

RELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE N Y P EN GRANO Y FRACCIÓN DISPONIBLE EN EL SUELO

Data de aceite: 02/10/2023

Liliana Vega Jara

Fac. Ciencias Agrarias, Universidad
Nacional Hermilio Valdizán

RESUMEN: En una red de ensayos de largo plazo se evaluaron los efectos de 14 años de fertilización continua con N, P y S sobre la concentración de P Bray 1 y Nan, la relación Nan: P Bray 1 y, la relación de las concentraciones de N y P en granos de soja. Se analizaron suelos de tres estratos de profundidad (0-5, 5-10 y 10-20 cm) y granos de soja de cinco sitios experimentales de largo plazo de la Red de Nutrición CREA sur de Santa Fe que fueron instalados en la campaña 2000-2001, con 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) y, en siembra directa (SD). Los resultados indican que el agregado de P como fertilizante aumentó los contenidos de P Bray 1 en el perfil de 0-20 cm pero el Nan no fue afectado por la fertilización. La concentración de P en granos tendió a aumentar con la disponibilidad de P en

el suelo hasta un punto crítico de P Bray 1 de 18 mg P kg⁻¹, lo cual sugiere que no hubo consumo de lujo por encima de ese valor de disponibilidad. La sensibilidad de la concentración de P en granos y de la relación Nan: P Bray 1 al agregado de P como fertilizante, sugieren que la fertilización puede ser una herramienta para modificar la composición de nutrientes en la fracción disponible y la composición del grano.

PALABRAS CLAVE: Fertilización de cultivos - Relación Nan: P Bray 1 - Relación P grano: P Bray 1

INTRODUCCIÓN

La práctica de la fertilización de los cultivos de granos ha aumentado en los últimos años en nuestro país (Fertilizar, 2014b). 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. Estos cambios, en particular en las fracciones lábiles, pueden verse

reflejados en los productos cosechados (Ciampitti *et al.*, 2011b).

Debido a que los cambios en el suelo son lentos, se requieren experimentos de larga duración con distintos esquemas de fertilización para poder detectarlos (Boxler *et al.*, 2013; Eiza *et al.*, 2005) y evaluar su magnitud. Poco se sabe sobre la variación de las relaciones entre nitrógeno (N) y fósforo (P) en la fracción disponible del suelo por efecto de la fertilización de largo plazo y cómo se reflejarían estos cambios en los productos cosechados. La estequiometría considera las relaciones cuantitativas de los elementos en los seres vivos (Elser *et al.*, 2000b), y este concepto ha sido utilizado para estudiar los cambios en las relaciones entre nutrientes a distintos niveles de organización en ecosistemas (Peñuelas *et al.*, 2013). Las relaciones entre nutrientes también han sido propuestas como herramienta de diagnóstico de deficiencias nutricionales (Salvagiotti *et al.*, 2012). El análisis de los granos puede servir como herramienta complementaria al análisis de suelos, y también provee información sobre la exportación de nutrientes.

La región sur de Santa Fe del movimiento CREA, con el apoyo del IPNI y Agreservicios Papeanos (ASP), instalaron una red de ensayos a largo plazo en la campaña 2000-2001. 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 de tres estratos de profundidad (0-5 cm, 5-10 cm y 10-20 cm) y de granos de soja de primera y de segunda correspondientes a la campaña 2013-2014. Los objetivos de este trabajo fueron evaluar el efecto de los distintos regímenes de fertilización de largo plazo sobre: a. la concentración de P Bray 1 en el suelo y su relación con el P del grano y, b. la relación entre Nan y P Bray 1 en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron suelos de tres estratos de profundidad (0-5 cm, 5-10 cm y 10-20 cm) y granos de soja de los cinco sitios de la Red de Nutrición del CREA de la Región Sur de Santa Fe, durante la campaña 2013-2014. Las características de los ensayos son: dos sitios con rotación maíz-trigo/soja (M-T/S) (Balducci y San Alfredo) y tres sitios con rotación maíz-soja-trigo/soja (M-S-T/S) (La Blanca, La Hansa y Lambaré). Se evaluaron los seis tratamientos de la red: Testigo sin fertilizar, NP, NS, PS, NPS y Completo (NPS+micronutrientes). El diseño es en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones en cuatro sitios, y dos en San Alfredo. El tamaño de las parcelas es de 25-30 m de ancho y 65-70 m de largo. Se utiliza maquinaria del productor y labranza en siembra directa (SD) en todos los casos. La dosis de fertilización se estima a partir de los rendimientos esperados más un 5-10% de fertilización de enriquecimiento con P y S a la siembra de soja y, a partir de modelos zonales para cultivos de alto rendimiento en el caso del N (Boxler *et al.*, 2014).

