencias. El porcentaje de aceite en las parcelas testigo varió entre 18.4% (Hipro) y 24.9%, promediando 23.1%. Sólo cinco localidades mostraron diferencias significativas en porcentaje de aceite entre tratamientos, pero no hubo congruencia entre las respuestas, aumentando en algunas localidades y descendiendo en otras localidades con distintos tratamientos.

#### Efecto del P sobre el rendimiento y el porcentaje de proteína

La respuesta promedio en rendimiento a la aplicación P fue de +228 kg ha<sup>-1</sup> para todos los sitios ( $P < 0.05$ ), mientras que la respuesta en proteína varió entre -1% y +1.75% con una gran dispersión en las respuestas y sin significancia estadística en general (Figura 1). No hubo relación entre la respuesta en rendimiento a la aplicación de P y la respuesta en proteína (Figura 1).

#### Efecto del S con base de P sobre el rendimiento y el porcentaje de proteína

La respuesta en rendimiento a la aplicación de S con una base de P (Tratamientos PS vs. Tratamiento P) fue muy variable, desde -362 hasta +1257 kg ha<sup>-1</sup>. En San Antonio de Areco se produjo una merma de 181 kg ha<sup>-1</sup> ( $P < 0.1$ ), mientras que en Tapalqué (EC) y Chacabuco los incrementos superaron los 1200 kg ha<sup>-1</sup> ( $P < 0.1$ ). En Mercedes, el incremento fue significativo pero promedió solamente 81 kg ha<sup>-1</sup>. El resto de las respuestas no resultaron significativas. La respuesta en proteína a la aplicación de este nutriente varió entre -1.4% y +0.8%.



**Figura 2. Respuesta en proteína (PROT, %) vs. respuesta en rendimiento (REND, kg ha<sup>-1</sup>) en grano del cultivo de soja a la aplicación al voleo de 13 kg S ha<sup>-1</sup> pre-siembra. Cada punto representa el promedio y el error estándar de una localidad en la región pampeana en las campañas 2013/14 y 2014/15.**

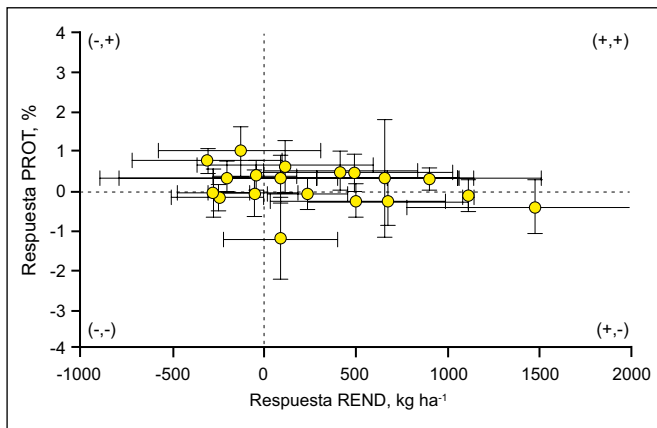
Sólo hubo respuestas significativas en proteína a la aplicación de S en 15% de los sitios: Tejedor (2013), Navarro y San Pedro (2014); éstas fueron positivas y promediaron +0.69% ( $P < 0.1$ ). La respuesta en proteína a la aplicación de S no estuvo asociada a la respuesta en rendimiento (Figura 2).

