

Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica

IAH 24 - Diciembre 2016

| | |
|--|----|
| La necesidad de incrementar la eficiencia de uso del nitrógeno en cereales de invierno ... | 2 |
| ¿La fertilización con fósforo y azufre en soja aumenta el porcentaje de proteína en grano? | 8 |
| Fertilización fosforo-azufrada en secuencias de soja continua | 14 |
| Aplicación de correctores básicos y fertilizantes cálcico-magnésicos en el cultivo de soja | 20 |
| Cursos y Simposios | 24 |
| Publicaciones Disponibles | 24 |



IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE



En este número

- Eficiencia de uso de N en cereales de invierno
- La fertilización PS y proteína en soja
- Estrategias de fertilización con P y S en secuencias de soja continua
- Aplicación de correctores básicos y fertilizantes Ca y Mg en soja

Editores :
Dr. Fernando O. García
Dr. Raúl Jaramillo
Dr. Armando Tasistro

International Plant Nutrition Institute (IPNI)

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se citen la fuente y el autor.

<http://www.ipni.net>

Oficina para el Cono Sur de Latinoamérica • Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso • Buenos Aires - Argentina
Telf/Fax.: 54 11 4798 9939 • Correo electrónico: Lpisauri@ipni.net • <http://Lacs.ipni.net>

Oficina para el Norte de Latinoamérica • Casilla Postal 17 17 980 • Quito - Ecuador
Telf.: 593 2 2463 175 • Fax: 593 2 2464 104 • Correo electrónico: aormaza@ipni.net • <http://nla.ipni.net>

Oficina para México y Centroamérica • 3500 Parkway Lane, Suite 550 • Peachtree Corners, Georgia 30092-2844 - EE.UU
Telf.: 1 770 825 8079 • Fax: 1 770 448 0439 • Correo electrónico: atasistro@ipni.net • <http://mca.ipni.net>

La necesidad de incrementar la eficiencia de uso del nitrógeno en cereales de invierno

E.M. Hoffman^{1*}, N.C. Fassana², S. Mazzilli¹, A. Berger², O. Ernst¹

Introducción

El nitrógeno (N) es un nutriente esencial y en la medida que el mejoramiento genético ha elevado el potencial de rendimiento de los cultivos, crece su demanda y, por lo tanto, la fertilización nitrogenada pasa a ser determinante de la variación del rendimiento en grano de los cereales (Sinclair y Horie, 1989; Salvagiotti et al., 2009). Si concomitantemente se reduce la oferta de N por parte del suelo, el manejo de la fertilización (dosis, momento, forma y fuente) definen la eficiencia de uso del N agregado. El incremento en las cantidades de N agregadas, en particular en ambientes con capacidad de oferta disminuida (García et al., 2009; Hoffman y Perdomo, 2011), conduce hacia una disminución en la cantidad de grano total producido por unidad de N total usado (PPFN - productividad parcial del factor N) (Pierce y Rice, 1988; Dobermann, 2007) y en caso de excesos podría incrementar las posibilidades de pérdida, aumentando el potencial de contaminación (Cassman et al., 2003). En este escenario de agregado de altas dosis de N, profundizar en la base de la eficiencia de uso del N (EUN) (kg de grano por kg de N agregado), parece una necesidad ineludible.

El sistema de agricultura continua implementado en Uruguay, ha determinado una reducción en la capacidad de aporte de N desde el suelo (Siri y Ernst, 2009, García et al., 2009; Hoffman et al., 2013; Mazzilli et al., 2015), determinando un incremento en las cantidades de N que es necesario aplicar a los cultivos (Hoffman y Perdomo, 2011; Centurión y Chinazo, 2012; Hoffman et al., 2013; Cazaban y Rubio, 2014; Hoffman et al., 2014; Mazzilli 2014). Si bien la cantidad agregada de N por parte de los productores es mayor, las cantidades absorbidas por los cultivos no cubren las necesidades, y ello en parte explica la variación del rendimiento de los cereales entre chacras y empresas en Uruguay (Ernst, 2014; Hoffman et al., 2014; Mazzilli, 2014). Esto implica que el desajuste del N sea uno de los principales responsables de la brecha de rendimiento (Berger et al., 2014a; Ernst., 2014), y probablemente del estancamiento de la productividad nacional de los cereales en los últimos 10 a 12 años (García, 2009; Hoffman et al., 2014; Hoffman et al., 2015).

El constante aumento en los costos de producción, con bajos precios de los cereales en las últimas zafas, exige incrementar la productividad de estos cultivos, contemplando que no se reduzcan los márgenes brutos. En este sentido la productividad parcial de los distintos factores de producción (Pierce y Rice, 1988; Dobermann,

2007), en particular la del N (PPF_N), deberá mantenerse elevada, aunque dentro de los rangos que no evidencien problemas de extracción excesiva (cuando los valores de PPF_N son muy elevados), o de exceso y riesgo de contaminación (PPF_N muy bajos) (García, 2013). El primer aspecto o paso para mantener una elevada EUN, debe basarse en una elevada PPFN (García y Salvagiotti, 2009). Para que ello ocurra, el ajuste de este nutriente, se debe considerar los cuatro requisitos básicos (4R) para la nutrición de las plantas (Bruulsema et al., 2013).

La propuesta de manejo de N disponible para cereales de invierno en Uruguay (Hoffman et al., 2001; Perdomo et al., 2001; Hoffman et al., 2010), es una herramienta que permite manejar el N buscando altas EUN (Hoffman y Perdomo, 2011). Las alternativas para evitar fuertes caídas de la EUN, cuando las dosis de N necesarias se incrementan, también deberán contemplar la eliminación o reducción de las restricciones dadas por el ambiente y otros factores de manejo. El objetivo de este trabajo es profundizar en los componentes principales de la EUN, la eficiencia de absorción o recuperación aparente del N derivado del fertilizante (RAN) y la eficiencia de utilización o fisiológica del N recuperado (EFNr) (Moll et al., 1982; Huggins y Pan, 1993) y los factores que la pueden estar afectando.

Caminos opuestos: demanda de nitrógeno de los cultivos y oferta de los suelos

Es conocido el incremento en la demanda de N de los cereales en la medida que aumenta el potencial de rendimiento (Baethgen, 1992; Perdomo y Hoffman, 2011; Ceriani e Inella, 2012; García y Correndo, 2013; Berger et al., 2014a). Sin embargo, en las condiciones locales y como resultado del cambio hacia un sistema de agricultura continua sin rotación con pasturas, ha disminuido la oferta de N por parte de los suelos, llevando a que se incremente la brecha entre las necesidades de N por parte de los cultivos y su aporte por el suelo. El resultado es el aumento en las dosis de N necesarias (Hoffman y Perdomo, 2011; Hoffman et al., 2013) y una sensible disminución en la cantidad de N absorbida por los cultivos, en ausencia de fertilización nitrogenada (**Figura 1**).

El aporte de N desde el suelo durante la estación de crecimiento del trigo se redujo en 44% comparando las situaciones evaluadas sobre chacras con más de 5 años de agricultura continua, con lo que podría ser una rotación con pasturas con hasta 5 años de agricultura. Estos resultados confirman el diagnóstico surgido de una profusa

¹ Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Departamento de Producción Vegetal (EEMAC). Paysandú, Uruguay

² INIA La Estanzuela Programa Cultivos de Secano

* Autor de contacto. Correo electrónico: tato@fagro.edu.uy

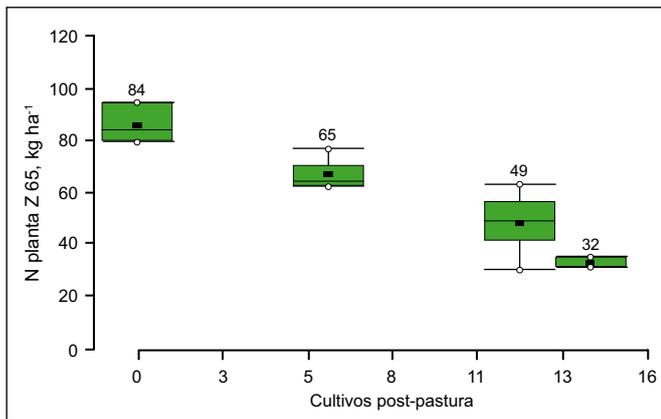


Figura 1. Variación en la cantidad de N absorbido a Z 65 de trigo, en relación al número de cultivos post-pastura, en cultivos sin agregado de N. Red experimental de manejo de N en trigo, año 2011.

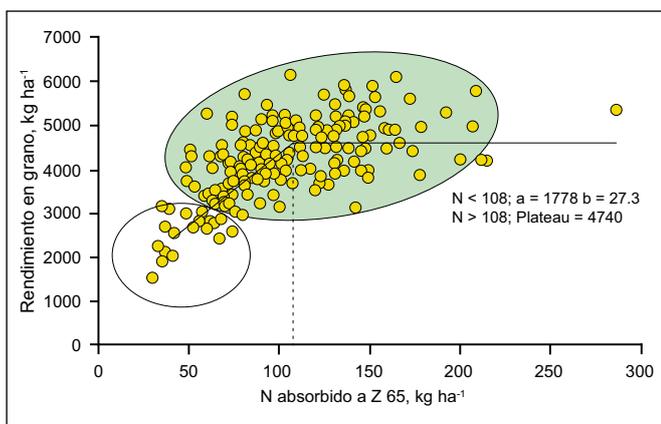


Figura 2. Variación del rendimiento en grano de trigo, en función de la cantidad de N absorbido a Z 65 a nivel de producción (Región litoral centro, año 2011), sin N (área vacía) y con N (área llena). Red experimental de manejo de N en trigo, año 2011.

y coherente información generada recientemente a nivel local, que evidencian las elevadas necesidades de agregado de N en los cereales de invierno y la importante pérdida de rendimiento registrada cuando estas necesidades no son cubiertas (Hoffman y Perdomo, 2011; Perdomo y Hoffman, 2011; Centurión y Chinazo, 2012; Ernst y Siri, 2011; Hoffman et al., 2013; Ernst, 2014; Hoffman et al., 2014; Mazzilli, 2014).

El N aportado por los suelos (**Figura 1**), podría cubrir tan solo un 30% en promedio, y hasta casi el 80% de las cantidades de N absorbidas hasta el estadio Z 65 en trigo a partir del cual ya no hay incrementos de rendimiento en grano, dependiendo del tiempo transcurrido desde la última pastura (**Figura 2**). Esto indica la reducida cobertura de las necesidades de N por parte del suelo evidenciada en los bajos valores de $N\text{-NO}_3$ en suelo y N en planta registrados a nivel de producción (Hoffman et al., 2013; Hoffman et al., 2014).

Haciendo foco en la eficiencia de uso del nitrógeno

Aunque se incremente la respuesta absoluta en rendimiento en grano, la tendencia, cuando aumenta la

dosis de N, es la reducción de la EUN (MacDonald, 1992; Timsina et al., 2001; Dobermann, 2007; Salvagiotti et al., 2009; Fontanetto et al., 2010; Hoffman y Perdomo, 2011). Esta tendencia existe, aunque se logre una elevada respuesta en rendimiento en grano, aun respetando los cuatro requisitos (4R) para la nutrición de plantas (Bruulsema et al., 2013). Los dos componentes principales que definen la EUN son: la eficiencia de absorción o recuperación del N derivado del fertilizante (ERNf o RAN, según como sea estimada) y la eficiencia fisiológica del N recuperado (EFNr) (Moll et al., 1982; Huggins y Pan, 1993; Dobermann, 2007).