Se determinó el N potencialmente mineralizable (Nan) por incubación anaeróbica

a 40°C por 7 días, método descrito por Keeney & Bremner (1966) seguido de una colorimetría. El P Bray 1 se extrajo con solución de Bray & Kurtz 1 y la medición con colorimetría. Se determinó también la concentración en grano de P (digestión húmeda) seguido de una colorimetría. Los resultados se analizaron mediante ANOVA, y de regresión. Los ANOVA de concentración de P-Bray 1 se analizaron para cada estrato por separado. Se hizo un ANOVA para la relación Nan: P Bray 1 en cada sitio por separado. Las diferencias significativas fueron determinadas a un nivel de significancia del 5% usando la prueba de LSD. Los efectos de los tratamientos sobre la relación entre la concentración de P en grano y el P-Bray 1 se analizaron con una función lineal plateau. Los efectos de los tratamientos sobre las relaciones entre Nan: P Bray1 en el suelo se analizaron con una función potencial y logarítmica con SMA. Se compararon las distintas regresiones mediante test de F y, en los casos en que no fueron diferentes, la regresión para esos tratamientos se representó con una sola función.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Concentración de P Bray 1 en el suelo

Catorce años de fertilización continua con P incrementó el P disponible (P Bray 1) en los tres estratos de profundidad (0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm) (Figuras 1 y 2). Como era esperable, los mayores efectos de la fertilización fosforada se vieron en el estrato superficial, esto puede ser debido a la forma de aplicación del fertilizante fosforado ya que se incorporaron a profundidades de 3 a 5 cm aproximadamente. Dick *et al.* (1991) reportaron que el sistema de SD permite que los nutrientes como el P se concentren en las capas superficiales, sin observarse efectos negativos de este fenómeno sobre la productividad de los cultivos. Los tratamientos sin P agregado (Testigo y NS) fueron inferiores en contenido de P Bray 1 en todo el perfil (Figura 1). Lambaré presentó los valores más altos de P Bray 1 en los tres estratos de profundidad, mientras que San Alfredo los valores más bajos (Figura 2). Los resultados en Lambaré podrían atribuirse al contenido inicial de P (71 mg kg⁻¹, 0-20 cm), mientras que los otros sitios tenían niveles más bajos y similares entre sí (10-16 mg kg⁻¹) al comienzo de los experimentos (García *et al.*, 2005). Existen evidencias que agregados continuos de P durante 8 años producen aumentos de P en el pool total (Zheng *et al.*, 2002), y 6 años continuos de aplicar P incrementa el P lábil en el perfil de 0 a 20 cm (Ciampitti *et al.*, 2011c). Por lo tanto, es razonable que 14 años de fertilización continua con P haya modificado las composiciones iniciales de P disponible en estos sitios.

