



EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN DE LARGO PLAZO (N, P, S) SOBRE LOS GRANOS DE SOJA

Vega Jara*, L.¹; Rubio, G.^{1,2}; Boxler, M.³; García, F. O.⁴; Gutiérrez Boem, F. H.^{1,2}

¹Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453 (1417DSE) CABA; ²INBA CONICET, Facultad de Agronomía, UBA, Av. San Martín 4453 (1417DSE) CABA; ³Región CREA Sur de Santa Fe, Sarmiento 1236 5to piso (1041AAZ) CABA; ⁴IPNI Latin america southern cone *vegajara@agro.uba.ar, CP 265, (0051) 966412372

RESUMEN

Con el objetivo de conocer los efectos de 14 años de fertilización continua con nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) sobre la exportación del N, P y S en granos y, la relación entre la concentración del P y S en suelo y granos de soja, se analizaron suelos del estrato de 0-20 cm de profundidad y granos de soja de cinco sitios experimentales. Los ensayos pertenecen a una Red de experimentos de largo plazo en el norte de la región pampeana. En cada sitio se establecieron seis tratamientos de fertilización: Testigo, PS, NS, NP, NPS y Completo (NPS+micronutrientes), bajo dos sistemas de rotación: maíz-trigo/soja (M-T/S) (Balducchi y San Alfredo) y tres sitios con rotación maíz-soja-trigo/soja (M-S-T/S), en siembra directa (SD). Los resultados indicaron aumentos de exportación de P y S en el grano con su agregado como fertilizantes, el cultivo fue más sensible al S que al P. La concentración de P en granos aumentó con su disponibilidad en el suelo hasta los valores críticos de 16-18 mg P kg⁻¹, lo cual sugiere que no hubo consumo de lujo por encima de esos valores de disponibilidad. La fertilización con S podría ser utilizada para cambiar la relación N:S de los granos, lo cual está relacionado con la calidad nutricional de la proteína. Los cambios en la composición de granos pueden ser relevantes por sus efectos sobre la calidad del producto, como por su posible uso como herramienta para los diagnósticos de fertilidad del suelo mediante el análisis vegetal.

PALABRAS CLAVE

Experimentos de largo plazo; Relación P grano: P Bray 1; Relación S grano: S suelo

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha intensificado el uso del suelo para la agricultura, lo cual viene acompañado de una intensificación en la fertilización de cultivos de granos principalmente. Distintos manejos de fertilización llevan a balances positivos o negativos de nutrientes del suelo (Adolfo & Casas, 2003). Estos distintos balances pueden provocar cambios en los contenidos totales y en las fracciones lábiles de carbono (C) y nutrientes. Los cambios, en particular en las fracciones lábiles, pueden verse reflejados en los productos cosechados (Ciampitti *et al.*, 2011). En el suelo, los cambios son lentos por lo que se hace necesario contar con experimentos de largo plazo con distintos esquemas de fertilización (Boxler *et al.*, 2013; Eiza *et al.*, 2005). Una alternativa para diagnosticar la fertilidad del suelo es utilizar a la planta como indicador (Sattari *et al.*, 2014). Uno de los órganos más estables de la planta, en términos de contenido de nutrientes, es el grano, considerado como reservorio de nutrientes para la cohorte siguiente (Wardlaw, 1990). El análisis del contenido de nutrientes en los granos puede servir como una herramienta complementaria al análisis del suelo para los diagnósticos de fertilidad (Correndo & García, 2012). El análisis de granos también provee información sobre la exportación de nutrientes y, en consecuencia, sobre el balance de nutrientes de distintos programas de fertilización. Algunos investigadores han usado en análisis de granos para conocer el estado nutricional de los suelos.



