

ROCA FOSFÓRICA Y YESO AGRÍCOLA: COMPLEMENTO A LA FERTILIZACIÓN TRADICIONAL EN EL CULTIVO DE SOJA

MARCELO JAVIER BELTRÁN^{1*}; ROMINA INGRID ROMANIUK¹; CARLOS HERRMANN²; ALEJANDRO FERNANDEZ²; FERNANDO MOUSEGNE³; FERNANDO JECKE³

Recibido: 27/3/2019

Recibido con revisiones: 29/4/2019

Aceptado: 29/4/2019

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivos comparar el efecto de la aplicación de diferentes fuentes de fósforo y azufre (fertilizantes sintéticos, roca fosfórica y yeso) sobre el rendimiento del cultivo de soja, y evaluar la residualidad de estos nutrientes según la fuente de aplicación en un suelo Argiudol típico bajo siembra directa. Los resultados obtenidos muestran que la fertilización combinada con roca fosfórica y yeso permitió obtener los mismos rendimientos que la fertilización tradicional. Sin embargo, no se encontró un efecto de residualidad del fósforo extractable y azufre medidos en el suelo asociado a las fuentes menos solubles.

Palabras clave: Agrominerales, fósforo extractable, sulfatos, rendimiento

PHOSPHORIC ROCK AND GYPSUM: A COMPLEMENT TO THE TRADITIONAL SOYBEAN FERTILIZATION

SUMMARY

The objective of this work was to compare the effect of the application of different sources of phosphorus and sulfur (synthetic fertilizers, phosphate rock and gypsum) on soybean crop, and to evaluate the residuality of these nutrients according to the source of application in a typical Argiudol soil under no tillage system. The results obtained show that the fertilization with a mixed of phosphate rock and gypsum, allowed to obtain the same yields as the traditional fertilization. However, no residual effect of the phosphate rock on the soil extractable phosphorus and sulfur was measured.

Key words: Agrominerals, extractable phosphorous, sulphates, grain yield

INTRODUCCIÓN

Desde la década del 90, el masivo avance de la agricultura sumado al escaso uso de fertilizantes, derivaron en el empobrecimiento progresivo de la fertilidad de los suelos de la Región Pampeana (Lavado & Taboada, 2009). Según Cruzate y Casas (2017) del total de nutrientes extraído, solamente se repone un 24,5%. Un 31% de reposición de nitrógeno (N), 39% de fósforo (P), 3% de potasio (K), 46% de calcio (Ca), y 31% de azufre (S), situación que conduce a la disminución progresiva en los contenidos de macro y micronu-

trientes en los suelos. Sumado a esta problemática, el área sembrada con soja ha aumentado año tras año, cubriendo en la actualidad más del 50% del área cultivada. En general, el cultivo de soja presenta requerimientos nutricionales e índices de cosecha de nutrientes mayores que los cereales, lo que sumado a la escasa cantidad de rastrojo que deja el cultivo y a la baja relación C/N de sus residuos, derivan en un bajo aporte de materia orgánica (MO) a los suelos, poniendo en riesgo la sustentabilidad del sistema (Martinez *et al.*, 2013).

1 Instituto de Suelos, INTA Castelar, Buenos Aires.

2 SEGEMAR, Migueletes, Buenos Aires.

3 AEA INTA, San Antonio de Areco, Buenos Aires.

* Autor de contacto: beltran.marcelo@inta.gob.ar

Gran parte de los suelos en los que se cultiva soja en Argentina presentan deficiencias de N y P (García, 2004). En los últimos años, también se han observado deficiencias de S. En este contexto, la fertilización en soja se plantea no solo con el objetivo de mejorar los rendimientos, sino también como una estrategia para mejorar los balances de nutrientes en los suelos. Si bien la soja presenta requerimientos muy elevados de N, gran parte de este nutriente es provisto mediante la fijación biológica de N (50-60%), por lo que no es común la fertilización nitrogenada (Salvagiotti *et al.*, 2008). Por el contrario, resultados de investigaciones realizadas en la región pampeana demuestran la potencialidad de respuesta ante situaciones de deficiencia de P y S (García, 2004).