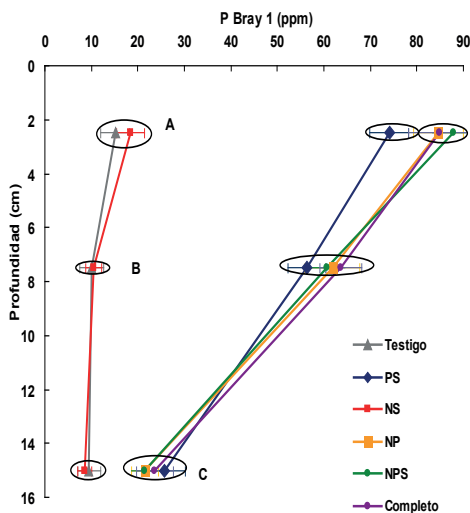


Figura 1: Distribución de la concentración de P Bray 1 a 0-20 cm en los tratamientos de la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, campaña 2013/2014. Los círculos encierran tratamientos que no son diferentes significativamente ($p > 0.05$) y las barras son el error estándar. Las letras mayúsculas representan a las diferencias significativas entre estratos de profundidad.

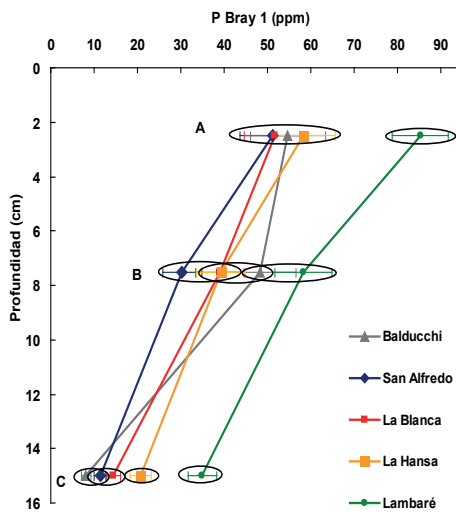


Figura 2: Distribución de la concentración de P Bray 1 a 0-20 cm en los sitios de la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, campaña 2013/2014. Los círculos encierran sitios que no son diferentes significativamente ($p > 0.05$) y las barras son el error estándar. Las letras mayúsculas representan a las diferencias significativas entre estratos de profundidad.

2. Relación entre la concentración de N y P en granos y su disponibilidad en el suelo

Los resultados obtenidos permitieron detectar una leve relación entre la concentración de N en granos y el Nan. Por otro lado, además el N en grano disminuyó ligeramente con el aumento del rendimiento (resultados no mostrados). Esto puede ser explicado porque el cultivo de soja tiene la capacidad de proveerse de N a través de la fijación biológica, por lo cual la capacidad del suelo de proveer N al cultivo no tiene relación tan directa con su concentración en el grano como en otros cultivos. Varios trabajos reportan que el 40 – 60% del N absorbido por el cultivo de soja proviene de la fijación biológica (Álvarez *et al.*, 1995; Collino *et al.*, 2015) dependiendo del genotipo del cultivar, factores ambientales y de la fertilidad del suelo (Álvarez *et al.*, 1995). El N del suelo se hace importante para el cultivo sólo en las primeras etapas de crecimiento (Fabre & Planchon, 2000).

La Figura 3 muestra la relación entre la concentración de P en los granos de soja y el P disponible 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 mg P kg⁻¹ en suelo y 5,87 mg P kg⁻¹ en granos, a partir del cual las concentraciones de P en granos fueron constantes. Este valor en suelo es ligeramente superior a los umbrales críticos de P disponible para los rendimientos del cultivo de soja en la región pampeana, que son de 9-16 ppm (Ferraris *et*

al., 2002, Gutierrez Boem *et al.*, 2010). Estos resultados sugieren 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 la probabilidad de aumentar la exportación de P por aumentos en la concentración de P en granos es baja. Por debajo de 18 mg P kg⁻¹ existe alta probabilidad que la planta siga destinando P a los granos en respuesta a aplicaciones de P como fertilizante.