Trabajos recientes en la región (Salvagiotti y Miralles, 2008; Salvagiotti et al., 2009), evidencian que el principal sub-componente asociado con la variación de la EUN, es la RAN, y que la EFNr tiende a variar poco (Salvagiotti et al., 2009), o sensiblemente menos que la RAN (Rouanet, 1994). En cereales de invierno, la EFNr oscila entre 65 y 25 kg de grano kg N^{-1} recuperado, en función del potencial del cultivo, las condiciones ambientales, la dosis de N y el material genético (Huggins y Pan, 1993; Rouanet, 1994; Salvagiotti et al., 2009), pero su relación con la variación de la EUN, es media a baja y errática (Rouanet, 1994; Salvagiotti et al., 2009). Sin embargo, como la EFNr tiene fuerte control genético (Rouanet et al., 2001), las tendencias actuales en cuanto a los componentes asociados a las ganancias genéticas de potencial de los cereales de invierno (Berger et al., 2014b; Hoffman et al., 2015) podrían cambiar esta situación.

En la red de ensayos realizada en Uruguay por la Facultad de Agronomía – UdelaR, en los departamentos de Paysandú y Río Negro en los años 2011 y 2012, se estudió la respuesta al agregado de N a Z 30 en trigo en situaciones con diferente capacidad de aporte de N del suelo. Los resultados muestran que para un rango de agregado de N recomendado a Z 30 en base al modelo de Baethgen (1992), desde los 25 a 157 kg ha^{-1} , la EFNr varió entre los 20 y 50 kg de grano por kg N^{-1} recuperado aparente, con un promedio de 27 kg de grano. kg N^{-1} recuperado aparente, pero con baja relación con la dosis de N ($R^2 = 0.24$). A diferencia de lo mencionado previamente, la relación entre la EUN y la EFNr varió con el potencial de rendimiento en grano. Dicha relación fue baja en general, aunque mayor cuando el potencial de rendimiento fue alto (como en el año 2011) ($R^2 = 0.35$) y muy baja cuando el potencial de rendimiento fue bajo (como en el 2012) ($R^2 = 0.18$). El potencial de rendimiento en grano (Rendimiento promedio) en 2011 fue 4298 kg ha^{-1} , con un rendimiento máximo de 5210 kg ha^{-1} , mientras que el rendimiento promedio en 2012 fue 2814 kg ha^{-1} , con un rendimiento máximo de 3522 kg ha^{-1} (datos no mostrados).

Bajo estas condiciones, la RAN varió dentro de los rangos esperados según la información disponible (Moll et al., 1982; Huggins y Pan, 1993; Rouanet, 1994; Rouanet et al., 2001; Dobermann, 2007; Salvagiotti et al., 2009) (**Figura 3**).

La RAN cambió con la dosis recomendada a Z 30, y si bien se incremento con las necesidades de N, la proporción aparente del N recuperado se ubica en promedio por debajo del 50%. Resultados de baja recuperación del N derivado de fertilizante han sido ampliamente indicados en los últimos 30 años (Daniel et al., 1986; Dobermann, 2007). Estos bajos valores de RAN pueden inclusive estar sobreestimados (Daniel et al., 1986; Rouanet et al., 2001; Dobermann, 2007), en la medida que, como consecuencia del agregado de N, el suelo puede incrementar su aporte

(Yoshida et al., 1977; Rao et al., 1992), los cultivos incrementar su capacidad de extracción (Katterer et al., 1993; Mandal et al., 2003) y absorción (Giller et al., 2004) del N aportado por el suelo.

Esta situación de un nivel de recuperación del N aparente por debajo del 50%, aun con dosis de N surgidas del modelo de ajuste que ha mostrado ser muy sólido en Uruguay (Hoffman et al., 2010, Hoffman et al., 2011), representa un incremento del riesgo potencial de contaminación (definido como la diferencia entre en el N agregado y el N recuperado) en la medida que las cantidades de N necesarias actuales se incrementan.

El rol del S en la recuperación de una mayor proporción del N que se agrega vía fertilizante

Existe abundante evidencia del impacto que la interacción N x S tiene sobre la EUN en distintos cultivos (Salvagiotti y Miralles, 2008; Fontanetto et al., 2010; García, 2013; Hoffman et al., 2013). El agregado de S, en particular en suelos de texturas francas y bajo contenido de materia orgánica y con una larga historia agrícola de elevados niveles de extracción de nutrientes, mejora sensiblemente la producción de biomasa, rendimiento en grano, e índice de cosecha en distintos cultivos, particularmente a dosis elevadas de N (Reneau Jr et al., 1986; Salvagiotti y Miralles, 2008; García y Salvagiotti et al., 2009; Salvagiotti et al., 2009; Fontanetto et al., 2010; Mazzilli y Hoffman, 2010; Hoffman et al., 2013).

Los trabajos que descomponen la EUN en sus dos sub-componentes, muestran el impacto significativo del S cuando se incrementa la dosis de N, mejorando fundamentalmente la RAN (Salvagiotti et al., 2009). Resultados en este mismo sentido se obtuvieron en el proyecto de la red experimental de manejo de N en trigo en Uruguay, con el agregado de N a Z 30 en trigo (Figura 4). La aplicación de S incrementó la RAN en todo el rango de N agregado, manteniendo, con las situaciones sin S, una diferencia casi constante.

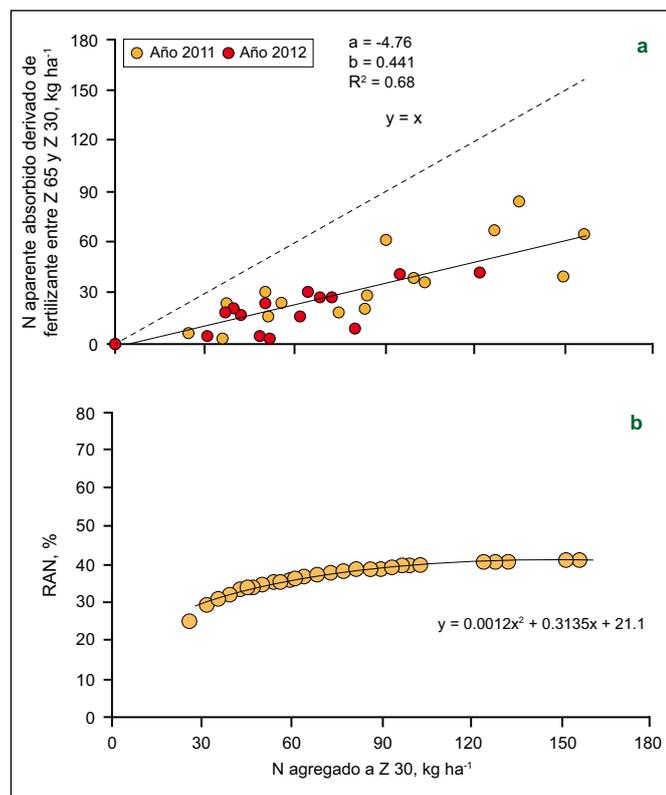


Figura 3. Cantidad de N aparente recuperado derivado del fertilizante (a) y valores pronosticados para la evolución de la RAN (b), en función de la dosis de N recomendada y agregada, en base al modelo de Baethgen (1992). Red experimental de manejo de N en trigo 2011 y 2012.

Tabla 1. Nitrógeno promedio absorbido a Z 30 y Z 65, incremento del N absorbido entre ambos estadios (Δ N ABS) y recuperación del N aparente derivado del fertilizante (RAN), y N aplicado a Z 30, según la recomendación del modelo de Baethgen (1992) (NR) y 50% adicional al recomendado en el mismo estadio, con y sin S. Red experimental de manejo de N en trigo.

| | Testigo | ----- N Recomendado ----- | | ----- N Recomendado + 50% ----- | |
|---|---------|---------------------------|-------|---------------------------------|-------|
| | | Sin S | Con S | Sin S | Con S |
| N absorbido a Z 30 (kg ha ⁻¹) | 63 | 64 | 66 | 65 | 64 |
| N absorbido a Z 65 (kg ha ⁻¹) | 88 | 102 | 118 | 119 | 131 |
| Δ N ABS Z 65-Z 30 (kg ha ⁻¹) | 25 | 38 | 52 | 54 | 67 |
| N aplicado a Z 30 (kg ha ⁻¹) | 0 | 58 | 58 | 88 | 88 |
| RAN (%) | -- | 22 | 47 | 33 | 48 |
| RAN promedio (%) | | 35 | | 41 | |

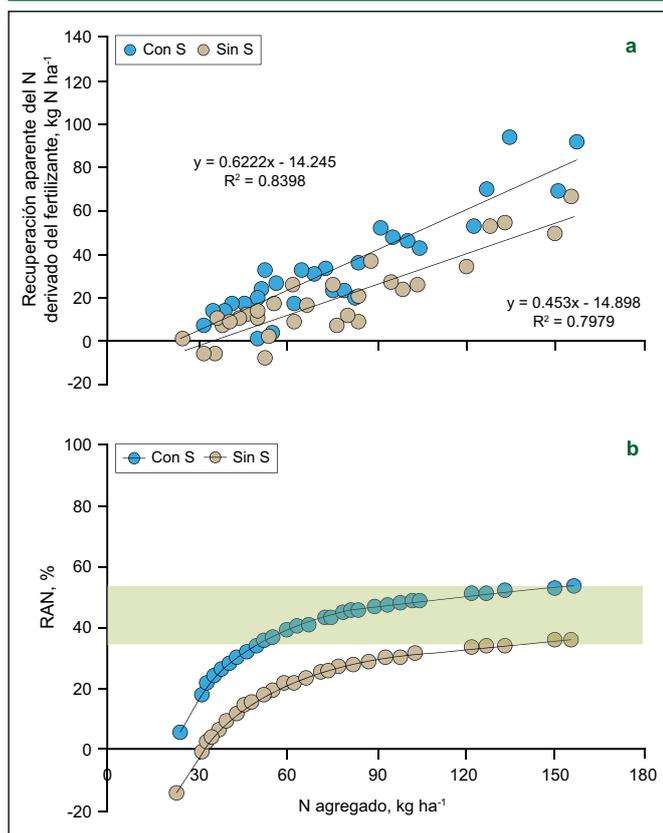


Figura 4. Cantidad de N aparente recuperado derivado del fertilizante (a) y valores pronosticados para la evolución de la RAN (b), en función de la dosis de N aplicada según la recomendación del modelo de Baethgen (1992), con y sin S. Red experimental de manejo de N en trigo.

Se evaluó la respuesta al agregado de N a las dosis recomendadas a Z 30 (NR) y un 50% adicional al N recomendado en el mismo estadio, en base al modelo de Baethgen (1992) (NR + 50%), con y sin S (Tabla 1). Con el agregado de S, en chacras viejas (más de 5 años de agricultura), la RAN alcanzó valores que oscilaron en torno al 50% de las dosis máximas de N, aun cuando estas fueron 50% por encima del N recomendado a Z 30 (Tabla 1).