#### Efecto del P y S sobre el rendimiento y el porcentaje de proteína

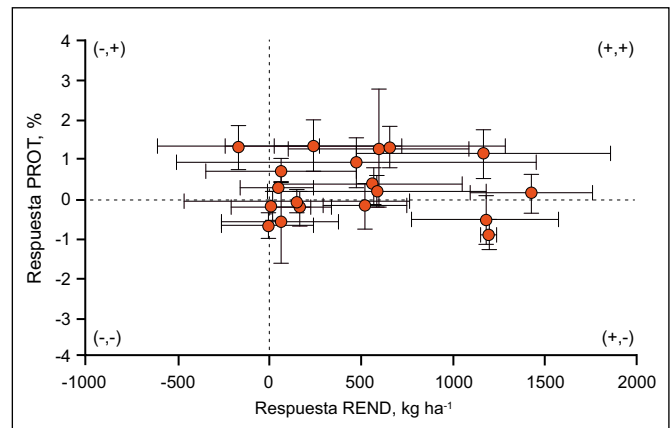
La respuesta en rendimiento a la aplicación conjunta de P y S contra el testigo varió entre -307 y 1472 kg ha<sup>-1</sup>, resultando significativos los contrastes para Mercedes y Tapalqué (EC) que superaron los 1100 kg ha<sup>-1</sup> de respuesta en rendimiento. La respuesta promedio en rendimiento a la aplicación P + S fue de 262 kg ha<sup>-1</sup> para todos los sitios ( $P < 0.05$ ), mientras que la respuesta en proteína varió entre -1.23% y 1.03%, siendo significativa sólo en Casbas y San Pedro donde el aumento promedió 0.88 puntos porcentuales. En estas localidades, la respuesta en rendimiento no difirió de cero. No hubo relación entre la respuesta en rendimiento y la respuesta en proteína a la aplicación conjunta de P y S (Figura 3).

#### Efecto de una doble aplicación de P y S sobre el rendimiento y el porcentaje de proteína

La respuesta promedio en rendimiento a la aplicación una doble dosis de P + S fue de 460 kg ha<sup>-1</sup> ( $P < 0.001$ ) sobre el testigo y 198 kg ha<sup>-1</sup> cuando fue contrastado contra la simple dosis de P + S ( $P = 0.07$ ). La respuesta en proteína de la doble dosis respecto del testigo varió entre -0.91% y 1.3%, siendo significativa en 7 localidades, 5 de las cuales promediaron un aumento significativo de 1.2% (26% de los sitios) y 2 de ellas promediaron una merma de 0.81% (11% de los sitios). No hubo relación entre la respuesta en rendimiento y la respuesta en proteína a la aplicación conjunta de una doble dosis de P y S (Figura 4). La doble dosis de P y S claramente fue la que produjo las mayores respuestas en rendimiento y proteína.



**Figura 3.** Respuesta en proteína (PROT, %) vs. respuesta en rendimiento (REND, kg ha<sup>-1</sup>) en grano (eje y, puntos porcentuales) del cultivo de soja a la aplicación al voleo de 21 kg P ha<sup>-1</sup> y 13 kg S ha<sup>-1</sup> pre-siembra. Cada punto representa el promedio y el error estándar de una localidad en la región pampeana en las campañas 2013/14 y 2014/15.



**Figura 4.** Respuesta en proteína (PROT, %) vs. respuesta en rendimiento (REND, kg ha<sup>-1</sup>) en grano (eje y, puntos porcentuales) del cultivo de soja a la aplicación al voleo de 42 kg P ha<sup>-1</sup> y 26 kg S ha<sup>-1</sup> pre-siembra, comparado con el testigo sin fertilización. Cada punto representa el promedio y el error estándar de una localidad en la región pampeana en las campañas 2013/14 y 2014/15.

### Relación entre respuesta en rendimiento y proteína y variables edáficas y climáticas

En general, no se observó relación entre la respuesta en rendimiento y proteína a P y S y las variables edáficas y/o las precipitaciones durante el ciclo del cultivo (datos no mostrados). La única relación se encontró entre la respuesta en rendimiento a la doble dosis de P y S y el potencial productivo del ambiente, medido como el rendimiento promedio de cada sitio. La soja respondió positivamente a la aplicación de una doble dosis de P y S en mayor medida en ambientes de alta producción (**Figura 5**). Esto es entendible ya que mayores rendimientos tienen mayores requerimientos de P y S.

