

## FERTILIZACIÓN DE SOJA. CERRANDO BRECHAS DE RENDIMIENTO MEDIANTE ESTRATEGIAS EN EL CORTO Y MEDIANO PLAZO

**Gustavo Néstor Ferraris**

INTA EEA Pergamino. Av Pte. Dr. Arturo Frondizi km 4,5. 2700 WAA Pergamino, Buenos Aires.

[ferraris.gustavo@inta.gob.ar](mailto:ferraris.gustavo@inta.gob.ar)

### La nutrición del cultivo de soja y las brechas de rendimiento

La soja es el cultivo más importante de nuestro país, cubriendo una superficie implantada superior a los 20 millones de hectáreas, lo que representa un 53% de los suelos agrícolas (SIIA, 2016). En este cultivo, el potencial genético difiere del alcanzado por los mejores productores i.e. en los concursos de rendimiento se alcanzaron de alrededor de 7000 kg ha<sup>-1</sup> (AIANBA, concursos de máximos rendimientos), y más aun de la media nacional (SIIA, 2016).

En ausencia de limitantes, el rendimiento depende la oferta de radiación solar y temperatura ambiente, que ofrece un ambiente en particular. Sin embargo, en la práctica, existen recursos limitantes (agua y nutrientes) y factores que reducen el rendimiento (adversidades bióticas y abióticas) (Rabbinge, 1993; Monzón, 2015). La adecuada sincronización ambiente-cultivar-manejo es decisiva para explicar los rendimientos máximos que se logran hoy en la Argentina (Rossi, 2013). Dentro de las variables de manejo, la nutrición es un aspecto relevante, puesto que la fertilidad de los suelos ha sufrido un notable deterioro en los últimos años. Estrategias de corto, mediano y largo plazo logran revertir esta tendencia (Ferraris et al., 2014 a; b; 2015). En un experimento conducido en la EEA Pergamino durante la campaña 2012/13, se cuantificó la reducción de rendimiento cuando al óptimo productivo se le restaba un factor (Figura 1), en fechas de siembra tempranas -inicios de noviembre- y tardías -inicios de diciembre-. En el mismo se comprobó que la nutrición era uno de los aspectos más relevantes para constituir la brecha productiva entre los rendimientos actuales y los alcanzables (Figura 1). El elemento más importante resultó ser el fósforo (P). Cuando se suprimió la aplicación de este nutriente, la reducción de rendimiento alcanzó a 234 y 407 kg ha<sup>-1</sup>, para la fechas de siembra temprana y tardía, respectivamente (Figura 1). En la fecha de siembra tardía, la ausencia de microelementos originó una disminución importante, de 304 kg ha<sup>-1</sup>. Por el contrario, la contribución de azufre (S) resultó más importante en siembras tempranas.

Un componente igualmente importante sería la incorporación de bacterias fijadoras de nitrógeno (N) de la especie *Bradyrhizobium japonicum* mediante inoculantes apropiados. En el experimento se evaluó la caída de rendimiento ocurrida por la supresión de tratamientos de semillas, que incluyeron inoculante, fungicida e insecticida. La misma alcanzó un rango de 253 a 273 kg ha<sup>-1</sup>, según fecha de siembra. Se asume que una parte sustancial de esta diferencia se debe a la ausencia de bacterias fijadoras de N.

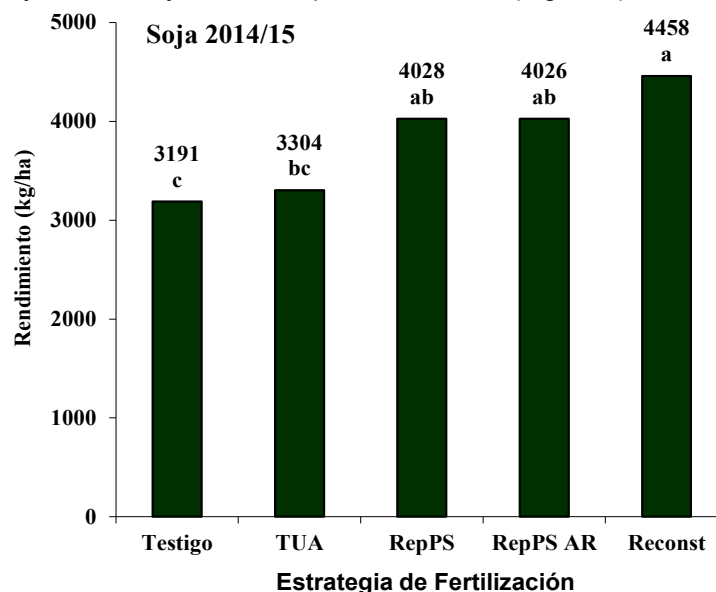
Cultivo	FS Temprana	FS Tardía
Base (DM4612 Potencial)	5523 kg/ha	4565 kg/ha
Genética (DM4670) AT	- 617 kg/ha	- 468 kg/ha
Densidad (30 a 20 pl/m <sup>2</sup> )	- 281 kg/ha	- 210 kg/ha
Micronutrientes	- 102 kg/ha	- 304 kg/ha
Azufre	- 154 kg/ha	- 16 kg/ha
Fósforo	- 234 kg/ha	- 407 kg/ha
Fungicida foliar	- 240 kg/ha	- 380 kg/ha
TS: Inoc + FgS + InsecS	- 253 kg/ha	- 273 kg/ha
<b>BRECHA TOTAL</b>	<b>1073 kg/ha</b>	<b>956 kg/ha</b>