En base a la cantidad promedio de N absorbida hasta Z 65, en relación al N absorbido hasta Z 30, 25 kg de N ha⁻¹ derivaron del suelo durante este período en los testigos sin agregado de N. El agregado de N a Z 30 a las dosis de NR y NR+50, permitieron incrementar las cantidades absorbidas entre Z 65 y Z 30 en un 54% y 92% (para NR y NR + 50, respectivamente). El agregado de N en presencia de S, incrementó aún más las cantidades absorbidas de N. La RAN, calculada como el N absorbido diferencial de los tratamientos fertilizados en relación al testigo sin fertilizar con N, en relación a las dosis de N agregadas a Z 30, permitió alcanzar proporciones cercanas al 50%, aun cuando las cantidades de N fueron superiores a las que se hubiesen agregado en base al modelo de dosis antes mencionado.

Como se comentó anteriormente, tanto el agregado de N como el de S, pueden estimular la mineralización de la materia orgánica del suelo, la exploración radicular o

la actividad de las enzimas encargadas de la absorción nitrogenada, y sobre-estimar la RAN (Rao et al., 1992; Katterer et al., 1993; Mandal et al., 2003; Giller et al., 2004; Dobermann, 2007). Por lo tanto, se debería, como lo sugiere Salvagiotti et al. (2009), pensar a priori, en términos de recuperación de N del suelo, más allá de donde provenga y que ello pueda ayudar a evitar grandes pérdidas de N, potencialmente contaminantes.

Consideraciones finales

Mantener una elevada EUN es importante, no solo por la productividad parcial de este nutriente o por su impacto en la rentabilidad del sistema agrícola, sino por el control del potencial de contaminación.

En un ambiente que cada vez contribuye menos a cubrir las necesidades de N de los cultivos, las cuales se incrementan a su vez con el aumento de potencial de rendimiento, es necesario conocer la variación de la EFN y la RAN, para encontrar las mejores alternativas de uso y rentabilidad al agregado de este nutriente.

A bajas dosis de N recomendadas, se observaron bajos niveles de recuperación del N derivado de fertilizante. Sin embargo, en la medida que se incrementan las necesidades y dosis de N, se recuperaría una mayor proporción de este nutriente. A pesar de ello, el incremento de las dosis de N en un estadio dado, incrementan las cantidades absolutas de N que no son absorbidas por los cultivos, aumentando el riesgo de contaminación. En este trabajo se muestra que para mejorar la RAN, el principal componente de la EUN, es necesaria una disponibilidad adecuada de S ya que contribuiría a reducir el N potencialmente contaminante.

El trabajo iniciado hace 20 años en Uruguay, enfocado a mejorar el uso del N en los cereales de invierno, tuvo como objetivo la identificación de elementos objetivos de diagnóstico y el desarrollo de propuestas para estimar las cantidades de N necesarias a agregar. Actualmente, desde distintos ángulos, se apuesta a seguir perfeccionando las herramientas disponibles y generar conocimiento que permita mantener la EUN y disminuir eventuales pérdidas de N, aun cuando las dosis de N se incrementen. En el corto plazo, el uso de herramientas de diagnóstico mejoradas, involucrando cada vez más al cultivo como elemento de diagnóstico, permitirían contemplar a campo los diferentes ambientes intrachacra, proponiendo estrategias para el fraccionamiento de altas dosis en estadios posteriores al inicio del encañado, o mejorando el conocimiento acerca de las distintas fuentes de fertilizantes.

Agradecimientos

A Bunge S.A. por el apoyo recibido para la ejecución de investigaciones reportadas en este artículo.

Bibliografía

- Baethgen, W. 1992. Fertilización nitrogenada de cebada cervecera en el litoral oeste del Uruguay. INIA La Estanzuela. Serie Técnica Nº 24. 58 p.
- Berger, A.G., D. Gaso, R. Calistro, y M.X. Morales. 2014a. Limitantes ambientales y potencial de rendimiento de trigo en Uruguay. En: Seminario Internacional 1914-2014: Un siglo de mejoramiento de trigo en La Estanzuela: un valioso legado para el futuro. 27-29 agosto 2014. INIA La Estanzuela, Colonia. Resúmenes. pp. 33.
- Berger, A.G., D. Vázquez, R. Calistro, y M.X. Morales. 2014b. Acumulación de nitrógeno y determinación de la calidad panadera en trigos de alto rendimiento. Congreso uruguayo de suelos y VI encuentro de la SUCS. Colonia del Sacramento, 6-8 agosto 2014.
- Bruulsema, T., P. Fixen, y G. Sulewski. 2013. 4R de la nutrición de plantas: un manual para mejorar el manejo de la nutrición de plantas. IPNI. Norcross, Georgia, EE.UU. Traducción al español oficinas del IPNI Latinoamérica.
- Cassman, K.G., A. Dobermann, D.T. Walter, y H. Yang. 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Annual Review of Environment and Resources*, 28:315-358.
- Cazaban, M., y D.N. Rubio. 2014. Efecto de la fertilización nitrogenada tardía (V10-11), sobre el rendimiento de maíz. [Tesis para la obtención del título de ingeniero agrónomo]. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Uruguay. 81 p.
- Centurión, A.H., y M.V. Chinazo. 2012. Rendimiento alcanzable en trigo en función de los años de agricultura. Relevamiento de chacras. [Tesis para la obtención del título de ingeniero agrónomo]. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Uruguay. 72 p.
- Ceriani, M., y J.A. Inella. 2012. Efecto de la fertilización nitrogenada tardía (V10-11) sobre el rendimiento de maíz en condiciones de riego y secano. [Tesis para la obtención del título de ingeniero agrónomo]. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Uruguay. 66 p.
- Daniel, P.E., R. Álvarez, J.H. Lemcoff, y D. Casanova. 1986. Efecto de los procesos de inmovilización y mineralización en el suelo sobre la determinación isotópica, del aprovechamiento del fertilizante nitrogenado en maíz. *Ciencias del suelo*, 4(1):85-89.
- Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency – measurement and management. Fertilizer best management practices general principles, strategy for their adoption and voluntary initiatives vs regulations. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices 7-9 March 2007, Brussels, Belgium. 28 p.
- Ernst, O. 2014. Efecto de los años de agricultura continua sobre el rendimiento actual y alcanzable en trigo en Uruguay. En: Intensificando el conocimiento del suelo y medioambiente para producir más y mejor. Congreso uruguayo de ciencias de suelo. VI encuentro de la SUCS. [En línea] Consultado 17 septiembre 2015. Disponible en: <http://www.suelos.com.uy/pdf/p/i-t.pdf>
- Ernst, O., y G. Siri Prieto. 2011. La agricultura en Uruguay. Su trayectoria y consecuencias. En: Ribeiro A. [Ed.]. II Simposio Nacional de Agricultura. No se llega si no se sabe a dónde ir. El abordaje necesario para que el proceso de expansión agrícola madure en Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Hemisferio Sur.149-163.
- Fontanetto H, Keller O, Belotti L, Negro C, Giailevra D. 2010. Efecto de diferentes combinaciones de nitrógeno y azufre sobre el cultivo de sorgo granífero (campaña 2008/09). *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 46:21-23.
- García, A., A. Morón, y A. Quincke. 2009. El indicador del potencial de mineralización (PMN): Posible uso para recomendación de fertilización en trigo por el método de balance. En: Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos. Simposio de Fertilidad. IPNI Cono Sur- Fertilizar AC. Mayo del 2009. Rosario-Argentina. pp. 218-220.
- García, F.O. 2013. La Agricultura en el Cono Sur ¿qué sabemos, qué debemos conocer? En: Ribeiro A, Silva H. [Eds.] III Simposio Nacional de Agricultura. No se llega si no se sabe a dónde ir. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Hemisferio Sur. 3-17.
- García, F.O. 2009. Introducción: Marco de referencia del Simposio. En: Hoffman E, Ribeiro A, Ernst O, García FO [Org]. Primer Simposio Nacional de Agricultura de secano. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 3-5.
- García, F.O., y F. Salvagiotti. 2009 Nutrient use efficiency of cropping systems in the Southern Cone of Latin America Symposium “Nutrient Use Efficiency” presented by the International Plant Nutrition Institute (IPNI) at the XVIII Latin American Congress of Soil Science. San José de Costa Rica. pp. 35-46.
- García, F.O., y A.A. Correndo. 2013. Planilla de cálculo para estimar la absorción y extracción de nutrientes cereales, oleaginosas, industriales y forrajeras. IPNI Programa Latinoamérica Cono Sur. [En línea]. Consultado 7 septiembre 2015. Disponible en: <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>
- Giller, K.E., P. Chalk, A. Dobermann, L. Hammond, P. Heffer, J.K. Ladha, P. Nyamudeza, L. Maene, H. Salí, y J. Freney. 2004. Emerging Technologies to increase the efficiency of use of fertilizer nitrogen. In: Mosier AR, Syers KJ, Freney JR, (Eds), *Agriculture and the nitrogen cycle*. Island Press Washington, USA, pp. 35-51.
- Hoffman, E., y C. Perdomo. 2011. Manejo del nitrógeno en cereales de invierno, en un escenario de cambios del sistema agrícola uruguayo. En: Ribeiro A. [Ed.]. II Simposio Nacional de Agricultura. No se llega si no se sabe a dónde ir. El abordaje necesario para que el proceso de expansión agrícola madure en Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Hemisferio Sur. 45-60.
- Hoffman, E.M., A. Locatelli, C.N. Fassana, L. Viega, y A.J. Castro. 2015. Evaluación de la evolución de la oferta varietal del trigo en Uruguay en el siglo XXI. En: Memorias de Seminario Internacional. 1914-2014, un Siglo de Mejoramiento de Trigo en la Estanzuela. Agosto 2014. INIA la Estanzuela. Colonia Uruguay (en prensa).