La fertilización tradicional de P y S en el cultivo de soja incluye el uso de distintos fertilizantes sintéticos tales como superfosfato simple (P y S), triple (P), fosfato monoamónico (P y N), diamónico (P y N), azufre (S) y diferentes mezclas físicas (P y S). Sin embargo, existen otras fuentes de estos nutrientes que han sido poco exploradas hasta el momento. La utilización de minerales desde yacimientos existentes en la Argentina, denominados agrominerales, surge como una alternativa sustentable para reabastecer los suelos agrícolas en elementos deficientes y críticos para la productividad de los cultivos, permitiendo a su vez sustituir insumos que actualmente deben ser importados.

La roca fosfórica (RF) es un abono simple fosfatado extraído de yacimientos, donde el P contenido se encuentra como fosfato tricálcico ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). La principal desventaja es que su composición general y su contenido de fósforo varían con los diferentes yacimientos. La aplicación directa de la RF ha recibido considerable atención en América Latina durante los últimos 20 años. Sin embargo estas experiencias se restringe principalmente a suelos ultisoles y oxisoles (Zapata & Roy, 2007). En Argentina existen escasos antecedentes respecto del empleo de RF como fertilizante en la producción de granos a nivel extensivo. En los últimos años se realizaron experiencias con resultados positivos en cultivo de trigo (Melgar y Lavandera, 2002). La RF aparece como una alternativa interesante para elevar los niveles de P del suelo y complementar las aplicaciones anua-

les de fertilizantes solubles (Casciani & Gambaud, 2007).

El S es un nutriente esencial para las plantas por lo que su deficiencia tiene efecto negativo en la productividad de los cultivos. Los fertilizantes azufrados incluyen S dentro de sus formulaciones en formas sulfatadas (oxidadas) o en forma elemental. Las fuentes sulfatadas suelen ser las más efectivas ya que las plantas absorben el azufre en forma de sulfatos, como contraparte pueden perderse por lixiviación. En contraste las fuentes de S elemental pueden presentar residualidad a mediano y largo plazo, ya que requieren transformaciones químicas y biológicas mediadas por la temperatura y la humedad del suelo (Gonzalez-Osorio & Sadeghian-Kalahajaddadi, 2006). El yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) es un mineral común en ambientes sedimentarios. En la Argentina existen cuantiosas reservas de yeso, aunque sólo un porcentaje minoritario de su explotación es derivado al uso agrícola. Este mineral es considerado como una alternativa económicamente viable para ser utilizada como fertilizante para suplementar los requerimientos de S y remediar los suelos con deficiencia de este nutriente, siendo también una importante fuente de Ca. Los resultados derivados de la aplicación de yeso a campo son consistentes en los incrementos en Ca^{2+} y SO_4^{-2} . Sin embargo, los efectos del yeso en el rendimiento de los cultivos han demostrado ser más variables dependiendo del año y el tipo de cultivo (Torres Duggan *et al.*, 2010).

De todo lo expuesto surge la importancia de estudiar el efecto de la fertilización individual y/o combinada con P y S utilizando fuentes no convencionales sobre el rendimiento de soja, considerando también sus propiedades residuales. Por tanto los objetos del presente trabajo fueron i) comparar el efecto de la aplicación de diferentes fuentes de P y S sobre el rendimiento del cultivo de soja, y ii) evaluar la residualidad de estos nutrientes en suelo según la fuente de aplicación utilizada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló durante la campaña 2017/18 en el establecimiento La Fe, ubicado