Una red de experimentos de largo plazo en el norte de la región pampeana (Argentina) instaló ensayos en cinco sitios, en la campaña 2000/01. Sus objetivos fueron varios, uno de ellos fue determinar respuestas directas y residuales de los cultivos a la aplicación de N, P y S como fertilizantes buscando complementar los métodos de diagnóstico de la fertilidad del suelo. En este trabajo se sintetizan los resultados obtenidos de análisis de suelos del estrato de 0-20 cm y de granos de soja de primera y de segunda correspondientes a la campaña 2013/14. Los objetivos fueron evaluar el efecto de los distintos regímenes de fertilización de largo plazo sobre: (a) la exportación de N, P y S en granos de soja, (b) la relación entre el P del grano y el P Bray 1 en el suelo y, (c) la relación entre S del grano y suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron muestras de granos de soja y suelos (0 – 20 cm) de cinco sitios de la Red de ensayos de largo plazo en el norte de la región pampeana, Argentina durante la campaña 2013/14. Las características de los ensayos son: 2 sitios con rotación maíz-trigo/soja (M-T/S) (Balduchi y San Alfredo) y 3 sitios con rotación maíz-soja-trigo/soja (M-S-T/S) (La Blanca, La Hansa y Lambaré). Se evaluaron los 6 tratamientos de cada sitio: Testigo sin fertilizar, NP, NS, PS, NPS y Completo (NPS+micronutrientes). El diseño es en DBCA con 3 repeticiones en cuatro sitios, y dos en San Alfredo y el sistema de siembra es SD. La dosis de fertilización de P y S se estima con criterio de reposición más un 5-10% para obtener balances positivos y, a partir de modelos zonales para el caso del N (Boxler *et al.*, 2014).

Se tomaron muestras de suelo de 0-20 cm de profundidad, se midió el P disponible (P Bray 1). Se separó la fracción particulada (>53 μm) donde se midió el S-mop (S en la materia orgánica particulada) por digestión húmeda y turbidimetría. En los granos de soja, se determinó el rendimiento y la concentración de N, P y S por digestión húmeda, seguido de colorimetría para la determinación de N y P y turbidimetría para medir S.

Los resultados se analizaron mediante ANOVA y regresión. Se hizo un ANOVA del rendimiento, las diferencias significativas se probaron con LSD al 95% de significancia. Las relaciones entre la exportación de N, P y S y el rendimiento se analizaron mediante regresión lineal. Se fijaron las funciones que mejor ajustaron entre la concentración de P y S en las fracciones del suelo y granos. Se compararon las regresiones mediante test de F.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Rendimiento y exportación de N, P y S en granos de soja

Los rendimientos observados variaron entre 2464 y 6126 kg ha⁻¹ dependiendo del sitio y tratamiento (**Tabla 1**). El sitio con rendimientos más altos fue Lambaré (promedio 5918 kg ha⁻¹), mientras que en los otros cuatro sitios el promedio fue entre 3325 y 3951 kg ha⁻¹. Se observó un aumento de los rendimientos debido a la fertilización con N, P y S en todos los sitios (**Tabla 1**). La disminución del rendimiento del tratamiento Testigo respecto del NPS varió entre 10 y 40%. En dos de los cinco sitios, los tratamientos NPS y Completo sobresalieron en rendimiento (Balduchi y La Blanca). Estos dos sitios presentaron las deficiencias nutricionales más importantes, con una caída de los rendimientos del 41%, y una interacción positiva entre los nutrientes agregados ($p < 0,05$). En La Hansa y Lambaré sólo el Testigo fue inferior a los demás tratamientos, y las disminuciones del rendimiento por no aplicar de N, P y S fueron de 19% y 11% respectivamente. Es interesante destacar que en la campaña 2013/2014, el P-Bray en los tratamientos sin agregado de P no fue el mismo en todos los sitios. Balduchi tuvo el valor más bajo mientras que Lambaré tuvo el más alto (resultados no mostrados), esto explicaría la mayor diferencia de rendimientos entre el NPS y NS en Balduchi (**Tabla 1**).



XVII Congreso Nacional y VIII Internacional de la
Ciencia del Suelo

“Crianza del suelo para el buen vivir”

Ayacucho, Perú – 22 al 25 de mayo de 2017



Tabla 1. Rendimiento (kg ha^{-1}) del cultivo de soja. Los cambios de letra implican diferencias significativas determinadas mediante LSD a un nivel de 5%, dentro de cada sitio.