### Relación entre proteína y aceite para cada variedad

La relación entre el porcentaje de proteína y aceite fue negativa (**Figura 6**). Hubo una clara diferencia en los porcentajes de proteína y aceite para las distintas variedades. En algunas variedades, como la DM 3810, se obtuvieron porcentajes de proteína que promediaron 35.2% (desvío estándar = 0.99), mientras que la variedad NA 5009 promedió 38.4% (desvío estándar = 1.4). El resto de las variedades mostraron porcentajes variables, promediando 37% (desvío estándar = 1).

### Discusión

La fertilización fosforada incrementó los rendimientos en forma significativa, numerosos ensayos demuestran respuestas positivas a la fertilización fosfatada en la región pampeana argentina (Bermúdez et al., 2014; Boga y Ramírez, 2014; Martínez y Cordone, 1998; 2015; Díaz Zorita et al., 2000; Gutiérrez-Boem et al., 2006; García et al., 2010). Sin embargo, no hubo una relación clara con el nivel de P Bray-1 en el suelo, probablemente debido a la gran variabilidad entre las localidades, que abarcan desde Gualeguay, Entre Ríos, hasta Casbas, Buenos Aires, con condiciones muy distintas de suelos, temperaturas y precipitaciones que seguramente influyeron más en

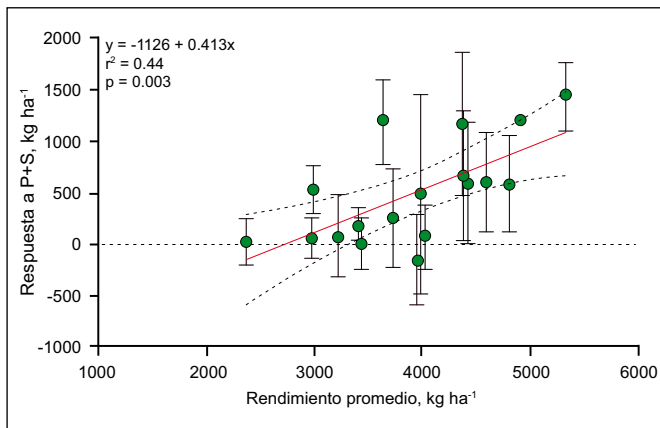
la respuesta que el nivel de P en el suelo. Bermúdez et al. (2014) tampoco pudieron explicar la respuesta en rendimiento con el nivel de P extractable en el suelo en una red de 12 ensayos que abarcaba localidades en Santa Fe, Buenos Aires y Córdoba.

En contraste con rendimiento, la fertilización con P no generó cambios significativos en los niveles de proteína ya que los aumentos en proteína no fueron significativos. Esto también fue observado por Martínez y Cordone (2015) en una red de 10 ensayos en la región centro-sur de la provincia de Santa Fe. Haq y Mallarino (2005) realizaron 35 ensayos de respuesta a P en Iowa y observaron aumentos en el porcentaje de proteína en sólo el 14% de los sitios.

La fertilización con 12-13 kg ha<sup>-1</sup> de S con una base de 20-22 kg de P ha<sup>-1</sup>, al contrario de lo hipotetizado, no aumentó los rendimientos en forma significativa, a pesar de que los niveles de S-sulfato hallados superficialmente (0-20 cm) estuvieron en su gran mayoría por debajo de 10 mg kg<sup>-1</sup>, valor considerado como umbral de respuesta (García y Ciampitti, 2009). Lo mismo fue observado por Boga y Ramírez (2014) en una red de 12 ensayos en la región centro-norte pampeana.

La hipótesis de que la fertilización con S aumentaría la proteína se cumplió solamente en 3 de las 19 localidades en forma significativa. Esto no era de esperar ya que el S es un componente importante en varios aminoácidos como la cisteína y la metionina.