en el partido de San Antonio de Areco, provincia de Buenos Aires. El suelo es un Argiudol típico de textura franco arcillo limosa. El sitio de estudio estuvo en los diez años previos bajo agricultura continua con siembra directa manejados con rotación maíz-soja- maíz-verdeo de invierno/soja. Se trabajó sobre 21 parcelas de 3 x 5 m bajo un diseño completamente aleatorizado, con tres repeticiones por tratamiento. Los tratamientos fueron soja sin fertilizar (T), soja fertilizada con : 90 kg ha⁻¹ de mezcla física (SF), 5 kg ha⁻¹ de yeso en suspensión y 5 kg ha⁻¹ de roca fosfórica en suspensión (Y5s+RF5s), 10 kg ha⁻¹ de yeso y 20 kg ha⁻¹ de roca fosfórica (Y10+RF20 S), 20 kg ha⁻¹ de roca fosfórica (RF20), 90 kg ha⁻¹ de mezcla y 10 kg ha⁻¹ de yeso (SF+Y10); y 90 kg ha⁻¹ de mezcla y 15 kg ha⁻¹ de yeso (SF+Y15). La densidad de siembra lograda fue de 20 plantas por metro lineal. Las fertilizaciones y aplicación de minerales fueron realizadas al momento de la siembra. Los minerales utilizados en el ensayo fueron provistos y caracterizados por el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), a partir de proveedores nacionales. En cada tratamiento se midió el rendimiento de grano. Para ello se recolectaron plantas enteras en las dos hileras centrales a humedad de cosecha y se trillaron con una trilladora estática. Luego se pesaron los granos para calcular el rendimiento por hectárea. Luego de la cosecha, se tomaron muestras compuestas de suelo a 0-5 y 5-20 cm de profundidad. Las muestras fueron secadas en estufa y pasadas por tamiz de 2 mm. Se determinó el contenido de fósforo extractable por el método de Bray y Kurtz I, y los sulfatos por turbidimetría con espectrofotómetro a una longitud de onda de 420 nm. Finalmente los datos se analizaron mediante análisis de varianza y test de comparación de medias de LSD Fischer con un valor de significancia del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como puede observarse en la **Figura 1**, la fertilización del cultivo de soja incrementó los rendimientos para todas las fuentes de nutrientes ensayadas, excepto para el tratamiento fertilizado con 20 kg ha⁻¹ de RF (RF20). Según estos resultados la fertilización con agro minerales en ambas dosis probadas (Y5s+RF5s y Y10+RF20 S) fue igual de efectiva que la fertilización tradicional

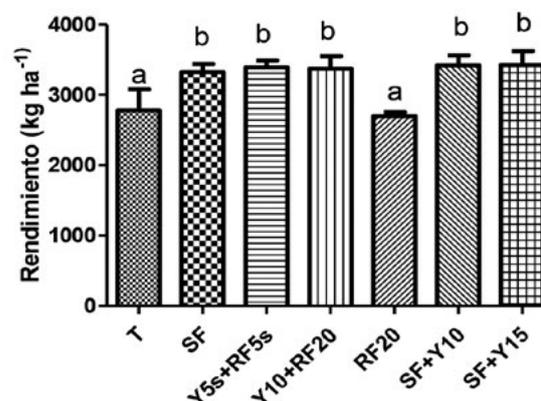


Figura 1. Rendimiento promedio y error estándar del cultivo de soja para los diferentes tratamientos. Los tratamientos son soja sin fertilizar (T), soja fertilizada con : 90 kg ha⁻¹ de mezcla (SF), 5 kg ha⁻¹ de yeso en suspensión y 5 kg ha⁻¹ de roca fosfórica en suspensión (S+Y5s+RP5s), 10 kg ha⁻¹ de yeso y 20 kg ha⁻¹ de roca fosfórica (S+Y10+RP20 S), 20 kg ha⁻¹ de roca fosfórica (S+RP20), 90 kg ha⁻¹ de mezcla y 10 kg ha⁻¹ de yeso (SF+Y10); y 90 kg ha⁻¹ de mezcla y 15 kg ha⁻¹ de yeso (SF+Y15). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Figure 1. Soybean average yield and standard error for the different treatments. Treatments: unfertilized soybean (T), soybean fertilized with: 90 kg ha⁻¹ of mixture (SF), 5 kg ha⁻¹ of suspended gypsum and 5 kg ha⁻¹ of suspended phosphoric rock (S + Y5s + RP5s), 10 kg ha⁻¹ of gypsum and 20 kg ha⁻¹ of phosphoric rock (S + Y10 + RP20 S), 20 kg ha⁻¹ of phosphoric rock (S + RP20), 90 kg ha⁻¹ of mixture and 10 kg ha⁻¹ of gypsum (SF + Y10); and 90 kg ha⁻¹ of mixture and 10 kg ha⁻¹ of gypsum (SF + Y15). Different letters indicate significant differences between treatments ($p < 0.05$).

con una mezcla física comercial. La similitud en los rendimientos obtenidos con ambas fuentes de fertilizantes (tradicional vs agrominerales) podrían ser causa del mayor aporte de P extractable en el caso de la fertilización tradicional, mientras que en los tratamientos con agrominerales podrían deberse a un incremento en la disponibilidad de S y Ca ocasionado por el aporte de la RF y el yeso, y no necesariamente estar ligadas a una mayor disponibilidad de P, ya que la liberación de P desde la RF es un proceso lento y gradual.