Estos resultados sugieren que el análisis de concentración de P en granos puede ser complementario al de P Bray 1 como herramientas para el diagnóstico de P en suelos. Ciampitti *et al.* (2011c) obtuvieron una función polinómica entre el P acumulado en plantas de maíz y P lábil.

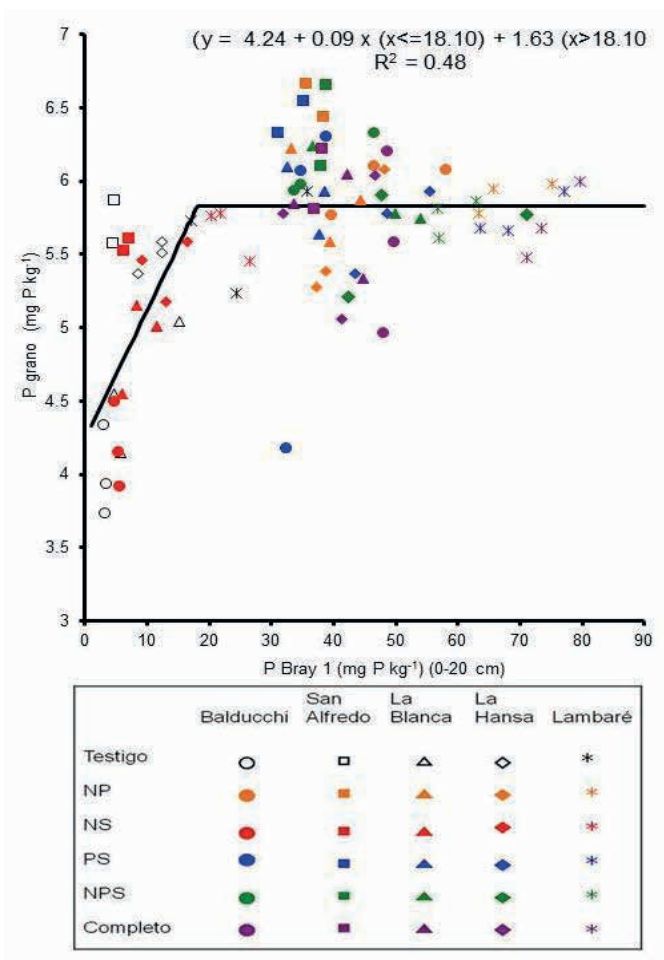


Figura 3: Relación concentración de P en granos de soja y P Bray 1 de 0-20 cm. La línea es la función Plateau de todos los tratamientos y sitios.

3. Relación Nan: P Bray 1 en el suelo

El agregado continuo de P provocó una disminución de 23% de la relación Nan: P Bray 1 en el estrato de 0 a 20 cm de profundidad (Figura 4). Esta disminución es explicada por los aumentos en concentración de P Bray con la fertilización fosforada ya que el Nan no fue afectado por la fertilización (Figura 1). Dada la gran interacción que existe entre los fosfatos y la matriz del suelo, la mayor parte del P de los fertilizantes es retenido por el suelo. En consecuencia, el agregado continuo de P produce aumentos marcados de este nutriente en las diferentes fracciones del suelo incluyendo la fracción lábil y disponible (Ciampitti *et al.*, 2011c; Zheng *et al.*, 2002). Sin embargo, no se han demostrado cambios del Nan por efectos puros de la fertilización (Eiza *et al.*, 2005).

Los tratamientos sin P agregado (NS y Testigo) presentaron valores de Nan: P Bray 1 en el suelo más altos (entre 2,33 y 9,55) que los tratamientos fertilizados con P (NP, PS, NPS, Completo) (entre 0,62 y 1,37) (Figura 5). Chen *et al* (2000a) reportaron que en suelos bajo cultivo de pastos, la relación N:P en fracción orgánica disminuía en un 33% comparado con suelos de bosque, lo cual sugiere que la relación N:P puede ser usada para evaluar la limitación de N y P.