La fertilización conjunta con P y S aumentó el rendimiento casi de la misma forma en que lo aumentó el P sólo ya que el S no aumentó los rendimientos. Esto fue observado también por Boga y Ramírez (2014). La respuesta en proteína fue muy variable y sólo aumentó en forma significativa en dos localidades de un total de 19. Martínez y Cordone (2015) observaron aumentos en proteína en siete de 11 sitios evaluados cuando aplicaron conjuntamente P y S, a dosis similares a nuestros ensayos pero con grupos de madurez más largos (VI corto). Por



**Figura 5. Respuesta en rendimiento (eje y, kg ha<sup>-1</sup>) a la aplicación al voleo de 42 kg P ha<sup>-1</sup> y 26 kg S ha<sup>-1</sup> pre-siembra en función del rendimiento promedio de cada sitio del cultivo de soja. Cada punto representa el promedio y el error estándar de una localidad en la región pampeana en las campañas 2013/14 y 2014/15. Las líneas punteadas representan el intervalo de confianza del 95%. La localidad de Chacabuco no se incluyó en esta regresión por presentarse como un valor extremo.**

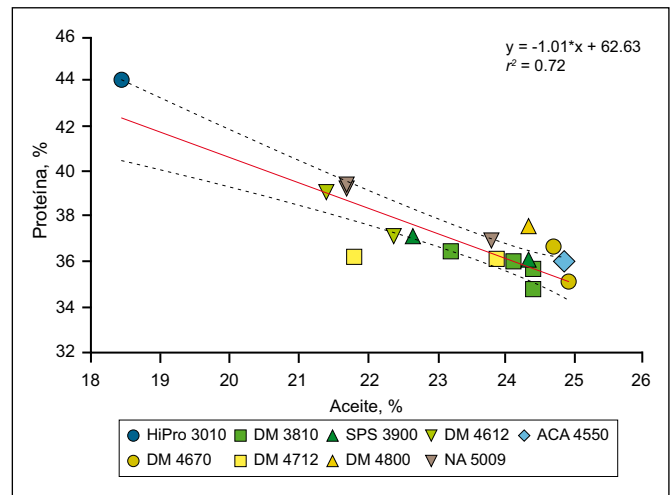
otro lado, Soldini et al. (2009) observaron un aumento en el porcentaje de proteína de 0.5 puntos porcentuales cuando aplicaron 7 kg P y 9 kg S ha<sup>-1</sup> como superfosfato simple a un cultivo de soja en la línea de siembra, mientras que no observaron aumentos en el rendimiento.

La hipótesis de que la doble dosis de P y S aumentaría en mayor medida el rendimiento que la dosis simple se cumplió, pasando de una eficiencia de uso de P (EUP) de 12 kg grano kg P<sup>-1</sup> con la primera dosis de P y S a 9 kg grano kg P<sup>-1</sup> con la segunda dosis. Bermúdez et al. (2014), cuando compararon una dosis simple de P entre 8 a 15 kg ha<sup>-1</sup> con una doble dosis de P, también observaron aumentos significativos en rendimiento, con descensos en la EUP. Las EUP encontradas por Bermúdez et al. (2014) cuadruplicaron las observadas por nosotros, probablemente porque esos ensayos se realizaron en suelos más pobres (% MO < 3%) y por las menores dosis aplicadas.

La hipótesis de que la doble dosis de P y S aumentaría en mayor medida la proteína que la simple dosis también se cumplió, ya que el aumento fue significativo en el 26% de las localidades en 1.2%, comparado a un aumento significativo en sólo el 11% de las localidades con la aplicación de una dosis simple de P y S en 0.88%.

Hubo un fuerte componente genético en el porcentaje de proteína. Una misma variedad, como DM 3810, mantuvo un bajo nivel de proteína en las cinco localidades ensayadas, mientras que NA 5009 mantuvo mayores niveles de proteína en las tres localidades ensayadas. No hubo asociación entre los niveles de proteína y los rendimientos, y el porcentaje de aceite no fue modificado en forma consistente por ningún tratamiento.