Al comparar los rendimientos obtenidos mediante la aplicación de yeso y RF en diferentes formas y dosis, puede observarse que la aplicación de yeso y RF en menores dosis pero aplicada en suspensión (Y5s+RF5s) tuvo un efecto similar a la aplicación de mayores dosis en forma molida

(Y10+RF20). Cabe destacar que la sola aplicación de RF (RF20) no produjo los incrementos en rendimientos que si se observaron cuando la RF fue aplicada junto con el yeso. Según Acosta *et al.* (2017) la aplicación de sulfato de calcio produce un mayor aprovechamiento de otros nutrientes esenciales. El N y el P son absorbidos más eficientemente cuando se aplican a suelos con niveles apropiados de S y Ca, aumentando de esta forma los rendimientos. Otros autores, también han observado la relación aditiva que pueden presentar el P y el S en la expresión de los rendimientos de la soja (Salvagiotti, *et al.* 2004).

Por otra parte, la incorporación de yeso en ambas dosis ensayadas en los tratamientos fertilizados con mezcla base (SF+Y10 y SF+Y15), no produjo incrementos significativos en los rendimientos respecto al tratamiento fertilizado solo con mezcla (SF), debido probablemente a la alta solubilidad y rápida disponibilidad que presentan las mezclas comerciales.

En la **Figura 2** se presentan los valores de P extractable y sulfatos medidos en suelo a los 0-5 y 5-20 cm de profundidad luego de la cosecha del cultivo de soja. En el caso de los sulfatos (**Fi-**