- Hoffman, E.M., P. Arbelteche, C.N. Fassana, A. Locatelli, G. Gutierrez, L. Viega, y A.J. Castro. 2014. Estudio del posicionamiento tecnológico y estratégico de la cebada cervecera en Uruguay. Relevamiento de cultivos de invierno. Proyecto de la MNECC. Uruguay. 42 p.
- Hoffman, E. M., C.N. Fassana, y C. Perdomo. 2013. Manejo de nitrógeno en cereales de invierno. ¿Agregando más nos estamos quedando cortos? En: Ribeiro A, Silva H. [Eds.] III Simposio Nacional de Agricultura. No se llega si no se sabe a dónde ir. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Hemisferio Sur. 51-62.
- Hoffman, E. M., C. Perdomo, O. Ernst, M. Bordolli, M. Pastorini, C. Pons, y E. Borghi. 2010. Propuesta para el manejo del nitrógeno en cultivos de invierno en Uruguay. En: Informaciones Agronómicas del Cono sur. IPNI-Instituto Internacional de Nutrición de Planta- ISSN 1666-7115- RPI. 782346. Nro 46. Junio del 2010. Argentina. 13-18 p.
- Hoffman, E. M., C. Perdomo, O. Ernst, M. Bordolli, M. Pastorini, C. Pons, y E. Borghi. 2001. Propuesta de manejo de la fertilización nitrogenada para cultivos de invierno en Uruguay. En: Seminario Nacional de discusión técnica. Junio del 2001. Paysandú-Uruguay. EEMAC-FAGRO-UDELAR.
- Huggins, D.R., y W. Pan. 1993. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. *Agronomy Journal*, 85:898-905.
- Katterer, T., A.C. Hansson, y O. Andrin. 1993. Wheat root biomass and nitrogen dynamics: effects of daily irrigation and fertilization. *Plant and Soil*, 151:21-30.
- MacDonald, G.K. 1992. Effects of nitrogenous fertilizer on the growth, grain yield and grain protein concentration of wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 43:949-967.
- Mandal, U.K., G. Singh, U.S. Victor, y K.L. Sharma. 2003. Green manuring: its effect on soil properties and crop growth under rice-wheat cropping system. *European Journal of Agronomy*, 19:225-237.
- Mazzilli, S. 2014. Registros de chacra: principales variables que determinaron el rendimiento y calidad. En: Jornada de cultivos de invierno de FUCREA. [En línea] Consultado 17 septiembre 2015. Disponible en: <http://www.fucrea.org/informacion/index.php?Typeld=15&ClassId=46&Id=1315>
- Mazzilli, S. y E.M. Hoffman. 2010. Respuesta a la fertilización con azufre en el cultivo de colza-canola en suelos del litoral norte del Uruguay. En: Informaciones Agronómicas del Cono Sur. IPNI-Instituto Internacional de Nutrición de Planta. Junio 2010. Argentina. pp.18 -21.
- Mazzilli, S., O. Ernst, A. Sastre, y G. Terra. 2015. Disponibilidad de nitratos en sistemas agrícolas sin laboreo y su relación con variables ambientales y de manejo. *Agrociencia Uruguay*, 19(1):131-139.
- Moll, R.H., E.J. Kamprath, y J.A. Jackson. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*, 74:562-564.
- Perdomo, C.H., y E.M. Hoffman. 2011. Manejo de nitrógeno en maíz; actualidad y perspectivas. En: Ribeiro A. [Ed.]. II Simposio Nacional de Agricultura. No se llega si no se sabe a dónde ir. El abordaje necesario para que el proceso de expansión agrícola madure en Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Hemisferio Sur. 61-75.
- Perdomo, C., E.M. Hoffman, C. Pons, y E. Borghi. 2001. Fertilización en cebada cervecera. Boletín de Divulgación Facultad de Agronomía - UdelaR - OIEA Gestión de la Nutrición de las Plantas, el Suelo y el Agua Reunión final de Coordinadores Proyecto Gestión del Suelo, las plantas y el agua: ARCAL XXII, 26-30 marzo 2001, Oaxaca, México.
- Pierce, F.J., y C.W. Rice. 1988. Crop rotations and its impact on efficiency of water and nitrogen use. En: Hargrove WL [Ed.] Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen. ASA Spec. Publ. 51. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, Wisconsin, USA. 21-42.
- Rao, A.C.S., J.J. Smith, J.F. Parr, y R.I. Papendick. 1992. Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic dilution methods. *Fertilizer Research*, 33:209-217.
- Reneau Jr., R.B., D.E. Bran, y S.J. Donohue. 1986. Effect of sulphur on winter wheat grown in the Coastal Plain of Virginia. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 17:149-158.
- Rouanet, J.L. 1994. Eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno por cultivos anuales en futura agricultura sustentable. *Agricultura Técnica (Chile)*, 54:169-179.
- Rouanet, J.L., I. Pino, A.M. Parada, y A. Nario. 2001. Effect of three soil systems on physiological nitrogen use efficiency in wheat crop. *Agricultura Técnica (Chile)*, 61(4):459-469.
- Salvagiotti, F., y D.J. Miralles. 2008. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. *European Journal of Agronomy*, 28(3):282-290.
- Salvagiotti, F., J.M. Castellarín, D.J. Miralles, y H.M. Pedrol. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crop Research*, 113:170-177.
- Sinclair, T.R., y T. Horie. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. *Crop Science*, 29:90-98.
- Siri Prieto, G., y O. Ernst. 2009. Cambios en el contenido de carbono y nitrógeno del suelo: ¿hacia dónde va el sistema? En: Hoffman E, Ribeiro A, Ernst O, García FO [Org]. Primer Simposio Nacional de Agricultura de Secano. Universidad de la República. Facultad de Agronomía, 111-123.
- Timsina, J., U. Singh, M. Badaruddin, C. Meisner, y M.R. Amin. 2001. Cultivar nitrogen and water effects on productivity and nitrogen-use efficiency and balance for rice-wheat sequences of Bangladesh. *Field Crop Research*, 72:143-161.
- Yoshida, T., y B.C. Padre. 1977. Transformation of soil and fertilizer nitrogen in paddy soil their availability to rice plants. *Plant and Soil*, 47:113-123.*

¿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⁻¹ (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⁻¹, 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⁻¹ de P Bray-1, el 95% menores de 10 mg kg⁻¹ de S-SO₄ 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-NO₃ a 0-60 cm varió entre 7 (Pringles II) y 146 kg ha⁻¹ (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⁻¹; T3) 20-22 kg P ha⁻¹ + 12-13 kg S ha⁻¹; T4) 40-44 kg P ha⁻¹ + 24-26 kg S ha⁻¹. 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⁻¹. 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-NO₃, el resto de los análisis se evaluaron a una profundidad de 0 a 20 cm.

| Localidad-año | Variedad | Proteína | Aceite | Rendim. | N-NO ₃ | pH | MO | P Bray-1 | S-SO ₄ ⁻² | Precipitaciones | |
|----------------------|-----------------|----------|----------|-------------------------------|-------------------|-----|-----|-------------------------------|---------------------------------|-----------------|-------|
| | | Testigo* | Testigo* | Testigo | (0-60cm) | | | | | O+N+D | E+F+M |
| | | % | % | ---- kg ha ⁻¹ ---- | | | % | ---- mg kg ⁻¹ ---- | | ----- 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 m² 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).

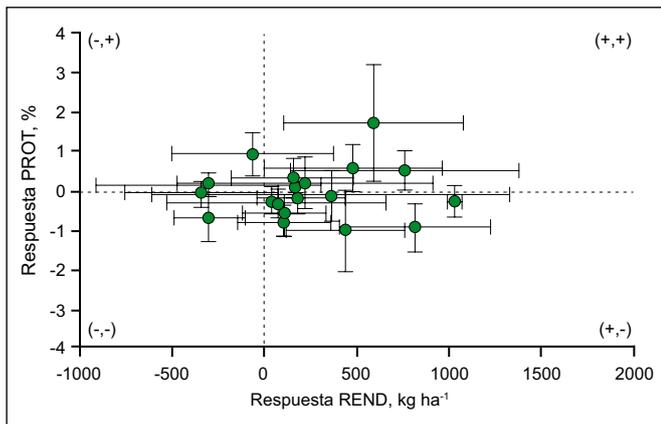


Figura 1. Respuesta en proteína (PROT, %) vs. respuesta en rendimiento (REND, kg ha⁻¹) en grano del cultivo de soja a la aplicación al voleo de 20 kg P ha⁻¹ pre-siembra. Cada punto representa el promedio y el error estándar de una localidad en la región pampeana en las campañas 2013/14 y 2014/15.

El rendimiento de las parcelas testigo (T1) varió entre 2329 kg ha⁻¹ en Pringles y 6499 kg ha⁻¹ 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⁻¹ 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⁻¹. En San Antonio de Areco se produjo una merma de 181 kg ha⁻¹ ($P < 0.1$), mientras que en Tapalqué (EC) y Chacabuco los incrementos superaron los 1200 kg ha⁻¹ ($P < 0.1$). En Mercedes, el incremento fue significativo pero promedió solamente 81 kg ha⁻¹. 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%.

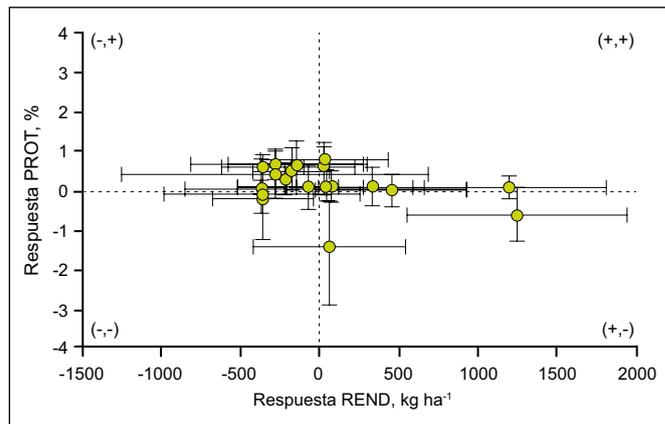


Figura 2. Respuesta en proteína (PROT, %) vs. respuesta en rendimiento (REND, kg ha⁻¹) en grano del cultivo de soja a la aplicación al voleo de 13 kg S ha⁻¹ pre-siembra. Cada punto representa el promedio y el error estándar de una localidad en la región pampeana en las campañas 2013/14 y 2014/15.

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⁻¹, resultando significativos los contrastes para Mercedes y Tapalqué (EC) que superaron los 1100 kg ha⁻¹ de respuesta en rendimiento. La respuesta promedio en rendimiento a la aplicación P + S fue de 262 kg ha⁻¹ 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⁻¹ ($P < 0.001$) sobre el testigo y 198 kg ha⁻¹ 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.

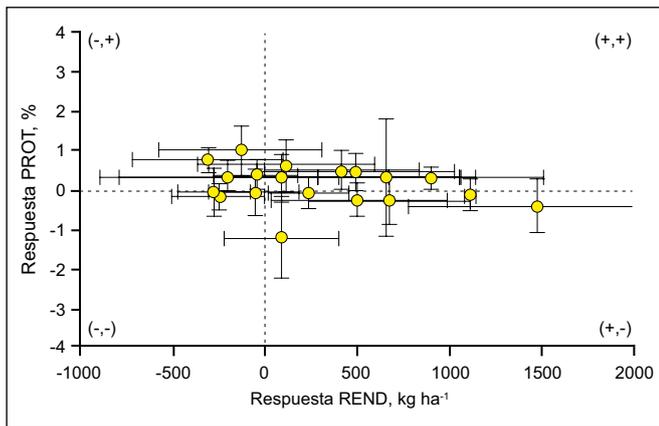


Figura 3. Respuesta en proteína (PROT, %) vs. respuesta en rendimiento (REND, kg ha⁻¹) en grano (eje y, puntos porcentuales) del cultivo de soja a la aplicación al voleo de 21 kg P ha⁻¹ y 13 kg S ha⁻¹ pre-siembra. Cada punto representa el promedio y el error estándar de una localidad en la región pampeana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