Tal como sugieren Soldini et al. (2009), en la variación en la expresión del contenido de proteína en grano intervienen variables como: el potencial de rendimiento



**Figura 6. Relación entre el porcentaje de proteína y aceite (sobre base seca) para cada variedad. La variedad HiPro 3010 corresponde a una variedad seleccionada para un alto porcentaje de proteína.**

de granos, la capacidad genética de síntesis y acumulación de proteína de los cultivares, los niveles de P en el suelo y las interacciones entre estos factores. En nuestro trabajo, la aplicación de una doble dosis de P y S aumentó la concentración de proteína en 5 localidades y este aumento no estuvo asociado a una disminución en el rendimiento ni al nivel de P extractable en el suelo.

## Conclusiones

La fertilización pre-siembra con P, P + S y una doble dosis de P + S aumentaron los rendimientos en forma significativa, promediando 228, 262 y 460 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. La aplicación de S no modificó los rendimientos en forma significativa cuando se analizaron todas las respuestas en conjunto.

La respuesta en proteína a la aplicación de P y S con sus simples y dobles dosis resultó muy variable y la interacción localidad x tratamiento resultó significativa. Sólo la doble dosis de P y S logró que 5 de los 19 sitios tuvieran un aumento significativo del nivel de proteína de 1.2 puntos porcentuales.

La fertilización con una doble dosis de P y S fue la que no sólo produjo la mayor respuesta en rendimiento y en forma consistente en ambientes de rendimientos mayores a 4000 kg ha<sup>-1</sup>, sino la que con mayor frecuencia aumentó los porcentajes de proteína (26% de los sitios). Esta técnica permitiría mejorar los balances de P y S en el suelo, incrementar los beneficios económicos al productor y en algunos casos aumentar la concentración de proteína de la semilla de soja, beneficiando a la industria.

## Agradecimientos

Agradecemos a Bunge de Argentina S.A. por proveer los fertilizantes y por la ayuda financiera para análisis de suelos y viáticos, a la Bolsa de Comercio de Rosario (BCR) por los análisis de proteína y aceite y a los alumnos de la Facultad de Ciencias Agrarias – UCA: M. Azcueta, N. Copello, M. Fossati, A. Giordano, M. González Labrousse,

F. Paz, M. Pera, L. Ripa, N. Mihura, J. M. Squirru, S. Caride, D. García Álvarez, A. Pastrone, R. Gómez, S. Torresel, A. Fitte, P. Bastard, L. Garrahan y C. Ressler que condujeron los ensayos a campo como parte de su trabajo final de graduación.