La Figura 4 muestra que la fertilización con P además de producir cambios en las relaciones Nan: P Bray 1 también hizo esta relación más débil (bajo R^2). Esto podría deberse a que el Nan proviene de la materia orgánica del suelo, mientras que la disponibilidad de P está regulada por su fracción inorgánica lábil. Es decir, aplicaciones con P en el largo plazo hacen que su pool inorgánico sea más importante para la regulación de su disponibilidad, perdiendo relación con el Nan. Cleveland & Liptzin (2007) informaron que la relación entre estos dos nutrientes (i. e. N y P) no era lineal en el corto plazo porque concentraciones de P tienen lentos aumentos que el N. La Figura 4 también muestra que en situaciones donde el P no fue agregado (Testigo y NS) la relación Nan: P Bray 1 es más estrecha (R^2 : 0,61) tiende a ser mayor (mayor pendiente) en la medida que baja la disponibilidad de P, acercándose a los valores de relación N:P que se pueden observar en la materia orgánica del suelo (~8, Stevenson & Cole, 1999). Esto sugiere que la MOS empieza a ser una fuente relevante de P disponible en estas situaciones. Cleveland & Liptzin (2007) indicaron que el pool orgánico es fuente importante de P lábil en suelos con importantes contenidos de MO.

Las mayores disminuciones de la relación Nan: P Bray 1 por no agregar P se vieron en San Alfredo y Balducci, 30% y 32% respectivamente más que en Lambaré (sitio con mayor contenido de P Bray 1). En todos los sitios la relación Nan: P Bray 1 en tratamientos que incluyeron a la fertilización fosforada no difirieron entre sí (Figura 5). La relación Nan: P Bray 1 de los tratamientos NS y Testigo en Lambaré y La Hansa fueron las más bajas (Figura 5), esto podría atribuirse a la riqueza inicial en P, texturas arcillosas e historias agrícolas cortas en esos sitios con respecto a los demás sitios (Boxler *et al.*, 2014) que contribuyeron al aumento y mantenimiento de P en el suelo.

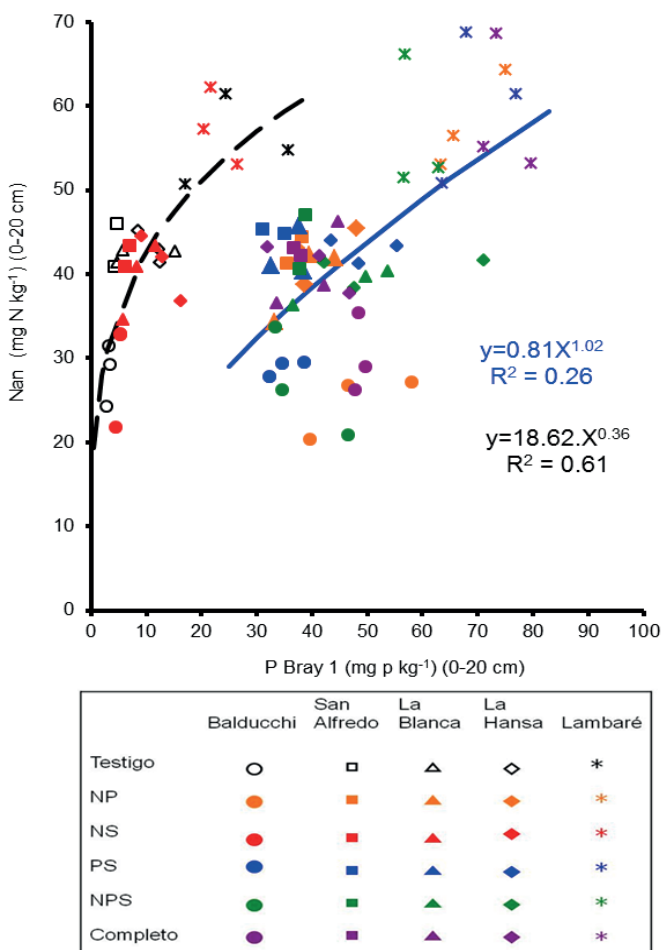


Figura 4: Relación entre concentración de Nan (mg N kg^{-1}) y P Bray 1 (mg P kg^{-1}). La línea negra punteada corresponde a la función de los tratamientos sin fertilizar con P y la línea azul llena al de los fertilizados con P.