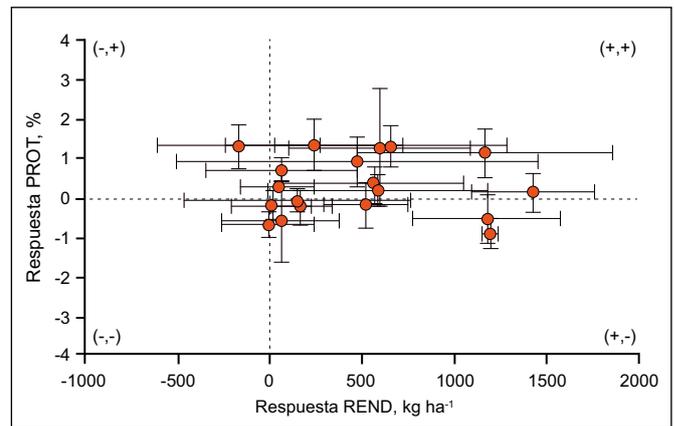


Figura 4. Respuesta en proteína (PROT, %) vs. respuesta en rendimiento (REND, kg ha⁻¹) en grano (eje y, puntos porcentuales) del cultivo de soja a la aplicación al voleo de 42 kg P ha⁻¹ y 26 kg S ha⁻¹ pre-siembra, comparado con el testigo sin fertilización. Cada punto representa el promedio y el error 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⁻¹ de S con una base de 20-22 kg de P ha⁻¹, 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⁻¹, 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

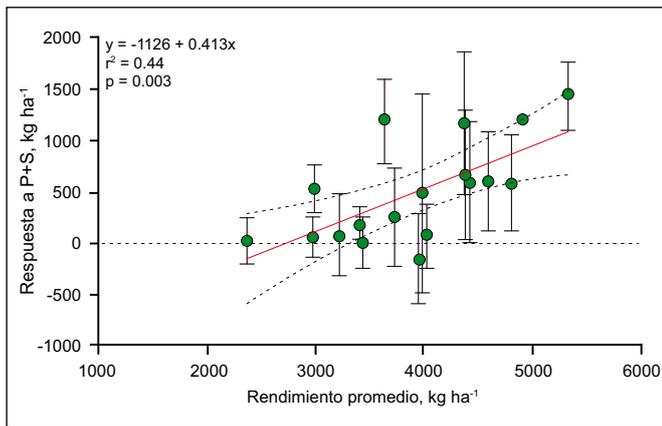


Figura 5. Respuesta en rendimiento (eje y, kg ha⁻¹) a la aplicación al voleo de 42 kg P ha⁻¹ y 26 kg S ha⁻¹ pre-siembra en función del rendimiento promedio de cada sitio del cultivo de soja. Cada punto representa el promedio y el error estándar de una localidad en la región pampeana en las campañas 2013/14 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⁻¹ 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⁻¹ con la primera dosis de P y S a 9 kg grano kg P⁻¹ con la segunda dosis. Bermúdez et al. (2014), cuando compararon una dosis simple de P entre 8 a 15 kg ha⁻¹ 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

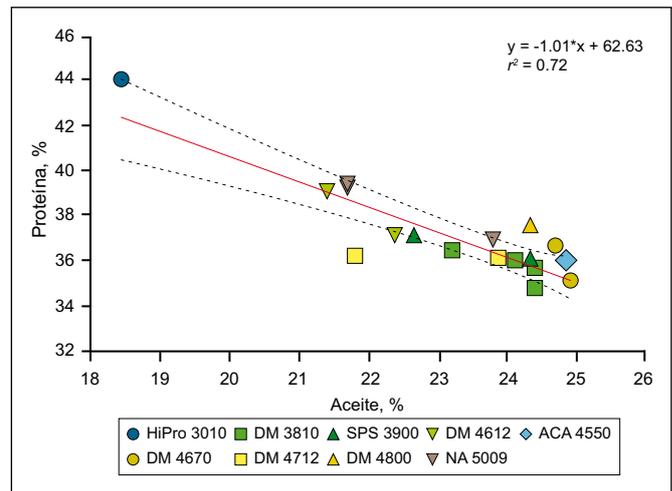


Figura 6. Relación entre el porcentaje de proteína y aceite (sobre base seca) para cada variedad. La variedad HiPro 3010 corresponde a una variedad seleccionada para un alto porcentaje de proteína.

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⁻¹, 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⁻¹, 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. Ressia 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. Salvagiotti, 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. Martinez, 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.
- Elemborg, 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
- 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.*

Fertilización fosforo-azufrada en secuencias de soja continua. Estrategias basadas en dosis, localización y momentos de aplicación

Gustavo N. Ferraris¹, Pablo Traficante² y Alejandro Tortorielo²

Introducción

En la campaña 2010/11 se inició un ensayo, el cual continua en la actualidad, con el propósito de estudiar la evolución en el tiempo de los rendimientos, el balance de nutrientes y las propiedades químicas del suelo bajo distintas estrategias de fertilización con fósforo (P) y azufre (S) en una secuencia continua de soja.

El presente escrito expone los resultados generales de los primeros cinco años y enfatiza los resultados específicos de la campaña 2015/16. Las hipótesis del trabajo son las siguientes:

- La soja responde a la fertilización fósforo-azufrada.
- La eficiencia de uso de P y S no se modifica según la forma y/o momento de fertilización.
- El incremento en la dosis total de fertilizante aplicado se traduce en aumentos en el rendimiento de los cultivos.
- La inclusión de zinc (Zn) mejora la performance del cultivo.
- La dosis de P y la aplicación de S afectan la disponibilidad final del P extractable en el suelo, con residualidad para los próximos cultivos de la secuencia.

Materiales y métodos

El ensayo se condujo en la localidad de La Trinidad, Ferré, partido de General Arenales, (Buenos Aires, Argentina), sobre un suelo argiudol típico serie Rojas, Clase de uso I. Se evaluaron estrategias de fertilización con P y S que difirieron en cuanto a dosis, momento y forma de localización (**Tabla 1**). A partir de 2013/14, se modificó

uno de los tratamientos (T5), incorporando Zn, además de P y S.

El ensayo fue establecido bajo el sistema de siembra directa y se utilizaron variedades de soja comerciales de alto nivel de producción para la localidad. Los cultivos se implantaron como "soja de primera" con siembras de fin de octubre-principios de noviembre, sin cultivo de cobertura como antecesor. La semilla fue inoculada con *Bradyrhizobium japonicum* para asegurar adecuada provisión de nitrógeno (N). Se realizan tres aplicaciones de herbicida glifosato durante el ciclo de cultivo, así como tratamientos para el control de defoliadoras, chinches y enfermedades en forma manual.

El ensayo se condujo utilizando un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones y seis tratamientos, los cuales se presentan en la **Tabla 1**. Las parcelas fueron de 6 m de ancho por 9 m de longitud. Las fuentes de fertilizante utilizadas fueron Superfosfato Triple de Calcio (SPT, 0-46(20P)-0) y Sulfato de Calcio (SC, 0-0-0-S18).

Sobre cada una de las parcelas se evalúa el contenido de MO, pH, P y S residual en el suelo (0-20 cm). Sobre muestras de grano se evalúa la concentración de NPS, para poder realizar un balance de nutrientes. Durante las diferentes campañas, se realizó una estimación indirecta del contenido de N de la cobertura por medio del sensor Green Seeker, mediante procesamiento con software específico de imágenes digitales, y una evaluación de nodulación sobre 10 plantas por parcela. En madurez fisiológica, se midió la materia seca total. La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras.

Tabla 1. Tratamientos evaluados, fuentes y localización de fertilizantes en soja. La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires. Campañas 2010/11 a 2014/15.

| Denominación | Criterio para P | Momento aplicación | Localización | Dosis S Siembra kg ha ⁻¹ | Dosis Zn kg ha ⁻¹ |
|--------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|--|
| T1 | Testigo | | | SC 100 | |
| T2 | Reposición | Anticipado junio | Voleo | SC 100 | |
| T3 | Arrancador | Siembra noviembre | Localizado | SC 100 | |
| T4 | Reposición dividida | Anticipado junio Siembra noviembre | Voleo Localizado | SC 100 | |
| T5 | Reposición | Siembra noviembre | Localizado | SC 100 | 1.5 kg ha ⁻¹ suelo + 0.4 kg ha ⁻¹ Zn foliar |
| T6 | Reposición sin S | Siembra noviembre | Localizado | SC 0 | |

¹ INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4.5 (B2700WAA) Pergamino. Buenos Aires, Argentina

² Escuela Agrotécnica Salesiana. Concepción Gutiérrez de Unzué. La Trinidad, General Arenales. Buenos Aires, Argentina

* Autor de contacto. Correo electrónico: ferraris.gustavo@inta.gob.ar

Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza y comparaciones de medias.

Condiciones ambientales 2010/11 a 2015/16

En las **Figuras 1 a 6** se presentan las precipitaciones determinadas en el sitio experimental y la evapotranspiración del cultivo, así como el balance hídrico decádico para cada año. El ambiente climático fue contrastante entre las campañas evaluadas, tanto en cantidad como en distribución de las precipitaciones durante el ciclo de los cultivos de soja.

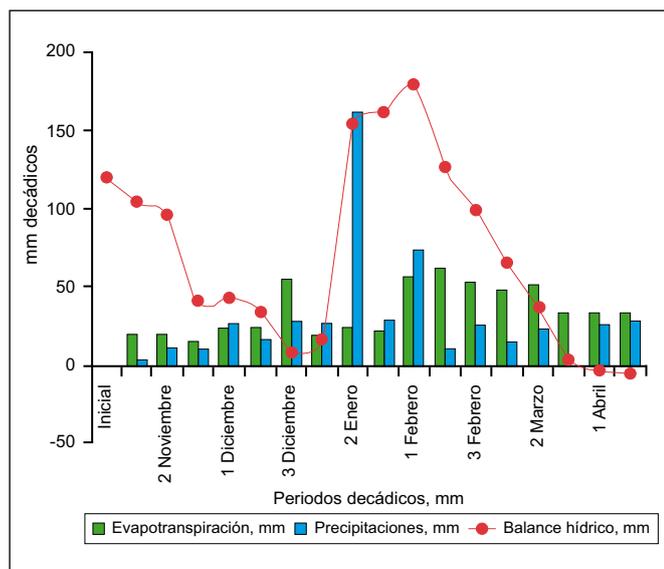


Figura 1. Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádicos, considerando 2 m de profundidad. La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires. Campaña 2010/11. Precipitaciones totales 514 mm. Déficit acumulado 10 mm.

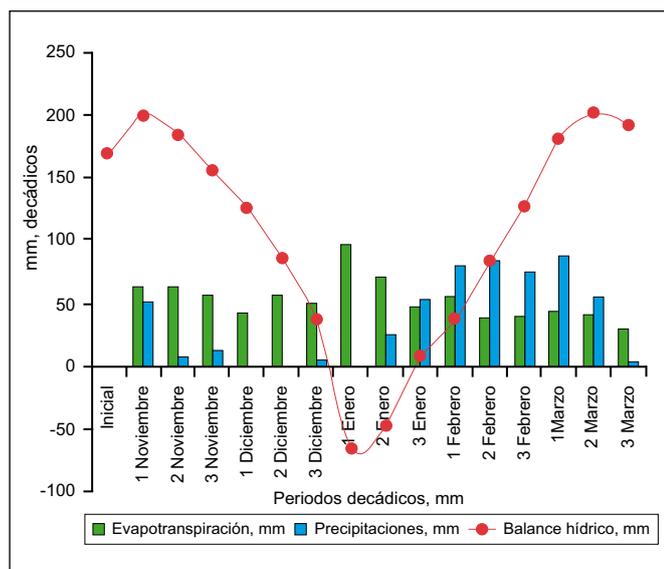


Figura 2. Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádicos, considerando 2 m de profundidad. La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires. Campaña 2011/12. Precipitaciones totales 534.5 mm. Déficit acumulado 114 mm.