## Bibliografía

- Allison, L.E., L. Bernstein, C.A. Bower, J.W. Brown, M. Fireman, J.T. Hatcher, H.E. Hayward, G.A. Pearson, R.C. Reeve, L.A. Richards, y L.V. Wilcox. 1977. Métodos para caracterizar un suelo en Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Capítulo 6. L.A. Richards (Ed). Editorial Limusa México. 172 pp.
- Boga, L. y H. Ramírez. 2014. Efecto de la fertilización con fósforo, azufre y zinc en el cultivo de soja en la región pampeana norte de Argentina. IAH 16:17-20.
- Bermúdez, M., M. Díaz-Zorita, G. Espósito, G. Ferraris, G. Gerster, M. Saks, F. Salvaggiotti, y L. Ventimiglia. 2014. Fertilización con fósforo en secuencias continuas de soja. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 15:2-5.
- Bray, R.H., y L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Cuniberti, M., y R. Herrero. 2007. Factores ambientales y genéticos que influyen en el contenido de proteína de la soja argentina. *Lab. de calidad Industrial de Cereales y Oleaginosas de la EEA-INTA Marcos Juárez*, sept. 2006.
- Cuniberti, M., R. Herrero, L. Mir, O. Berra, y S. Macagno. 2013. Rendimiento y calidad comercial e industrial de la soja en la región Núcleo-Sojera. Cosecha 2012-2013. Informe Actualización Técnica Nro. 29. INTA-EEA Marcos Juárez, Cba.
- Dardanelli, J.L., M. Balzarini, M.J. Martínez, M. Cuniberti, S. Resnik, S.F. Ramunda, R. Herrero, y H. Baigorri. 2006. Soybean maturity groups, environments, and their interaction define mega-environments for seed composition in Argentina. *Crop Science* 46:1939-1947.
- Díaz 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* 17:62-65.
- Elemberg, T.E., F.H. Gutierrez Boem, y P. Prystupa. 2006. Fertilización azufrada y fosforada como determinante de la calidad de los granos de soja. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta, Septiembre.
- García, F.O., y I.A. Ciampitti. 2009. La Nutrición del cultivo de Soja. En: García, F.O., I.A. Ciampitti, y H. Baigorri (Eds). *Manual de Manejo del Cultivo de Soja*. Agroeditorial Alejandro Matthies. Buenos Aires, Argentina pp. 33-73.
- García, F., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, I. Ciampitti, A. Correndo, F. Bauschen, A. Berardo, y N. Reussi Calvo. 2010. La red de nutrición de la región CREA Sur de Santa Fe. Resultados y conclusiones de los primeros diez años 2000-2009.
- Gutiérrez Boem, F., P. Prystupa, y C.R. Alvarez. 2006. Comparación de dos redes de ensayos de fertilización fosforada de soja en la región pampeana. *Informaciones Agronómicas* No. 31.
- Haq, M.U., y A.P. Mallarino. 2005. Response of soybean grain oil and protein concentrations to foliar and soil fertilization. *Agron. J.* 97:910-918 doi:10.2134/agronj2004.0215
- Kane, M.V., C.C. Steele, L.J. Grabau, C.T. Mackown, y D.F. Hildebrand. 1997. Early-maturing soybean cropping system : III. Protein and oil contents and oil composition. *Agronomy journal* 89:464-469.
- Lindsay, W.L., y W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:421-428.
- Lisle, L., R. Lefroy, G. Anderson, y G. Blair. 1994. Methods for the measurement of sulphur in plant and soils. *Sulphur in Agriculture*. 18:45-54.
- Marbán, L. 2005. Métodos de extracción y determinación de nitratos en suelos. Parte (II). En *Tecnologías en análisis de suelos*. Capítulo V. L. Marbán y S. Ratto (Eds). Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS). pp. 131-138.
- Martinez, F., y G. Cordone. 1998. Resultados de ensayos de fertilización azufrada en soja. *Para Mejorar la Producción* 8:53-57.
- Martinez, F., y G. Cordone. 2015. Impacto de la fertilización en soja sobre la calidad del grano. IAH 18:17-21.
- Matteo, F., y J. Carranza. 2014. La caída de la proteína en soja le cuesta a Argentina 405 millones de dólares. Bolsa de Comercio de Rosario. pdf disponible en [www.bcr.com.ar](http://www.bcr.com.ar)
- Murphy, J., y H.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27:31-36.
- Nelson, D.W., y E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A.L., (ed). *Methods of Soil Analysis, Part 2*. Second edition. *Agronomy* 9:534-579.
- Peech, M. 1965. Method for soil pH in water. Hydrogen-ion activity. En: *Method of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Ed. Black, CA. 915-926.
- Richter, M., M. Conti, y G. Maccarini. 1982. Mejoras en la determinación de cationes intercambiables y capacidad de intercambio catiónico en los suelos. *Rev. Fac. de Agronomía* 3:145-155.
- Rotundo, J.L., y M.E. Westgate. 2009. Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition. *Field Crops Research* 110:147-156.
- SIIA, 2016. Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Ministerio de Agroindustria, Presidencia de la Nación. <http://www.sii.gov.ar/>. 26 febrero 2016.
- Soldini, D.O., L. A. Salines, y A. Heredia. 2009. Fertilización y contenido de proteína en soja. EEA INTA Marcos Juárez.
- Thibodeau, P.S., y E.G. Jaworski. 1975. Patterns of nitrogen utilization in the soybean. *Planta* 127:133-147.\*