Tratamiento	Sitio				
	Balducchi	San Alfredo	La Blanca	La Hansa	Lambaré
Testigo	2464 c	3198 d	3056 b	3309 b	5311 b
PS	3218 b	3392 bc	3747 a	4045 a	5962 a
NS	3260 b	3328 cd	3096 b	4001 a	6007 a
NP	3268 b	3427 bc	3103 b	4093 a	6126 a
NPS	4089 a	3558 ab	3762 a	4094 a	5984 a
Completo	3648 ab	3672 a	3885 a	4166 a	6117 a

ANOVA					
Trat. (valor p)	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
DMS	0,60	0,12	0,54	0,33	0,37
CV	10,00	2,02	8,65	4,61	3,44

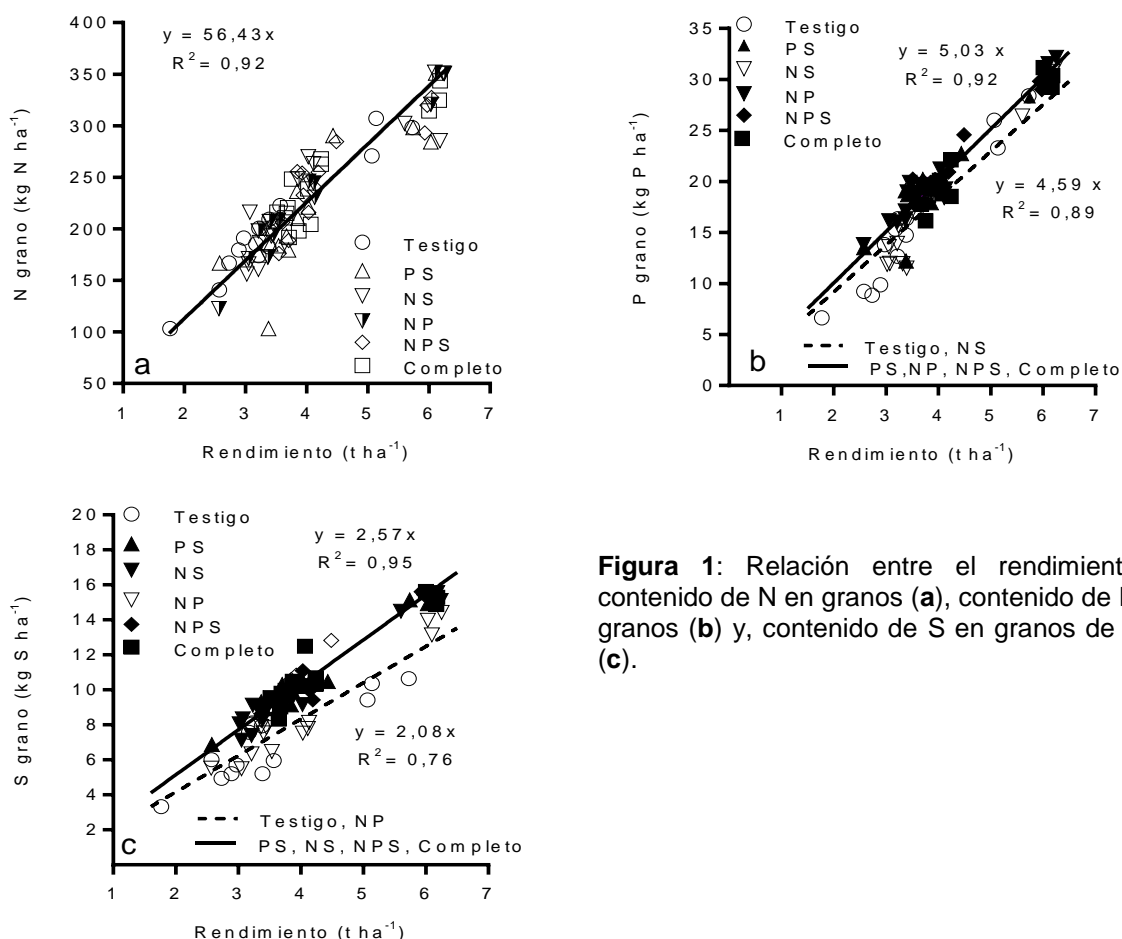


Figura 1: Relación entre el rendimiento y contenido de N en granos (a), contenido de P en granos (b) y, contenido de S en granos de soja (c).

El agregado de N en los cultivos antecesores de la soja no aumentó la exportación de N en granos (promedio de $56,43 \text{ kg N t}^{-1}$) ($R^2=0,92$) (Figura 1a). Esto puede deberse a que este cultivo cubre la mayor parte del N que requiere mediante la fijación biológica. Según Collino *et al.* (2015) más del 50% del N que absorbe el cultivo proviene de la fijación biológica.