**Figura 1.** Reducción de rendimiento y brecha total por restricción tecnológica a través de la introducción de factores limitantes, con referencia a un escenario de alta tecnología, con todos los factores de producción ajustados.

**Fertilización en el largo plazo. Efecto sobre los rendimientos de soja.**

A nivel productivo, las deficiencias de N, P y S no ocurren de manera aislada sino que se combinan de diversas maneras, por lo que es necesario evaluar integralmente la respuesta a la fertilización y conocer su efecto sobre la fertilidad química de los suelos. La mayor parte de los ensayos sobre fertilización fosforada ponderan el efecto de los nutrientes en un cultivo puntual (Johnston & Keith Syers, 2009; Mallarino y Prater, 2007). Sin embargo, por su fuerte interacción con los iones y coloides del suelo, el P tiene una baja eficiencia de recuperación en el corto plazo (Ferraris et al., 2015; Rubio et al., 2008), lo que determina su residualidad en el tiempo (Ciampitti, 2009; Ferraris et al., 2015; Messiga et al., 2010). Por este motivo, los ensayos de una campaña subestiman el efecto favorable de una adecuada estrategia de fertilización, mientras que los experimentos de larga duración permiten cuantificar integralmente un proceso de deterioro o construcción de fertilidad en el tiempo.

Desde la campaña 2006/07 se conduce en la localidad de Arribeños –General Arenales, Bs. As.- un experimento de larga duración destinado a evaluar 5 estrategias de fertilización, desde un control sin fertilizar hasta un esquema de reconstrucción de nutrientes. Los fertilizantes en todos los casos fueron aplicados a la siembra del cultivo, en cobertura total. Anualmente, se determinaron diferencias significativas en los rendimientos de al menos un tratamiento entre 2006/07 y 2014/15 ( $P < 0,05$ ). Nueve años después, la soja de primera del último ciclo alcanzó rendimientos superiores en T5 respecto de T1 y T2, y de T3, T4 y T5 en comparación con T1 (Figura 1).