Resultados y discusión

Resultados de la campaña 2015/16 y acumulados 2010/11 a 2015/16

En la **Tabla 2** se presentan los resultados de morfología de las plantas en R3 en el ciclo 2015/16.

En el experimento de 2015/16, la aplicación de fertilizantes incrementó los rendimientos de grano en forma estadísticamente significativa ($P = 0.002$; $CV = 7.7\%$). Los rendimientos alcanzaron un rango entre 4203 y 5487 kg ha⁻¹, siendo la media de 5127 kg ha⁻¹ (**Tabla 3**).

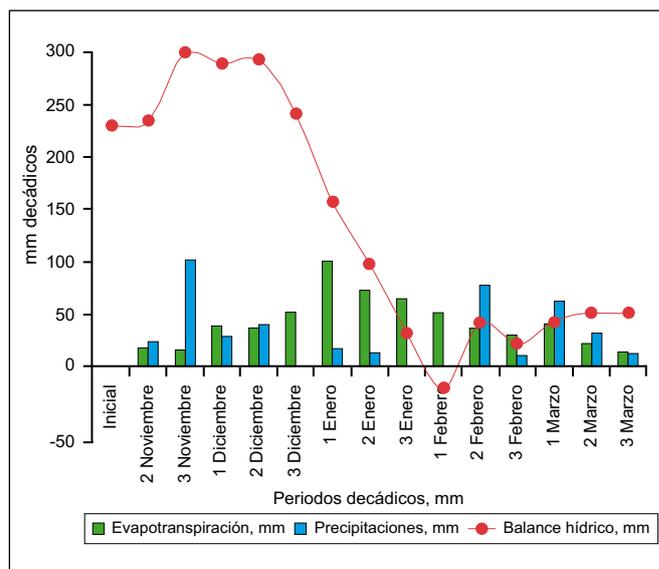


Figura 3. Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádico considerando 2 m de profundidad. La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires. Campaña 2012/13. Precipitaciones totales 419 mm. AU inicial (2 m) 230 mm. Déficit acumulado 20 mm.

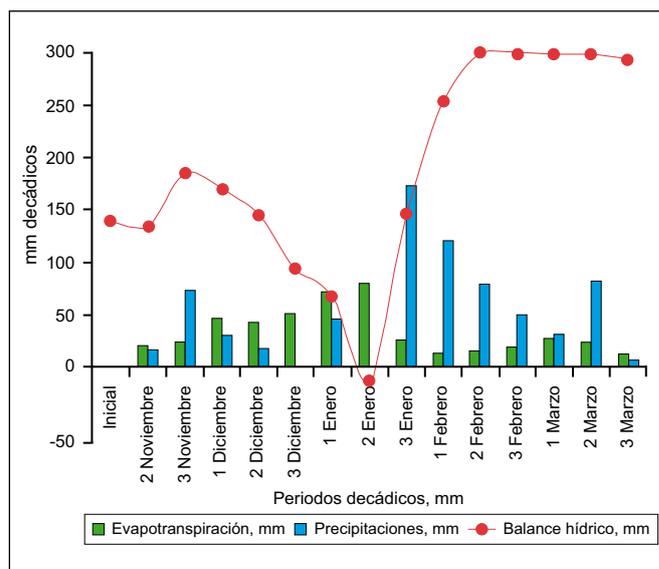


Figura 4. Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádico considerando 160 cm de profundidad. La Trinidad, Buenos Aires. Campaña 2013/14. Precipitaciones totales 728 mm. AU inicial (160 cm) 140 mm. Déficit acumulado 12 mm.

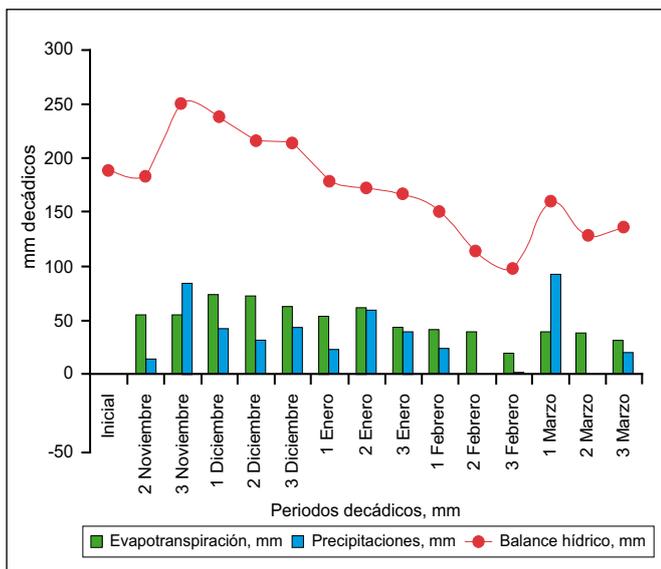


Figura 5. Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádico considerando 1.6 m de profundidad. La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires. Campaña 2014/15. Precipitaciones totales en el ciclo 481 mm. AU inicial (160 cm) 180 mm. Déficit acumulado 0 mm.

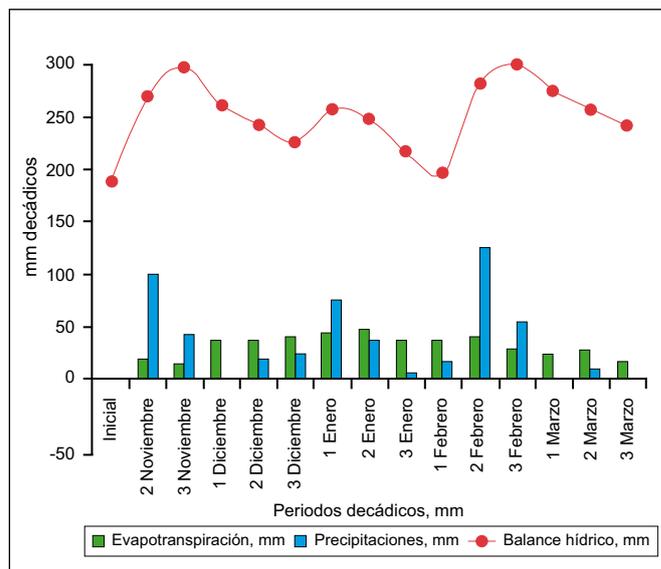


Figura 6. Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádico considerando 1.5 m de profundidad. La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires. Campaña 2015/16. Precipitaciones totales en el ciclo 517 mm. AU inicial (150 cm) 170 mm. Déficit acumulado 0 mm.

Tabla 2. Altura final de planta (AFP, cm), cobertura del canopeo (o dosel), índice verde (IV) medido por Green Seeker, número de nudos por planta y número de vainas por planta en R3. La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires. Campaña 2015/16.

| Tratamiento | AFP (cm) | Ciclo 2015/16 | | | |
|-------------|----------|------------------|------|----------------------------|-----------------------------|
| | | Cobertura R3 (%) | IV | Nudos planta ⁻¹ | Vainas planta ⁻¹ |
| T1 | 88 | 83.5 | 0.81 | 17.2 | 55.3 |
| T2 | 94 | 88.2 | 0.83 | 20.4 | 63.8 |
| T3 | 92 | 85.7 | 0.81 | 16.2 | 58.8 |
| T4 | 94 | 92.8 | 0.84 | 20.9 | 67.3 |
| T5 | 97 | 91.3 | 0.84 | 18.8 | 63.8 |
| T6 | 92 | 90.8 | 0.83 | 18.3 | 62.8 |

Tabla 3. Rendimiento en grano (kg ha⁻¹), componentes y diferencia absoluta o relativa respecto del testigo. La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires. Campaña 2015/16.

| Tratamiento | Rendimiento kg ha ⁻¹ | Número granos m ⁻² | Peso mil granos | Diferencia rendimiento con testigo | |
|----------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------------------------|-------|
| | | | | kg ha ⁻¹ | % |
| T1 | 4203 c | 3061 | 137.3 | | |
| T2 | 5158 ab | 3454 | 149.3 | +955 | +22.7 |
| T3 | 4588 bc | 3340 | 137.3 | +384 | +9.1 |
| T4 | 5488 a | 3864 | 142.0 | +1284 | +30.6 |
| T5 | 5333 a | 3791 | 140.7 | +1130 | +26.9 |
| T6 | 5092 ab | 3379 | 150.7 | +888 | +21.1 |
| P = | 0.002 | | | | |
| CV = | 7.72% | | | | |
| DMS (α = 0.05) | 578.9 kg ha ⁻¹ | | | | |

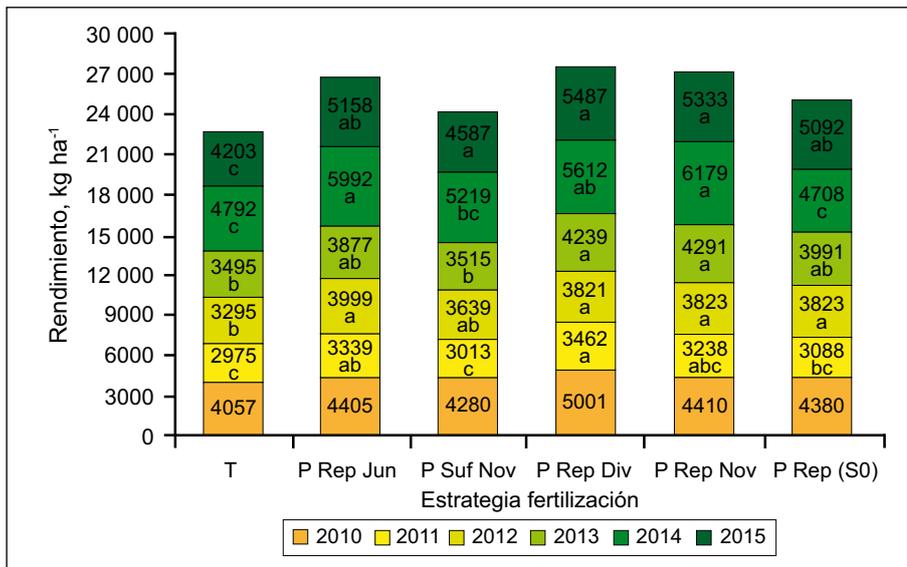


Figura 7. Rendimiento (kg ha⁻¹) como resultado de estrategias consistentes en diferentes dosis, momentos y formas de localización en soja. Para un mismo año, letras distintas sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos (p = 0.10).

Respecto de la localización, como en años anteriores, la aplicación dividida alcanzó el máximo (T4), pero sin diferencias significativas con la misma dosis anticipada (T2) y el tratamiento a la siembra acompañado por microelementos (Tabla 3 y Figura 7). El aporte de Zn, agregado por segundo año consecutivo en el tratamiento de siembra, habría contribuido a su buen resultado. En los rendimientos acumulados, la estrategia que combina una aplicación anticipada y a la siembra (T4), continúa siendo la de mejor comportamiento.