La fertilización continuada con P en el largo plazo aumentó ligeramente las exportaciones de P en granos en un 9,5%. Varió de $4,59 \text{ kg P t}^{-1}$ en los tratamientos sin P agregado (Testigo y



NS) a $5,03 \text{ kg P t}^{-1}$ en los tratamientos con P agregado (NP, PS, NPS y Completo) (**Figura 1b**). Esto sugiere que la concentración de P en grano es sensible a la nutrición fosforada y que podría ser utilizada como un indicador para monitorear un programa de fertilización. Otros investigadores también informaron que el cultivo de soja es sensible al agregado de P (Gutiérrez Boem & Thomas, 1999; Israel *et al.*, 2007).

La concentración de S en el grano fue la más sensible al manejo de la fertilización. La fertilización con S aumentó la exportación de S en granos por tonelada en un 23%. Aumentó de $2,08 \text{ kg S t}^{-1}$ en los tratamientos sin S (Testigo y NP) a $2,57 \text{ kg S t}^{-1}$ en los tratamientos con S agregado (PS, NS, NPS, Completo) (**Figura 1c**). Los valores obtenidos en los tratamientos sin S se podrían categorizar como bajos y el de los fertilizados con S como normales según los reportes en literatura (muy bajos: $1,5 - 2 \text{ kg t}^{-1}$, bajos: $2 - 2,3 \text{ kg t}^{-1}$, normales: $>2,3 \text{ kg S t}^{-1}$; Hitsuda *et al.*, 2004). Cabe señalar que la concentración de S en granos está relacionada con la composición de la proteína, mayor concentración de S implica mayores contenidos de aminoácidos azufrados como la metionina y cisteína que le proveen mayor calidad a las proteínas (Krishnan, 2008).

2. Relación entre concentración de P en grano y suelo

La **Figura 2a** muestra la relación entre la concentración de P en los granos de soja y el P extractable en el suelo (P Bray 1). A mayores contenidos de P disponible aumentó la concentración de P en los granos hasta el punto de inflexión de $18,1 \text{ mg P kg}^{-1}$ en suelo y $5,87 \text{ mg P kg}^{-1}$ en granos, a partir del cual las concentraciones de P en granos fueron constantes. Este valor en suelo es parecido a los umbrales críticos de P disponible para el cultivo de soja en la región pampeana, que son de 9-16 ppm (Ferraris *et al.*, 2002, Gutierrez Boem *et al.*, 2010). Esto sugiere que no habría consumo de lujo cuando la disponibilidad de P en el suelo es muy alta. Por encima de 18 mg P kg^{-1} es baja la probabilidad de aumentar la exportación de P en granos. Por debajo de 18 mg P kg^{-1} la planta podría seguir destinando P a los granos en respuesta a aplicaciones de P. La relación N:P en granos estuvo relacionada de forma inversa con el P disponible del suelo (**Figura 2b**). El punto de inflexión de la curva fue de 16 mg P kg^{-1} de P Bray 1, muy parecido a los umbrales reportados en la región pampeana y, el valor de inflexión de la relación N:P en granos fue de 12 (al 90% de inflexión de la curva). Valores de la relación N:P por encima de 12 podrían indicar deficiencia de P. Estos resultados sugieren que el análisis de granos puede ser complementario al de P Bray 1 como herramientas para el diagnóstico de P en suelos.