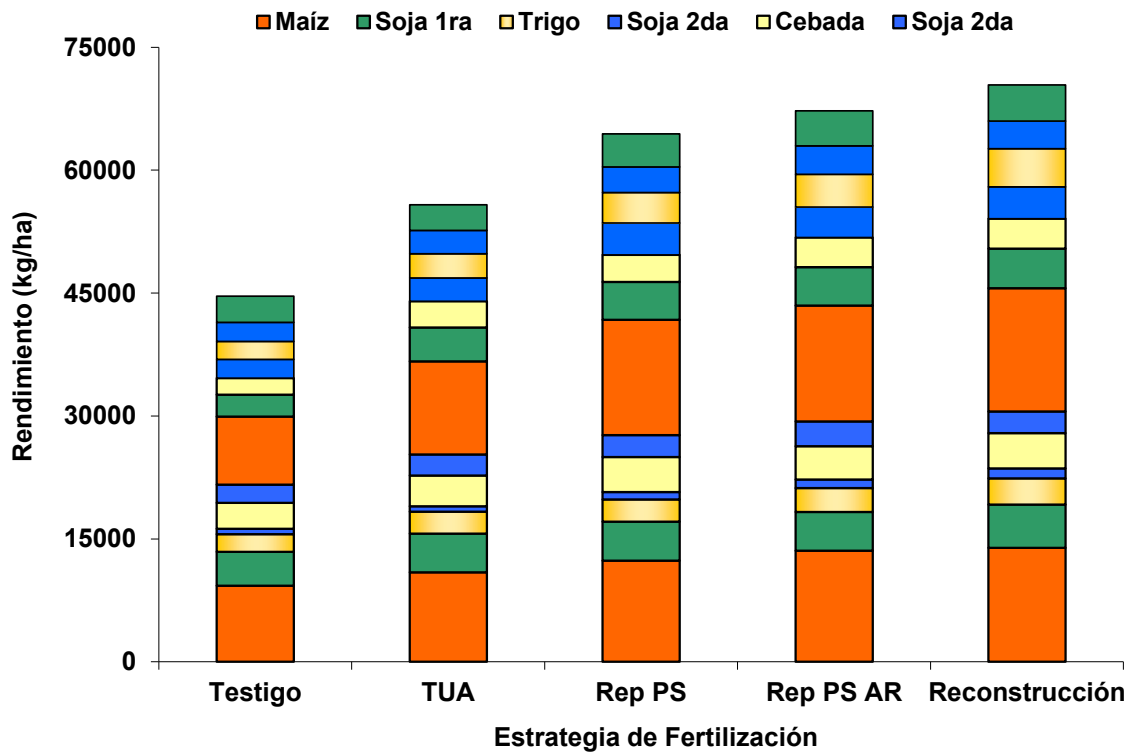


**Figura 2.** Rendimiento de diferentes estrategias de fertilización en soja para la Campaña 2014/15, noveno año de ensayo. Letras distintas sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD  $\alpha=0,05$ ). **TUA:** Tecnología de Uso actual, **Rep PS:** Reposición de fósforo y azufre para un rendimiento medio, **Rep PS AR:** Reposición de fósforo y azufre para un alto rendimiento, **Reconst:** Fertilización para reposición de azufre y reconstrucción de los niveles de P. Estrategias de fertilización en una secuencia de cultivos, Arribeños, General Arenales.

**Efectos de la fertilización sobre los rendimientos acumulados, el balance de nutrientes y su nivel final en el suelo luego de nueve años: 2006/07-2014/15.**

La productividad acumulada de la secuencia –trece cultivos en nueve campañas- mantuvo su tendencia consistente en ampliar la diferencia entre tratamientos conforme el paso del tiempo. Así, mientras el testigo acumuló 36924 kg grano ha<sup>-1</sup>, el tratamiento T5 de reconstrucción llegó a 57952 kg ha<sup>-1</sup>, siendo la brecha de rendimiento de 57% (Figura 3). Esta brecha fue superior a la observada por

Correndo et al., (2015) en un ensayo de 14 campañas sobre un sitio de buena fertilidad en la secuencia maíz - soja - trigo/soja. Sin embargo, fue inferior a la que estos mismos autores determinaron en un ambiente de menor fertilidad inicial, cultivado con la secuencia maíz - trigo/soja. La magnitud de respuesta varió entre cultivos (**Figura 3**), a causa de su sensibilidad diferencial. Las gramíneas como trigo, cebada y maíz expresaron incrementos superiores en los rendimientos, puesto que son más sensibles a carencias nutricionales en comparación con la soja. Además, se benefician de la dosis diferencial de N aplicada en los tratamientos de mayor fertilización, lo cual es indiferente a una especie fijadora como la soja.



**Figura 3.** Producción por cultivo (kg ha<sup>-1</sup>) de diferentes estrategias de fertilización acumulada en una secuencia maíz - soja - trigo/soja - cebada/soja - maíz - soja - cebada/soja - trigo/soja - soja. Arribeños, General Arenales. Campañas 2006/07 a 2014/15.

La evolución en el tiempo de la concentración de P Bray I en suelo reflejó las tendencias observadas en los balances nutricionales (Figura 4.a,b). Incrementos muy notables en P Bray I en suelo como resultado de un balance positivo de P fueron documentados por Mallarino y Prater (2007), quienes postularon que la tasa de incremento es superior en el rango medio de disponibilidad, y que una vez alcanzado un nivel alto es necesario agregar mayores dosis de P para mantener/aumentar su concentración en el suelo, por el permanente pasaje de P en solución o adsorbido a fracciones más estables. Cambios en otras variables de suelo pueden consultarse en Ferraris et al., (2015).