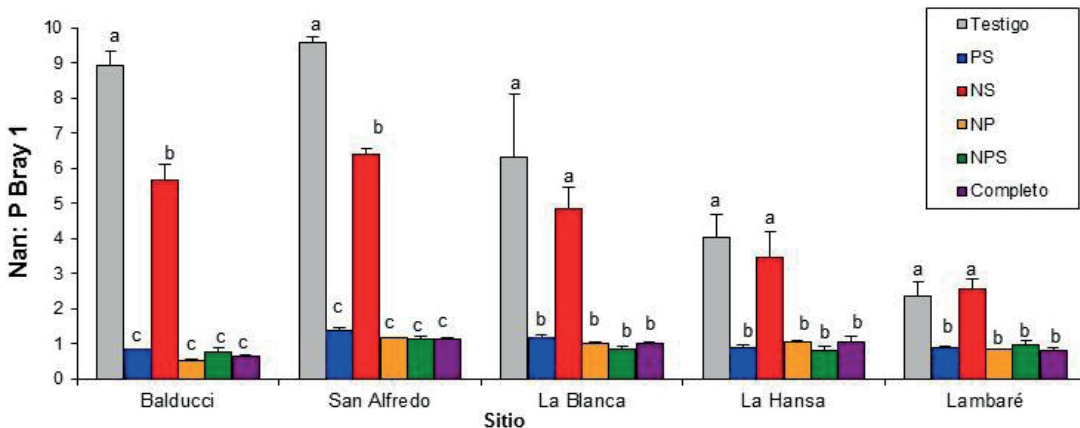


Figura 5: Relación Nan: P Bray 1 en el suelo entre los tratamientos en todos los sitios. Cambios de letra implican diferencias significativas determinadas mediante LSD a un nivel de 5% en cada sitio.

CONCLUSIONES

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 tendió a aumentar con la disponibilidad de P en el suelo hasta un punto crítico de P Bray 1 (18 mg P kg⁻¹) a partir del cual las concentraciones de P en granos fueron constantes. Estos resultados sugieren que no hubo consumo de lujo por encima de ese valor de disponibilidad.

La fertilización continua de largo plazo con P cambió la relación Nan: P Bray 1 en los suelos, mientras que aplicaciones con N no la afectaron en forma significativa. La relación Nan: P Bray 1 tendió a bajar con el aumento del P Bray 1 del suelo. La sensibilidad de la concentración de P en grano y de la relación Nan: P Bray 1 al agregado de P como fertilizante, sugieren que la fertilización puede ser una herramienta para modificar la composición de nutrientes en la fracción disponible y la composición del grano de soja.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente a F. Permingeat por la colaboración en el muestreo a campo de los ensayos y la recolección de muestras.

REFERENCIAS

Adolfo, G & R Casas. 2003. Balance de nutrientes. Fertilizar INTA Año 8 Número Especial "Sostenibilidad" ISSN 1666-8812 diciembre 2003.

Alvarez, R; J H Lemcoff & A H Merzari. 1995. Balance de Nitrógeno en un suelo cultivado con soja. Ciencia del Suelo 13:38-40.

Boxler, M. 2013. El manejo de nutrientes según los asesores. Simposio Fertilizar, Rosario. Disponible on line en: <http://www.fertilizar.org.ar>.

Boxler, M; F O García; A Correndo; S Gallo; R Pozzi; F Bauschen; N Reussi Calvo & A Berardo. 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>.