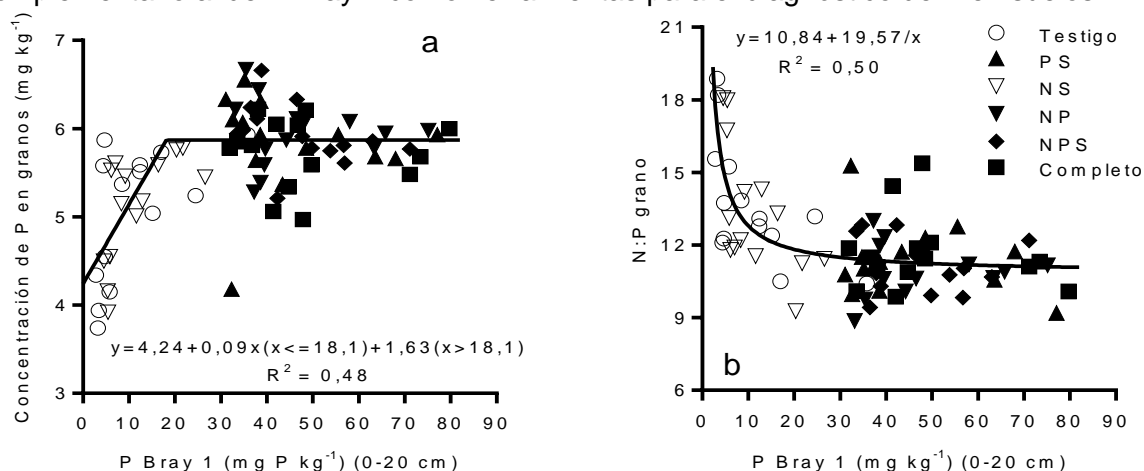


Figura 2: P Bray 1 en función de la concentración de P en granos (a) y, relación N:P en granos (b).



3. Relación entre concentración de S en grano y suelo

La concentración de S en granos no mostró una clara relación con los contenidos de S en el suelo (**Figura 3**). En el estrato de 0-20 cm, el S-pom explicó un 25% la concentración de S en los granos en situaciones donde no se fertilizó con S (Testigo y NP), pero en los tratamientos que recibieron S como fertilizante (NS, PS, NPS, Completo) dicha relación fue muy débil (**Figura 3**). Asumiendo que estos tratamientos (i. e. Testigo y NP) tuvieron deficiencias de S, se les puede considerar como referencia para cultivos mal provistos de este nutriente. Lo cual sugiere que el análisis de granos es más adecuado para diagnosticar la fertilidad azufrada. Salvaggiotti *et al.* (2012) y Divito *et al.* (2015) también mostraron que los análisis vegetales son superiores a los del suelo en la evaluación del estado nutricional de S de los suelos. La desventaja es que el análisis vegetal proporciona información un poco tarde para ser de valor para el productor cuando el cultivo está creciendo (Bailey, 1985). Sin embargo, puede ser una posible herramienta a desarrollar, si se quiere utilizar el análisis de grano para monitorear el estado nutricional de los cultivos, para ir corrigiendo los planteos de fertilización. Muchos experimentos en campo e invernáculo tampoco han establecido relaciones entre el S absorbido por la planta y las distintas formas de S en el suelo (Scherer, 2009). En este estudio tampoco se vieron relaciones de la concentración del S en el grano con el S total y S en la materia orgánica resistente (resultados no mostrados).

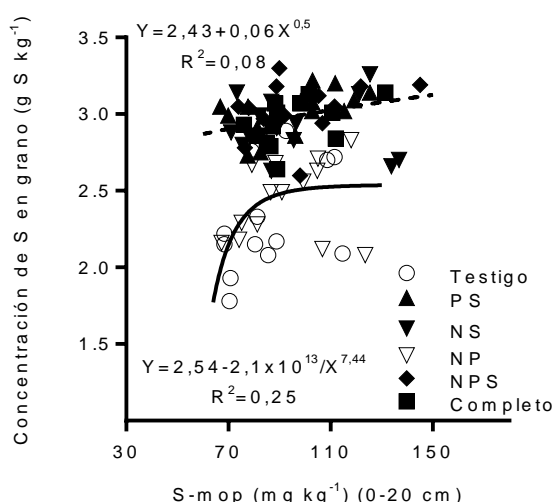


Figura 3: Relación entre la concentración de S en los granos y el S en la mop.

CONCLUSIONES

- Los granos de soja no cambiaron su contenido de N (i.e. proteína) y, por lo tanto, la exportación de N por efectos de fertilización continuada con N, P y S. Sin embargo, cambiaron la concentración de P y S en el grano y, por lo tanto, su exportación. La concentración de nutriente más sensible al manejo de la fertilización fue la de S.
- El agregado de P como fertilizante por 14 años consecutivos aumentó los contenidos de P Bray 1 en el perfil de 0-20 cm. La concentración de P en los granos de soja aumentó con la disponibilidad de P en el suelo hasta un valor de inflexión de P Bray 1 de 16-18 mg P kg⁻¹, a partir del cual las concentraciones de P en granos fueron constantes. Esto sugiere que no hubo consumo de lujo por encima de esos valores de disponibilidad.
- La fertilización con S podría ser utilizada para cambiar la relación N:S de los granos, lo cual está relacionado con la calidad proteica de los granos de soja.



**XVII Congreso Nacional y VIII Internacional de la
Ciencia del Suelo**

“Crianza del suelo para el buen vivir”

Ayacucho, Perú – 22 al 25 de mayo de 2017



AGRADECIMIENTOS

Se agradece a UBA, CONICET y ANPCYT por la financiación del presente trabajo. A PRONABEC y a la UNHEVAL por el apoyo constante.