La respuesta al tratamiento “arrancador” o de “suficiencia” en la presente campaña fue escasa y el rendimiento no difirió del testigo (Tabla 3 y Figura 7). Asimismo, la respuesta a S (T5-T6) fue relevante, aunque

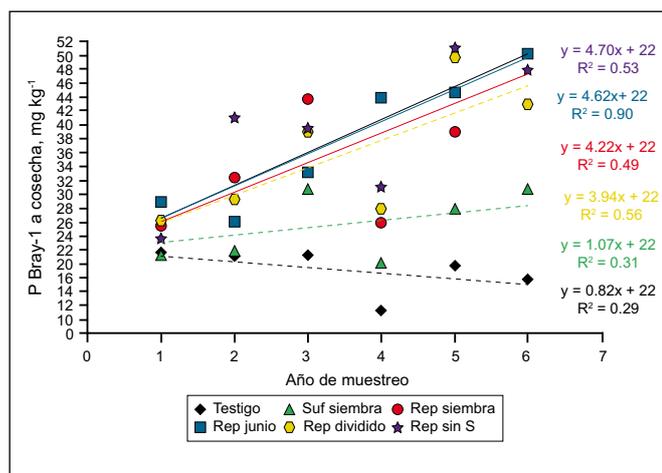


Figura 8. Cambios en el contenido de P en el suelo a lo largo del experimento. Los muestreos fueron realizados en el mes de junio, entre las campañas 2010/11 a 2015/16. Las pendientes de las relaciones ajustadas indican el incremento o caída anual en los niveles de P Bray-1, de acuerdo con el balance de nutrientes alcanzado. Estrategias de fertilización bajo soja continua. La Trinidad.

no significativa, y de una magnitud esperable y de acuerdo con los antecedentes previos. A diferencia del ciclo anterior, se determinó una considerable respuesta a P sin agregado de S (T6-T1).

Residualidad de los nutrientes a cosecha

En la **Tabla 4** se presentan los aportes por fertilización, y la estimación de extracción y balance de nutrientes en grano para las cinco campañas evaluadas. A través de los años, el balance real de nutrientes fue positivo con relación al estimado, ya que los tratamientos destinados a reposición de P sobreestimaron la extracción pese a los buenos rendimientos del ensayo, dejando un crédito de P en suelo. La concentración de P y S en grano no fue afectada por el

tratamiento de fertilización ni guardó relación con el nivel de productividad (Tabla 4), siendo el balance dependiente del nivel de fertilización y la productividad del cultivo.

En la **Figura 8** se presenta la evolución del nivel de P Bray-1 en los diferentes tratamientos. Como tendencia general, se observa una caída en los niveles del tratamiento testigo, contrastando con el mantenimiento o ligero incremento en el resto de los tratamientos. El año 4 (2014) representa un caso de niveles por debajo de la tendencia, ocurriendo lo contrario los últimos años, 2015 y 2016. Dicho comportamiento podría atribuirse a cambios en la temperatura, humedad, o de algún otro factor del ambiente, probablemente climático. La **Figura 9** por su parte muestra la relación entre el nivel final de P y el balance (aplicado-extraído). La inversa de la pendiente de esta función indica la dosis de P que es necesario agregar para incrementar

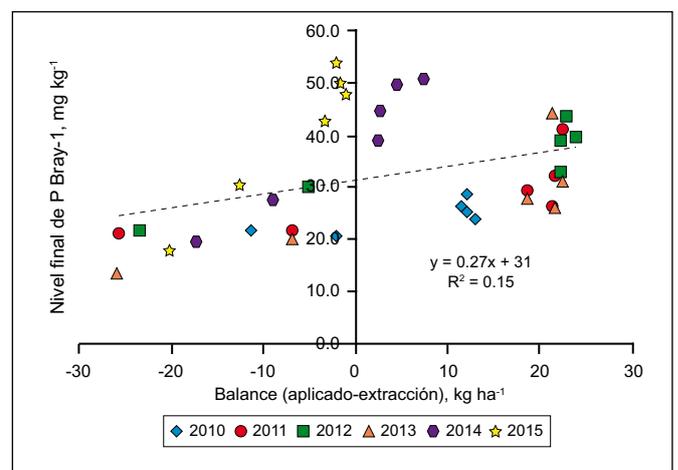


Figura 9. Relación entre el nivel final de P y el balance de P entre extracción y aplicación luego de 5 años en una secuencia continua de soja. La Trinidad, campaña 2014/15. Los valores de concentración de P y rendimiento fueron uniformados a 13% de humedad.

Tabla 4. Aporte de P y S (kg ha⁻¹), rendimiento de grano (kg ha⁻¹), concentración, extracción y balance de P y S en grano. Los valores de rendimiento, extracción y balance fueron ajustados a 13% de humedad. Dosis, momentos y localización de fertilizantes fosforados en soja. La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires.

| Trat. | Rend. | Fertilización | | Conc. Grano | | Extracción | | Balance | |
|----------------|-------|---------------------|----|-------------|------|---------------------|------|---------|------|
| | | P | S | P | S | P | S | P | S |
| | | kg ha ⁻¹ | | % | | kg ha ⁻¹ | | | |
| 2010/11 | | | | | | | | | |
| T1 | 4057 | 0 | 18 | 0.40 | 0.20 | 16.4 | 8.1 | -16.4 | 9.9 |
| T2 | 4405 | 25 | 18 | 0.41 | 0.21 | 18.0 | 9.0 | 7.0 | 9.0 |
| T3 | 4280 | 10 | 18 | 0.41 | 0.20 | 17.4 | 8.6 | -7.4 | 9.4 |
| T4 | 5001 | 25 | 18 | 0.41 | 0.21 | 20.6 | 10.4 | 4.4 | 7.6 |
| T5 | 4410 | 25 | 18 | 0.40 | 0.20 | 17.8 | 9.0 | 7.2 | 9.0 |
| T6 | 4380 | 25 | 0 | 0.41 | 0.20 | 17.8 | 8.9 | 7.2 | -8.9 |
| 2011/12 | | | | | | | | | |
| T1 | 2975 | 0 | 18 | 0.44 | 0.25 | 11.4 | 6.5 | -11.4 | 11.5 |
| T2 | 3339 | 25 | 18 | 0.45 | 0.25 | 13.1 | 7.3 | 11.9 | 10.7 |
| T3 | 3013 | 10 | 18 | 0.45 | 0.24 | 11.8 | 6.3 | -1.8 | 11.7 |
| T4 | 3462 | 25 | 18 | 0.45 | 0.26 | 13.6 | 7.8 | 11.4 | 10.2 |
| T5 | 3238 | 25 | 18 | 0.46 | 0.26 | 13.0 | 7.3 | 12.0 | 10.7 |
| T6 | 3088 | 25 | 0 | 0.45 | 0.23 | 12.1 | 6.2 | 12.9 | -6.2 |
| 2012/13 | | | | | | | | | |
| T1 | 3294 | 0 | 18 | 0.42 | 0.22 | 12.0 | 6.4 | -12.0 | 11.6 |
| T2 | 3999 | 25 | 18 | 0.43 | 0.23 | 15.0 | 8.0 | 10.0 | 10.0 |
| T3 | 3639 | 10 | 18 | 0.43 | 0.22 | 13.5 | 7.0 | -3.5 | 11.0 |
| T4 | 3821 | 25 | 18 | 0.43 | 0.23 | 14.3 | 7.7 | 10.7 | 10.3 |
| T5 | 3823 | 25 | 18 | 0.43 | 0.23 | 14.4 | 7.6 | 10.6 | 10.4 |
| T6 | 3823 | 25 | 0 | 0.43 | 0.22 | 14.3 | 7.2 | 10.7 | -7.2 |
| 2013/14 | | | | | | | | | |
| T1 | 3495 | 0 | 18 | 0.42 | 0.20 | 12.8 | 5.9 | -12.8 | 12.1 |
| T2 | 3877 | 25 | 18 | 0.43 | 0.18 | 14.5 | 6.1 | 10.5 | 11.9 |
| T3 | 3515 | 10 | 18 | 0.43 | 0.21 | 13.1 | 6.3 | -3.1 | 11.7 |
| T4 | 4239 | 25 | 18 | 0.44 | 0.21 | 16.4 | 7.6 | 8.6 | 10.4 |
| T5 | 4291 | 25 | 18 | 0.43 | 0.20 | 16.2 | 7.5 | 8.8 | 10.5 |
| T6 | 3991 | 25 | 0 | 0.43 | 0.20 | 15.1 | 6.8 | 9.9 | -6.8 |
| 2014/15 | | | | | | | | | |
| T1 | 4792 | 0 | 18 | 0.41 | 0.14 | 17.1 | 5.8 | -17.1 | 12.2 |
| T2 | 5992 | 25 | 18 | 0.43 | 0.15 | 22.4 | 7.8 | 2.6 | 10.2 |
| T3 | 5219 | 10 | 18 | 0.42 | 0.13 | 19.1 | 5.9 | -9.1 | 12.1 |
| T4 | 5612 | 25 | 18 | 0.42 | 0.17 | 20.5 | 8.3 | 4.5 | 9.7 |
| T5 | 6179 | 25 | 18 | 0.42 | 0.12 | 22.6 | 6.5 | 2.4 | 11.5 |
| T6 | 4708 | 25 | 0 | 0.43 | 0.11 | 17.6 | 4.5 | 7.4 | -4.5 |
| 2015/16 | | | | | | | | | |
| T1 | 4203 | 0 | 18 | 0.42 | 0.18 | 20.3 | 8.7 | -20.3 | 9.3 |
| T2 | 5158 | 25 | 18 | 0.45 | 0.20 | 26.7 | 11.9 | -1.7 | 6.1 |
| T3 | 4587 | 10 | 18 | 0.43 | 0.20 | 22.7 | 10.5 | -12.7 | 7.5 |
| T4 | 5487 | 25 | 18 | 0.45 | 0.20 | 28.4 | 12.6 | -3.4 | 5.4 |
| T5 | 5333 | 25 | 18 | 0.44 | 0.19 | 27.0 | 11.6 | -2.0 | 6.4 |
| T6 | 5092 | 25 | 0 | 0.44 | 0.17 | 25.8 | 9.9 | -0.8 | -9.9 |

la disponibilidad de P en suelo en 1 mg kg^{-1} . Esta resulta en 3.7 kg ha^{-1} , la cual es cercana a los mínimos registrados en experimentos similares, y es inferior al valor de $6.75 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ppm}^{-1}$ observado en un experimento de larga duración conducido desde hace 10 años por nuestro grupo de trabajo, en una secuencia intensiva maíz –soja cebada/soja – trigo/soja. Es probable que la degradación física y biológica asociada al monocultivo de soja, la pérdida de cobertura y el habitual desecamiento superficial del suelo del sitio experimental sean los responsables de una baja absorción de P por el cultivo, dejando mayor cantidad remanente en el suelo. Es decir, mientras en una secuencia intensiva el cultivo es eficiente en absorber P, bajo monocultivo la absorción sería menor.