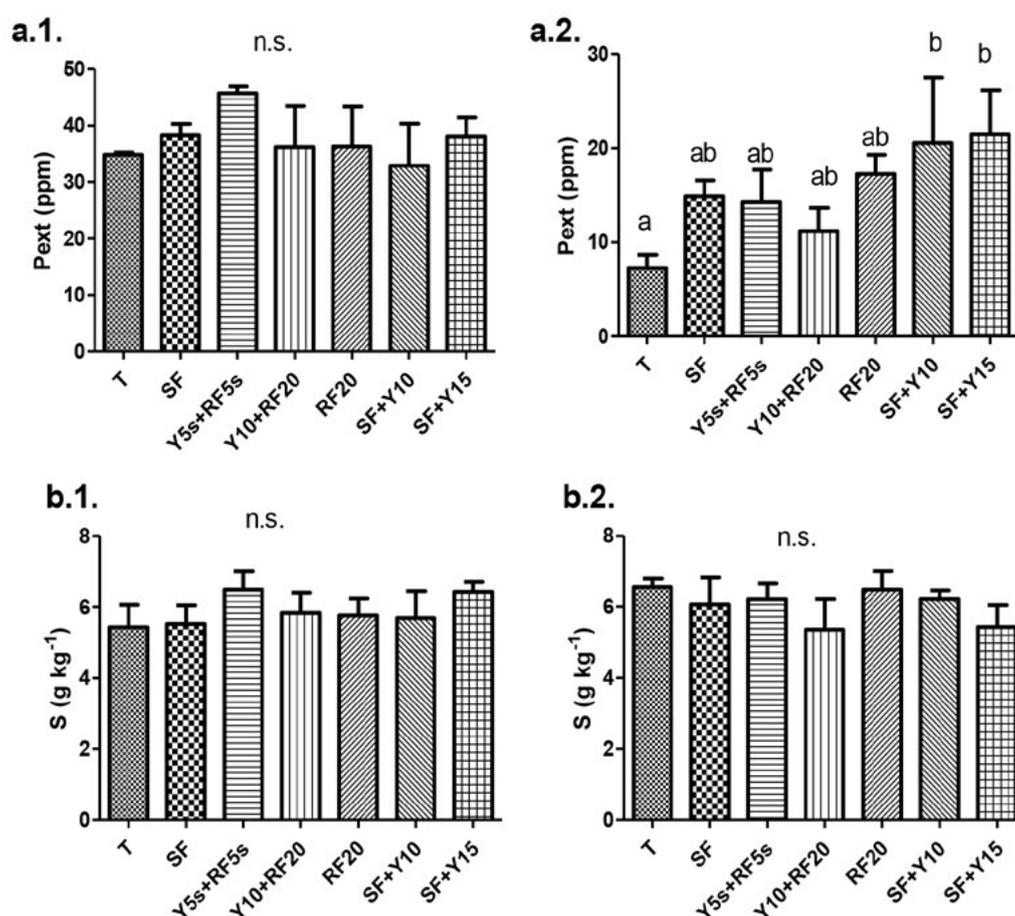


Figura 2. Valores medios y error estándar de fósforo extractable (Pext) (a), y sulfatos (S) (b) en suelos para los diferentes tratamientos medidos de 0-5 cm (1) y de 5-20 cm de profundidad (2). Los tratamientos son soja sin fertilizar (T), soja fertilizada con: 90 kg ha⁻¹ de mezcla (SF), 5 kg ha⁻¹ de yeso en suspensión y 5 kg ha⁻¹ de roca fosfórica en suspensión (S+Y5s+RP5s), 10 kg ha⁻¹ de yeso y 20 kg ha⁻¹ de roca fosfórica (S+Y10+RP20 S), 20 kg ha⁻¹ de roca fosfórica (S+RP20), 90 kg ha⁻¹ de mezcla y 10 kg ha⁻¹ de yeso (SF+Y10); y 90 kg ha⁻¹ de mezcla y 10 kg ha⁻¹ de yeso (SF+Y15). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (p<0.05).

Figure 2. Extractable phosphorus average value and standard error for the different treatments. Treatments: unfertilized soybean (T), soybean fertilized with: 90 kg ha⁻¹ of mixture (SF), 5 kg ha⁻¹ of suspended gypsum and 5 kg ha⁻¹ of suspended phosphoric rock (S + Y5s + RP5s), 10 kg ha⁻¹ of gypsum and 20 kg ha⁻¹ of phosphoric rock (S + Y10 + RP20 S), 20 kg ha⁻¹ of phosphoric rock (S + RP20), 90 kg ha⁻¹ of mixture and 10 kg ha⁻¹ of gypsum (SF + Y10); and 90 kg ha⁻¹ of mixture and 10 kg ha⁻¹ of gypsum (SF + Y15). Different letters indicate significant differences between treatments (p < 0.05).

gura 2 B), no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para ambas profundidades evaluadas. En cambio, en cuanto al P extractable, las diferencias no fueron significativas para los primeros 5 cm (**Figura 2 a.1.**), pero si lo fueron de 5-20 cm (**Figura 2 a.2.**). En este último caso pudo observarse que los valores de P extractable en los tratamientos fertilizados fueron en promedio 2.5 veces mayores que en la situación testigo. Sin embargo, este incremento no fue observado cuando el fertilizante fue aplicado solo (SF). Esto sugiere que el yeso podría estar aumentando la movilidad del P en el perfil, asociado probablemente a los iones Ca, facilitando su movimiento a capas más profundas. Para el resto de los tratamientos evaluados, aunque pudo observarse una tendencia a mayores valores de P extractable a los 5-20 cm en relación al testigo, los mismos no difirieron estadísticamente. Según estos resultados no se observan diferencias en la residualidad en suelos de los nutrientes estudiados (P y S) en los tratamientos fertilizados con agro minerales (yeso y roca fosfórica) respecto a los valores obtenidos en la aplicación de fertilización tradicional a los 20 cm en el lapso de tiempo del cultivo. Esto podría asociarse a que el P contenido en la RF no está disponible en el mediano plazo, ya que se necesitan períodos mayores de tiempo al estudiado para lograr la meteorización de la misma y la gradual liberación del P a la solución del suelo. Cuando el P de la reserva del suelo se agota, el mismo se repone a partir de formas lábiles y moderadamente lábiles; y si éstas se agotan, las especies menos solubles como los minerales serán las que determinen la concentración de P en la solución del suelo (Galantini *et al.*, 2005).