BIBLIOGRAFÍA

- Adolfo, G. & Casas, R.** 2003. Balance de nutrientes. Fertilizar INTA Año 8 Número Especial “Sostenibilidad” ISSN 1666-8812 diciembre 2003.
- Bailey, L. D.** 1985. The sulphur status of eastern Canadian prairie soils: The relationship of sulphur, nitrogen and organic carbon. *Can. J. Soil Sci.* 65:179- 186.
- Boxler, M.** 2013. El manejo de nutrientes según los asesores. Simposio Fertilizar, Rosario. Disponible on line en: <http://www.fertilizar.org.ar>.
- Boxler, M.; García, F. O.; Correndo, A.; Gallo, S.; Pozzi, R.; Bauschen, F.; Reussi Calvo, N. & Berardo, A.** 2014. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Resultados de la campaña 2013/2014. IPNI. Disponible on-line en: <http://lacs.ipni.net/topic/research>.
- Ciampitti, I. A.; Garcia, F. O.; Piccone, L. E. & Rubio, G.** 2011. Soil Carbon and Phosphorus Pools in Field Crop Rotations in Pampean Soils of Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75: 616-625.
- Collino, D. J.; Salvagiotti, F.; Peticari, A.; Piccinetti, C.; Ovando, G.; Urquiaga, S. & Racca, R. W.** 2015. Biological nitrogen fixation in soybean in Argentina: relationships with crop, soil, and meteorological factors. *Plant Soil.* 392: 239–252.
- Correndo, A. & García, F. O.** 2012. Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico: cultivos extensivos. IPNI. AA # 14.
- Divito, G. A.; Echeverría, H. E.; Andrade, F. H. & Sadras, V. O.** 2015. Diagnosis of S deficiency in soybean crops: Performance of S and N:S determinations in leaf, shoot and seed. *Field Crops Res.* 180: 167–175.
- Eiza, M. J.; Fioriti, N.; Studdert, G. A. & Echeverría, H. E.** 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: Efecto de los sistemas de cultivo and de la fertilización nitrogenada. *Ciencia del Suelo* 23:59–67.
- Ferraris, G.; Gutiérrez Boem, F. H. & Echeverría, H.** 2002. Respuesta a la fertilización en el cultivo de soja de primera. IDIA XXI, año II, no. 3, diciembre, pp. 52-58.
- Gutiérrez Boem, F. H. & Thomas, G. W.** 1999. Phosphorus nutrition and water deficits in field-grown soybeans. *Plant & Soil* 207: 87–96.
- Gutiérrez Boem, F.H.; García, F. O. & Boxler, M.** 2010. ¿Qué tan distintos son los niveles críticos de fósforo disponible para soja, maíz y trigo? XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, mayo-junio, Rosario.
- Hitsuda, K.; Sfredo, G. J. & Klepker, D.** 2004. Diagnosis of Sulfur in soybean using sedes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:1445–1451.
- Israel, D. W.; Kwanyuen, P.; Burton, J. W. & Walker, D. R.** 2007. Response of low seed Phytic Acid Soybeans to Increases in External Phosphorus Supply. *Crop Sc. Soc.Am.* 47:2036-2046.
- Krishnah, H. B.** 2008. Improving the sulphur-containing amino acids of soybean to enhance its nutritional value in animal feed. American Society of agronomy. Crop Science Society of America. 677
- Salvagiotti F.; Ferraris, G.; Quiroga, A.; Barraco, M.; Vivas, H.; Prystupa, P.; Echeverría, H. & Gutiérrez Boem, F. G.** 2012. Identifying sulfur deficient fields by using sulfur content; N:S ratio and nutrient stoichiometric relationships in soybean seeds. *Field Crops R.* 135:107-115.
- Sattari, S. Z.; Ittersum, M. K.; Bouwman, A. F.; Smit, A. L. & Janssen, B. H.** 2014. Crop yield response to soil fertility and N, P, K inputs in different environments: Testing and improving the QUEFTS model. *Field Crops Research* 157:35-46.
- Scherer, H. W.** 2009. Sulfur in soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172: 326–335.
- Wardlaw, I.** 1990. The control of carbon partitioning in plants. *New Phytol.* 116: 341-381.