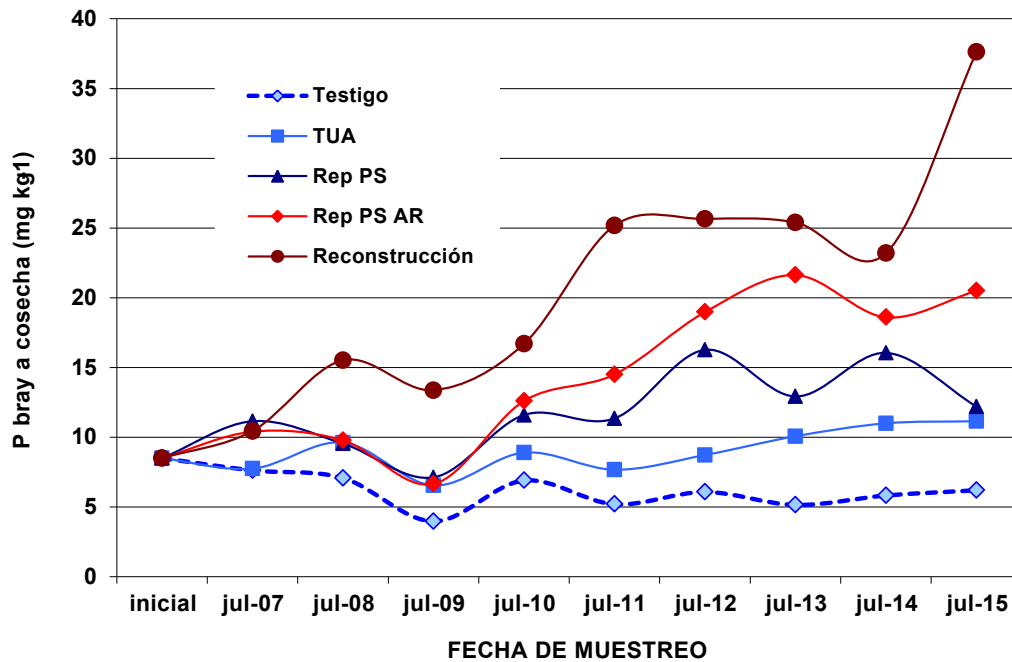


Figura 4.a

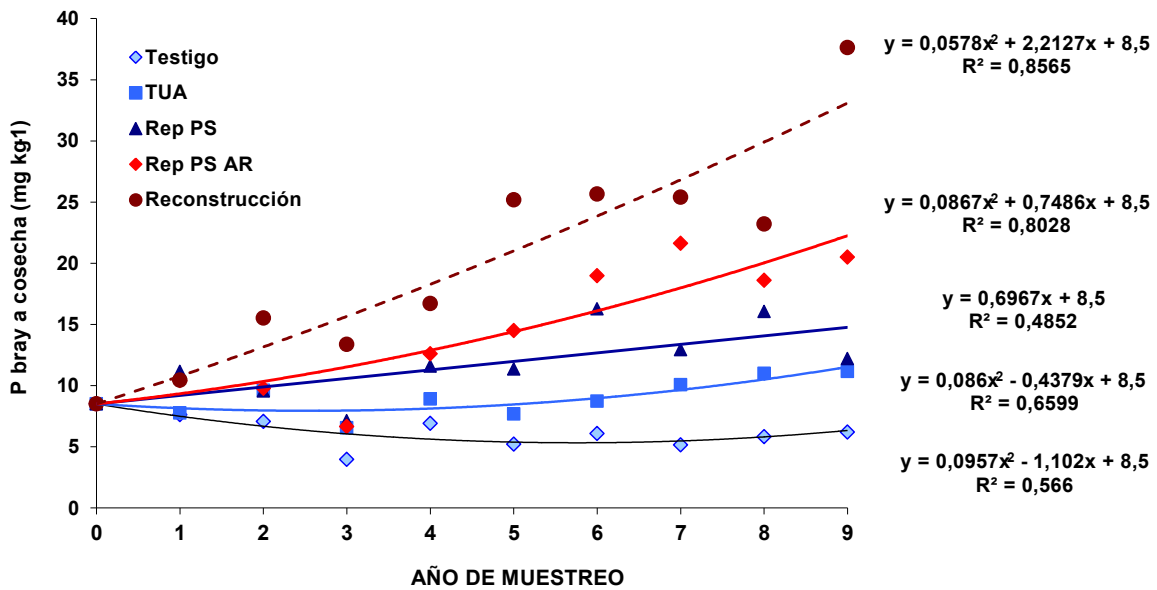
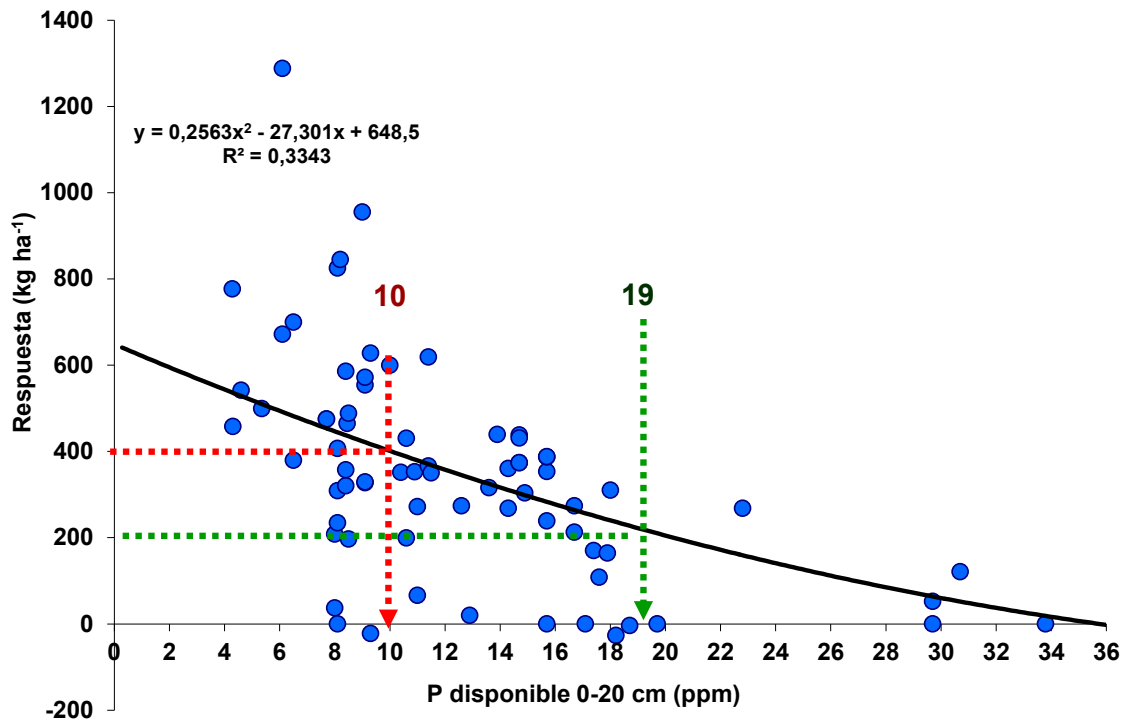