En el caso del S, la falta de diferencia en los contenidos en suelo entre tratamientos podrían ser consecuencia de que el S aportado por el yeso fue utilizado por el cultivo en su ciclo de crecimiento, o debido a su movilidad podría haber migrado a capas más profundas. En general, no se ha logrado identificar relaciones entre variables de suelo y la respuesta del cultivo de soja a la fertilización azufrada; se destacan como posibles causas, la presencia de sulfatos por debajo de la profundidad de muestreo o en el agua subterrá-

nea y a la inexactitud e imprecisión en los muestreos y en las determinaciones de laboratorio (Gentiletti y Gutiérrez-Boem, 2004; Russi *et al.*, 2012). Los mismos autores, hallaron respuesta a la aplicación de S en 13 de 19 sitios evaluados, con aumentos en los rendimientos de 230-1200 kg/ha en el centro-sur de Santa Fe.

A partir de los resultados obtenidos podemos concluir que la fertilización combinada con roca fosfórica y yeso, permitió obtener los mismos rendimientos que la fertilización tradicional en el cultivo de soja. Sin embargo, no se encontró un efecto de residualidad en los valores de P extractable y S en suelo, asociados a la aplicación de roca fosfórica y/o yeso para la profundidad evaluada.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, L; J Rivera; F Marza & T Claire. 2017. Uso de yeso agrícola como enmienda en el cultivo de maíz forrajero en el valle central de Tarija. Revista Científica de Investigación INFO-INIAF. Revista de Investigación Agropecuaria y Forestal Boliviana 4 (9): 56-62.
- Casciani, A & S Gambaudo. 2007. Evaluación agronómica de un fertilizante compuesto con y sin el agregado de roca fosfórica en la secuencia trigo-soja. INTA – EEA Rafaela. Información técnica de trigo y otros cultivos de inviernos, campaña 2007. 107, 82-86.
- Cruzate, AG & R Casas. 2017. Balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina en la campaña 2015/16. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica IAH 28, 14-23.
- Galantini JA, L Suñer, H Krüger 2005. Dinámica de las formas de P en un Haplustol de la región semiárida pampeana durante 13 años de trigo continuo. Revista Investigaciones Agropecuarias (RIA – INTA) 34 (2): 13-31.
- García, F. 2004. Soja: criterios para la fertilización del cultivo. INPOFOS/PPI/PPIC Cono Sur. Argentina. 2004. 13 pp.
- Gentiletti, A & F Gutiérrez Boem. 2004. Fertilización azufrada de soja en el centro-sur de Santa Fe. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 24:12-14. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Gonzalez-Osorio, H & S Sadeghian-Kalahjabadadi. 2006. Efecto de corto plazo de diferentes fuentes de azufre sobre la acidez y disponibilidad de este elemento en la zona radical del café (*Coffea arabica L.*). Cenicafé, 57, 132-145.
- Lavado, R & M Taboada. 2009. Alteraciones de la fertilidad de los suelos. El halomorfismo, la acidez y las inundaciones. Editorial Facultad Agro-

- nomía. Universidad de Buenos Aires. 160 pp. Martínez, JP; PA Barbieri; H Sainz Rozas & HE Echeverría. 2013. Inclusion of Cover Crops in Cropping Sequences with Soybean Predominance in the Southeast of the Humid Argentine Pampa. *The Open Agriculture Journal*, 7, 3-10.
- Melgar, R & J Lavandera. 2002. La doble fertilización. Rotación trigo/soja. *FERTILIZAR* 26:30-34.
- Russi D, FH Gutierrez Boem, P Prystupa y G Rubio. 2012. Interlaboratory and Intralaboratory Testing of Soil Sulfate Analysis in Mollisols of the Pampas. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43:2535-2543.
- Salvagiotti F, Cassman KG, Specht JE, Walters DT, Weiss A y Dobermann A (2008) Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Research* 108: 1-13.
- Salvagiotti, F; G Gerster; S Bacigaluppo; J Castellarín; C. Galarza; N. González; V. Gudelj, O. Novello; H. Pedrol y P. Vallone. 2004. Efectos residuales y directos de fósforo y azufre en el rendimiento de soja de segunda. *Ciencia del Suelo*. 22(2) 92-101.
- Torres Duggan M; M Rodriguez; R Lavado; R Melgar. 2010. Tecnología de la fertilización azufrada en la Región Pampeana estado actual y tendencias. *Información Agronómica* 48: 19-26.
- Zapata, F & R Roy. 2007. Utilización de rocas fosfóricas para agricultura sostenible. *Boletín FAO* No 13, Roma. 156.