Bray, R H & L T Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorous in soil. *Soil Sci.* 134:376–380.

Chen, C R; L M Condrón; M R Davis & R R Sherlock. 2000a. Effects of afforestation on phosphorus dynamics and biological properties in a New Zealand grassland soil. *Plant Soil* 220:151–163.

Ciampitti, I A, F O García, L E Piccone & G Rubio. 2011b. Soil Carbon and Phosphorus Pools in Field Crop Rotations in Pampean Soils of Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75: 616-625.

Ciampitti, I A, L I Picone, G Rubio, & F O García. 2011c. Pathways of Phosphorous Fraction Dynamics in Field Crop Rotations of the Pampas of Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75: 3: 918-926.

Cleveland, C C & D Liptzin. 2007. C:N:P stoichiometry in soil: is there a “Redfield ratio” for the microbial biomass? *Biogeochemistry.* 85: 235-252.

Collino, D J; F Salvagiotti & A Peticari. 2015. Biological nitrogen fixation in soybean in Argentina: relationships with crop, soil, and meteorological factors. *Plant Soil* 392:239-252.

Dick, W A; E L McCoy; W M Edwards & R Lal. 1991. Continuous application of no-tillage to Ohio soils. *Agron. J.* 83:65-73.

Eiza, M J, N Fioriti, G A Studdert & H E Echeverría. 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.

Elser J J; R W Sterner; E Gorokhova; W F Fagan; T A Markow; J B Cotner; J F Harrison; S E Hobbie; G M Odell & L W Weider. 2000b. Biological stoichiometry from genes to ecosystems. *Ecology Letters* 3:540-550.

Fabre, F & C Planchon. 2000. Nitrogen nutrition, yield and protein content in soybean. *Plant Science* 152: 51-58.

Ferraris, G, F H Gutiérrez Boem & H Echeverría. 2002. Respuesta a la fertilización en el cultivo de soja de primera. *IDIA XXI*, año II, no. 3, diciembre, pp. 52-58.

Fertilizar AC. 2014b. Consumo de Fertilizantes, Campaña 2013/2014. 1 p. (www.fertilizar.org.ar).

García, F; M Boxler; J Minteguiaga; H Blanco; R Houssay; G Deza Marín & A Berardo. 2005. Efectos directos y residuales de la fertilización en maíz: Resultados de la red de nutrición CREA sur de Santa Fe. *Actas VIII Congreso Nacional de Maíz. AIANBA-Maizar.* Rosario, 16-18 Noviembre 2005. pp. 154-157.

Gutiérrez Boem, F H, F O García & M Boxler. 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.

Keeney, D R, and J M Bremner. 1966. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. *Agron. J.* 58:498–503.

Peñuelas, J; P Benjamin; J Sardans; P Ciais; M Van der Velde; L Bopp; O Boucher; Y Godderis ; P Hinsinger; J Llusia; E Nardin; S Vicca; M Obersteiner & I A Janssens. 2013. Human-induced nitrogen–phosphorus imbalances alter natural and managed ecosystems across the globe. *Nat Commun.* 4: 2934.

Salvagiotti F; G Ferraris; A Quiroga; M Barraco; H Vivas; P Prystupa; H Echeverría & F G Gutiérrez Boem. 2012. Identifying sulfur deficient fields by using sulfur content; N:S ratio and nutrient stoichiometric relationships in soybean seeds. *Field Crops Research.* 135:107-115.

Stevenson, F J & M A Cole. 1999. *Cycles of Soil* por Jhon Wiley & Sons. Inc. 605 Third Ave., New York, NY10158. ISBN 0-471-32071-4. Hardback, 427 p.

Zheng, Z, R R Simard, J Lafond & L E Parent. 2002. Pathways of soil phosphorus transformations after 8 years of cultivation under contrasting cropping practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:999–1007.