Figura 4.b

**Figura 4.** Evolución del P extractable en suelo (Bray-1, 0-20 cm) según estrategia de fertilización, luego de nueve campañas y trece cultivos. a) Valores absolutos b) Tendencias ajustadas por regresión. Los valores presentados son promedio de cuatro repeticiones.

En ocasiones, por razones económicas o de índole contractual –campos arrendados con contratos anuales de producción–, el productor se ve imposibilitado de diseñar una estrategia de largo plazo, y debe tomar decisiones por campaña. En este caso, existen herramientas que permiten estimar la respuesta esperable al agregado P, S y otros nutrientes. Para calibrar un umbral crítico de respuesta a la fertilización para P, el elemento más relevante para el cultivo que podría requerir su corrección mediante fertilizantes químicos, se realizaron 85 experimentos de campo con diseño estadístico conducidos en el Norte de Bs As y Sur de Santa Fe, entre las campañas 2000/01 y 2015/16. Los resultados obtenidos permiten señalar que existe una expectativa de respuesta mayor a

5 % cuando la disponibilidad de P en suelo es  $< 19 \text{ mg kg}^{-1}$  (0-20 cm). El incremento esperable alcanza a 10% si la concentración de P es  $< 10 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 5).

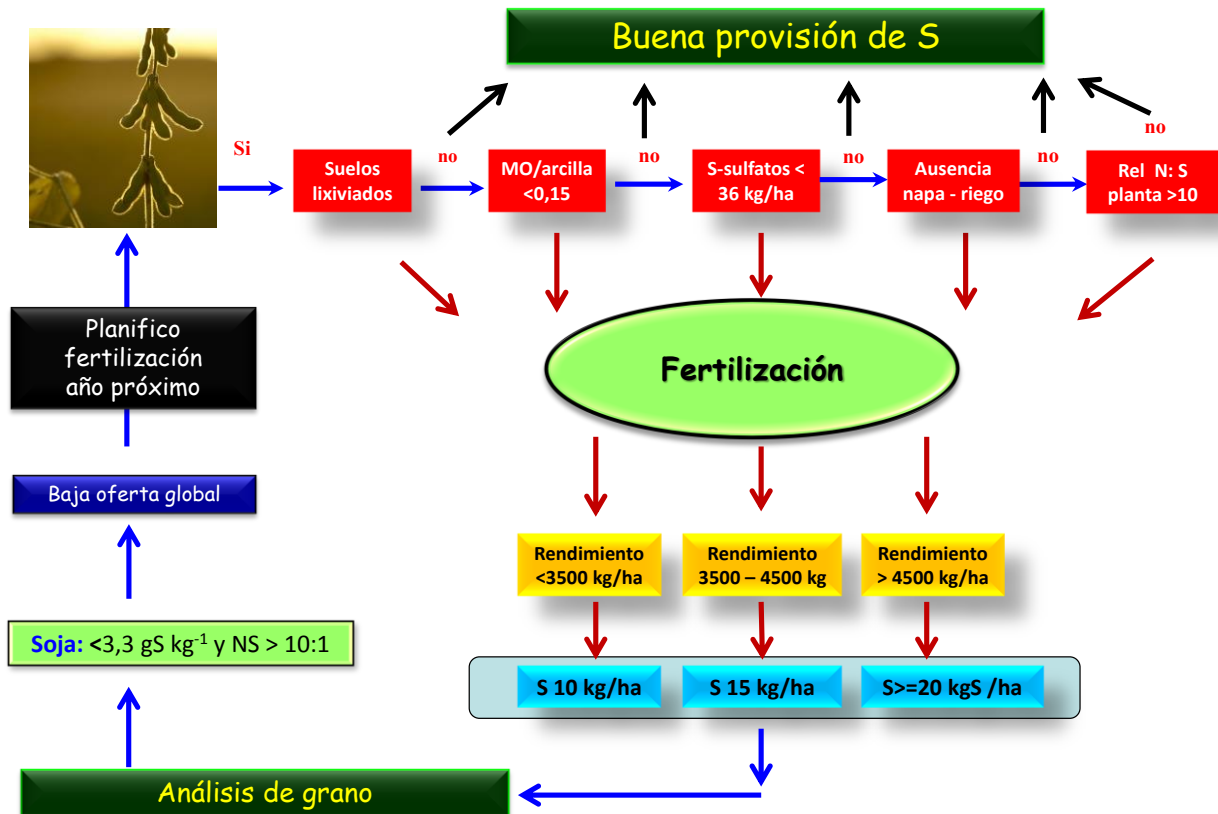


**Figura 5:** Respuesta esperable a la fertilización con P según disponibilidad de P Bray I en suelo (0-20 cm).

#### Fertilización con azufre.

El azufre es un elemento esencial cuya importancia en el cultivo es reconocida desde hace mucho tiempo. El mayor inconveniente para el manejo del nutriente ha sido la dificultad para definir una metodología de diagnóstico precisa y ajustada. Con frecuencia es agregado como componente de mezclas físicas o químicas fósforo-azufradas, con el objetivo de cubrir una eventual deficiencia, pero sin identificar claramente su carencia.

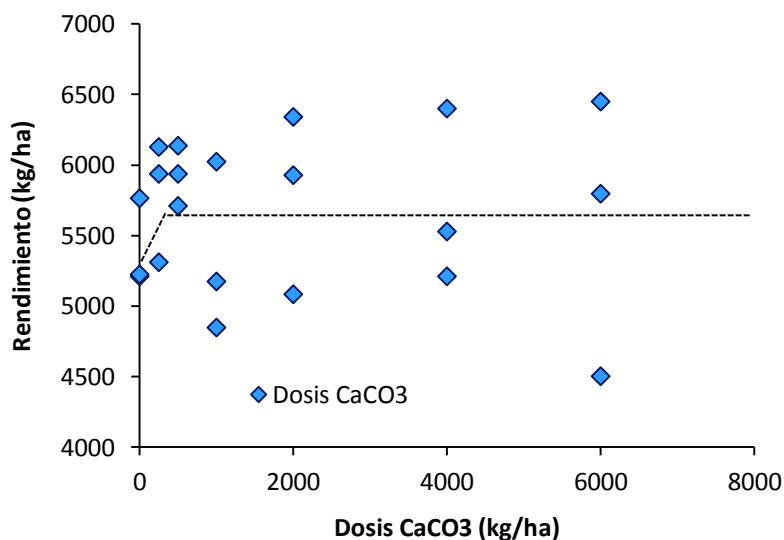
En la Figura 6 se presenta un esquema aplicable a sistemas agrícolas permanentes de la Región Pampeana Argentina. El mismo considera una mayor necesidad de recurrir a la fertilización en suelos que por excedentes hídricos sufren lixiviación, con baja relación MO/arcilla, baja disponibilidad de S-sulfatos en suelo, ausencia de aportes externos de S por napa o riego y alta relación N/S en planta entera, lo cual desbalancearía la constitución de proteínas durante el proceso de crecimiento. La dosis a aplicar estaría asociada a la expectativa de rendimiento, o al rendimiento histórico del ambiente considerado (Figura 6). Por último, existen variables como la concentración de S en grano, que servirían para evaluar la estrategia implementada y además, planificar la fertilización del próximo cultivo.



**Figura 6:** Esquema de decisión para la fertilización azufrada de Soja.

**Otros elementos: Calcio y Zinc.**

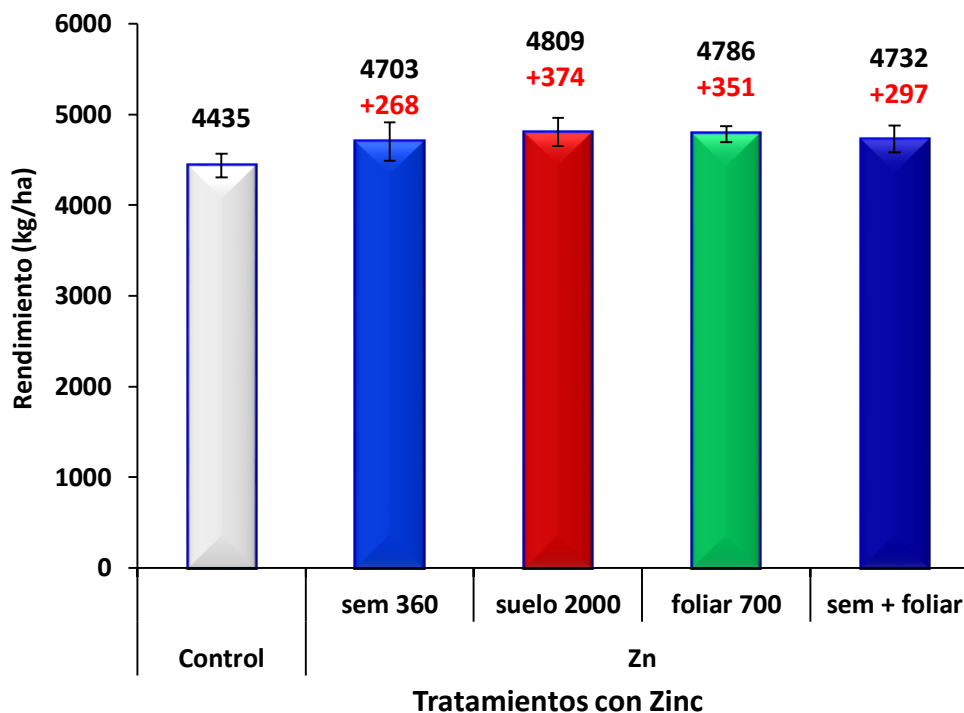
Recientemente, se ha evaluado la respuesta del cultivo a la aplicación de otros elementos. Durante la campaña 2015/16, en Pergamino, se estudió la respuesta a la aplicación de carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) al voleo en presiembra. Las diferencias obtenidas no fueron significativas ( $P=0,85$ ;  $cv=10,1\%$ ). Se observó un leve incremento en los rendimientos en dosis menores, hasta  $500 \text{ kg ha}^{-1}$ . Los valores de pH y Ca en suelo no hacían presumir una carencia (Figura 7).



**Figura 7:** Rendimiento de Soja según dosis de Carbonato de Calcio, aplicado al voleo en presiembra. Sitio Pergamino.  $\text{pH}=6,0$ .  $\text{Ca } 1569 \text{ mg/kg}$  (7,83 m.eq. 100 g) 0-20 cm.



Otros elementos que podrían limitar la producción son micronutrientes como Zinc (Zn) y Boro (B). En un experimento conducido en INTA Pergamino se compararon diferentes alternativas de aplicación de Zn. Los tratamientos representaron cambios en las dosis aplicadas, siendo de 360 g ha<sup>-1</sup> en semilla, 2000 g ha<sup>-1</sup> al suelo y 700 g ha<sup>-1</sup> vía foliar. Las tres alternativas representaron opciones válidas para el agregado de este elemento, incrementando los rendimientos en un rango de 268 a 374 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 8).



**Figura 8:** Rendimiento y respuesta (kg/ha) de soja a diferentes dosis y formas de aplicación de Zinc. INTA EEA Pergamino. Campaña 2015/16.

## CONSIDERACIONES FINALES

La soja es una especie con gran capacidad para sostener un rendimiento aceptable en suelos y ambientes de baja fertilidad química. Sin embargo, un grupo numeroso de experiencias muestran respuesta en rendimiento por el agregado de nutrientes, principalmente PS, tanto en forma directa como a través de una construcción progresiva por la fertilización de otros cultivos insertos en rotaciones con soja. Las diferencias entre tratamientos de escasa o adecuada fertilización tienden a acrecentarse con el tiempo, siendo los experimentos de larga duración el instrumento adecuado para cuantificarlas.

Otros elementos requeridos en cantidades menores también podrían limitar la productividad en un escenario de búsqueda permanente de superación en los rendimientos. En la actualidad, se visualizan con frecuencia respuestas a su aplicación, pero esta es de menor magnitud y más errática en comparación con la observada en PS. Desarrollar instrumentos y criterios para diagnosticar con certeza su necesidad de aplicación, es parte de la tarea actual en el manejo de este cultivo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ciampitti, I.A.** 2009. Dinámica del fósforo del suelo en rotaciones agrícolas en ensayos de nutrición a largo plazo. M.Sc. thesis. FA-UBA. Buenos Aires, Argentina. XX pag.
- Correndo, A., Boxler, M y García, F.** 2015. Reposición de nutrientes en el largo plazo ¿Qué nos dicen los números? Pp 84-94. Actas del Simposio Fertilidad 2015. Cd-ROM.
- Ferraris, G., Toribio, M., Falconi, R. y Couretot, L.** 2015. Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos, el balance de nutrientes y su disponibilidad en los suelos en el largo plazo. Actas CD Simposio

- Fertilidad 2015. pp 137-142. "Nutriendo los suelos para las generaciones del futuro". Rosario, 19-20 Mayo 2015. IPNI Cono Sur – Fertilizar AC.
- Ferraris, G., Toribio, M., Falconi, R. y Moriones, F. 2015.** Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos, el balance de nutrientes y su disponibilidad en los suelos en el largo plazo. Actas CD Simposio Fertilidad 2015. pp 137-142. "Nutriendo los suelos para las generaciones del futuro". Rosario, 19-20 Mayo 2015. IPNI Cono Sur – Fertilizar AC.
- Ferraris, G.; Couretot, L.; García, L y Navarro, M. 2014. a.** La nutrición como herramienta para alcanzar los rendimientos potenciales en soja. Comisión III. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas" Producción sustentable en ambientes frágiles. Bahía Blanca, 5 al 9 de mayo de 2014.
- Ferraris, G.N.; Couretot, L. y Díaz Zorita, M. 2014. b.** Análisis de los factores que determinan las brechas existentes entre los rendimientos actuales y los máximos alcanzables en Soja. En: Soja. Revista Técnica en SD. AAPRESID. ISSN 1850-0633. Año 21. Septiembre 2014.
- Johnston A. and Keith Syers, J. 2009.** A New Approach to Assessing Phosphorus Use Efficiency in Agriculture. Better Crops/Vol. 93 (2009, No. 3).
- Mallarino, A.P., y Prater, J. 2007.** Corn and soybean grain yield, P removal, and soil-test responses to long-term phosphorus fertilization strategies. Proceeding 19th Annual Integrated Crop Management Conference, Ames, Iowa State University.
- Martínez, F. y G. Cordone. 1998.** Resultados de ensayos de fertilización azufrada en soja. Soja, campaña 97/98, INTA EEA Oliveros, pp. 53-57.
- Messiga, A.J., Ziadi, N., Plenet D., Parent L.E. y Morel, C. 2010.** Long-term changes in soil phosphorus status related to P budgets under maize monoculture and mineral P fertilization. Soil Use and Management, 26, 354–364.
- Monzón, J.P. 2015.** Atlas Mundial de Brechas de Rendimiento: Trigo, soja y maíz en Argentina. pp 55-59. En: Actas Simposio Fertilidad 2015 "Nutriendo los suelos para las generaciones del futuro". IPNI Cono Sur – AC Fertilizar. Rosario, 19 y 20 de Mayo de 2015. 252 pp.
- Rabbinge, R. 1993.** The Ecological Background in Food Production. En Crop Protection and Sustainable Agriculture, D. J. Chadwick y J. Marsh (Eds.). John Wiley and Sons.
- Rossi, R. 2013.** La contribución del mejoramiento genético para la obtención de altos rendimientos en soja pp 38-43. En: García y Correndo (eds). Simposio Fertilidad 2013. Nutrición de cultivos para la intensificación productiva sustentable. - 1a ed. 314 pp. IPNI Cono Sur, Rosario, Santa Fe, 2013. Pen Drive.