Conclusiones

- El sitio durante la campaña 2015/16 mostró un comportamiento climático muy favorable, permitiendo alcanzar rendimientos record, en promedio los segundos máximos desde el comienzo de este experimento.
- La respuesta en rendimiento durante la última campaña fue estadísticamente significativa, y abarcó un rango de 384 a 1284 kg ha^{-1} (9.1 a 30.6%). Los rendimientos muestran una diferencia de productividad creciente a lo largo del tiempo, medida en términos anuales o en forma acumulativa. Por lo expuesto, esto sostiene la hipótesis de que la soja responde a la fertilización con P y S. Este concepto, válido para P a través de los años, en el cuarto, quinto y sexto ciclo puede señalarse también para S.
- Luego de seis años, las alternativas tecnológicas para la aplicación de nutrientes –anticipado al voleo, localizado a la siembra y una combinación de ambas– no muestran diferencias significativas en los rendimientos ni una tendencia consistente en la evolución de PS en suelo. De tal manera, la forma y el momento de aplicación no afectaron la eficiencia de uso de P o S.
- Se observaron respuestas crecientes en función de la dosis de P, acentuando la diferencia entre tratamientos de reposición y suficiencia con relación a ciclos anteriores, tanto en términos de rendimientos absolutos como porcentuales.
- El agregado de Zn (adicional a P y S), a partir del año 4, mejoró la performance del cultivo, igualando o superando a los tratamientos T2 y T4.
- La estrategia de fertilización afectó el nivel residual del P extractable en el suelo. A partir del tercer año se acentuaron los contrastes entre tratamientos, con caída en el testigo, ligero incremento o mantenimiento en la estrategia de suficiencia, y un crecimiento en los niveles de P extractable cuando se aplicará el concepto de reposición.

Bibliografía

- Bray, R., y L. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci* 59:39-45.
- Ciampitti, I.A., y F.O. García. 2007. Archivo Agronómico No. 11.: Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. González, M. Tablada, y C.W. Robledo. 2012. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Echeverría, H.E., y F.O. García (eds.). 20105. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editorial INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Ferraris, G. 2008. Fertilización de la Soja. pp 261-278. En: R. Melgar y M. Díaz Zorita (eds). Fertilización de cultivos y pasturas. 2da edición ampliada y actualizada. 569 pp.
- Ferraris, G., M. Toribio, R. Falconi, y L. Couretot. 2013. Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos, el balance de nutrientes y su disponibilidad en los suelos. Séptimo año de experimentación. Informe Interno. EEA INTA Pergamino.
- García, F.O., y M.F. González Sanjuan. 2012. La nutrición de suelos y el balance de nutrientes ¿Cómo estamos?. Fertilizar Asociación Civil. Diciembre 2012, Revista N°24. pp. 1-4. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires.
- Sainz Rozas, H.R., H.E. Echeverría, H. Angelini. 2012. Fósforo disponible en suelos agrícolas de la región Pampeana y ExtraPampeana argentina. RIA / Vol. 38 N.º 1. pp 33-39.
- Salvagiotti, F., M. Barraco, D. Dignani, H. Sánchez, A. Bono, P. Vallone, G. Gerster, C. Galarza, J. Montoya, V. Gudelj. 2013. Plant stand, nodulation and seed yield in soybean as affected by phosphate fertilizer placement, source and application method. *European Journal of Agronomy* 51:25-33.
- SIIA, Sistema Integrado de Información Agropecuaria. 2013. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. <http://www.sii.gov.ar>, consultado el 01/03/13. Soja Campaña 2012/13. 9 p.
- Ventimiglia, L.A., y H.G. Carta. 2005. Soja: Efecto de los fertilizantes aplicados en la línea de siembra sobre el número de plantas y el rendimiento. *Informaciones agronómicas* N° 28, Diciembre 2005, 23-28.*

Aplicación de correctores básicos y fertilizantes cálcico-magnésicos en el cultivo de soja*

Paula Girón^{1*}, Alejandra Macchiavello¹, Mirian Barraco¹, Clarisa Ottaviano², Daniel Ferro³, y Mabel Vázquez³

Introducción

El pH de una solución se define como el logaritmo negativo de la actividad de iones de hidrógeno (H^+), es decir su potencial químico (Essington, 2005). La acidez de un suelo responde tanto a causas naturales como antrópicas. El proceso natural de mayor incidencia es la lixiviación de bases -calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), potasio (K^+), y sodio (Na^+)-, producto de la interacción del clima, geomorfología y dinámica de agua (Sylla et al., 1996), así como también de la naturaleza químico-mineralógica y alterabilidad de los minerales (Essington, 2005). En cuanto a las causas antrópicas, se pueden mencionar la exportación de bases por la producción agropecuaria (Gelati y Vázquez, 2008; Zhang, 2009) y el empleo de fertilizantes nitrogenados amoniacales (Bohn et al., 2001; Chien et al., 2009). Entonces, la acidificación del suelo puede definirse como la resultante de los procesos naturales (edáficos, climáticos y biológicos) y antropogénicos (Ramírez, 2002).

La acidificación de los suelos en la región pampeana Argentina es ya un fenómeno probado en varios casos

(Casas, 2000; Vázquez et al., 2000; Gelati y Vázquez, 2008). La soja (*Glycine max* (L.) Merr.) es una leguminosa cuya extracción de nutrientes básicos estimada para un rendimiento de 4000 kg ha⁻¹ es de 12, 11 y 76 kg ha⁻¹ de Ca, Mg y K, respectivamente (Gutiérrez Boem y Scheiner, 2007). Para la producción de soja, el grado de acidez en los suelos en los que se implanta este cultivo es sumamente importante, ya que además de la deficiencia de nutrientes básicos, un bajo pH del suelo (ácido) reduce la disponibilidad de nutrientes como el fósforo (P) y el molibdeno (Mo), nutrientes de alta demanda en esta especie, y la actividad de los microorganismos responsables de la fijación biológica de nitrógeno (N), a la vez que se afectan propiedades físicas relacionadas con la estabilidad estructural. A través de todos estos mecanismos, es posible esperar reducción en el rendimiento de especies sensibles (Vázquez et al., 2010). Estos perjuicios pueden revertirse con la aplicación de enmiendas básicas que suben el pH tales como las calizas o conchillas que además aportan Ca, o las dolomitas que suministran Ca y Mg, mientras que los fertilizantes cálcico-magnésicos actuarían sólo sobre la deficiencia de ambos nutrientes para la planta.

Tabla 1. Tratamientos de fertilización cálcico-magnésica aplicados en el cultivo de soja. Campaña 2014/15. Estancia La Clarita, General Villegas.

| Tratamiento | Descripción |
|-------------|--|
| T1 | Testigo absoluto |
| T2 | 50 kg ha ⁻¹ de calcita (carbonato de calcio) |
| T3 | 50 kg ha ⁻¹ de calcita tratada* (carbonato de calcio) |
| T4 | 50 kg ha ⁻¹ de dolomita (carbonato de calcio y carbonato de magnesio) |
| T5 | 150 cm ³ ha ⁻¹ de Mg foliar aplicado en V3 |
| T6 | 400 cm ³ ha ⁻¹ de Mg foliar aplicado en R1 |
| T7 | 1000 kg ha ⁻¹ de calcita (carbonato de calcio) |
| T8 | 1000 kg ha ⁻¹ de calcita tratada (carbonato de calcio) |
| T9 | 1000 kg ha ⁻¹ de dolomita (carbonato de calcio y carbonato de magnesio) |
| T10 | 50 kg ha ⁻¹ de calcita (carbonato de calcio) + 150 cm ³ ha ⁻¹ de Mg foliar en V3 |
| T11 | 50 kg ha ⁻¹ calcita (carbonato de calcio) + 400 cm ³ ha ⁻¹ de Mg foliar en R1 |
| T12 | 50 kg ha ⁻¹ calcita tratada (carbonato de calcio) + 150 cm ³ ha ⁻¹ de Mg foliar en V3 |
| T13 | 50 kg ha ⁻¹ calcita tratada (carbonato de calcio) + 400 cm ³ ha ⁻¹ de Mg foliar en R1 |

* Calcita tratada es carbonato de calcio micronizado y aperdigonado.

¹ EEA INTA General Villegas. General Villegas, Buenos Aires, Argentina

² Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA)

³ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (FCAyF-UNLP)

* Trabajo publicado en el XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 27 de junio al 1ro de julio de 2016, Río Cuarto, Córdoba, Argentina

** Autor de contacto. Correo electrónico: giron.paula@inta.gob.ar

Tabla 2. Contenidos de Ca, Mg, Na y K para la calcita, calcita tratada y dolomita.

| Contenido | Calcita | Calcita tratada | Dolomita |
|-----------|---------|-----------------|----------|
| Ca % | 47.7 | 41.5 | 20.5 |
| Mg % | nd | nd | 9.5 |
| Na ppm | nd | nd | 19 |
| K ppm | nd | nd | 40 |

nd: no determinado

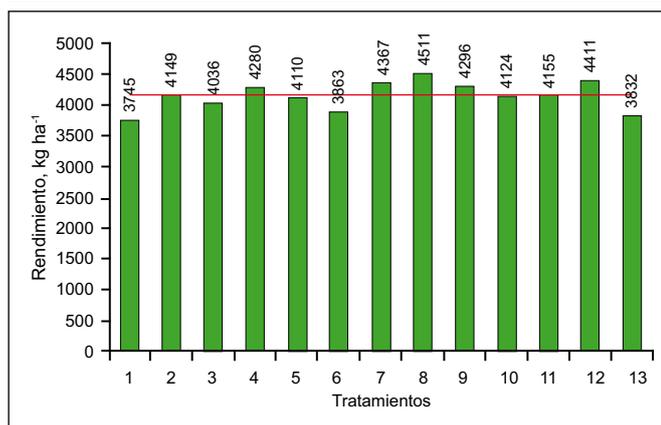


Figura 1. Rendimiento de soja según los distintos tratamientos (ver descripción completa en Tabla 1). La línea roja indica la media de rendimiento del ensayo.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el impacto que tiene la aplicación de correctores básicos y fertilizantes cálcicos/magnésicos sobre el rendimiento del cultivo de soja y las propiedades químicas del suelo relacionadas a la acidez.

Materiales y métodos

En un trabajo conjunto entre un grupo de investigadores de INTA EEA General Villegas y de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata, se llevó a cabo una experiencia en la Estancia “La Clarita”, en el partido de General Villegas (Buenos Aires, Argentina) durante la campaña 2014/15, sobre un lote agrícola en un suelo clasificado taxonómicamente como Hapludol típico.

El lote fue elegido en base al resultado del análisis de pH actual del suelo (1:2.5 suelo:agua). El mismo fue de 5.53. Si bien este nivel de acidez estaría dentro del rango de tolerancia para soja (4.5-7), se ubicaría por debajo del rango óptimo de entre 6 y 7 (Vázquez, 2007).

La siembra de la soja (Variedad NA5009) se realizó el 21 de noviembre de 2014, con una densidad de siembra de 350 000 semillas ha⁻¹. Las aplicaciones de los correctores y fertilizantes se realizaron al voleo sin incorporación en el suelo un mes antes de la siembra y los tratamientos con Mg foliar (ASP Mag Flo®) se aplicaron en estado vegetativo (V3) o en estado reproductivo (R1) de la soja, con dosis de 150 cm³ ha⁻¹ (equivalente a 43.5 g Mg ha⁻¹) y

400 cm³ ha⁻¹ respectivamente. Los tratamientos evaluados se describen en la Tabla 1.

La Tabla 2 presenta los resultados de los análisis de los correctores que se aplicaron. La disponibilidad de agua en el suelo a la siembra fue de 196 mm (0 a 140 cm).

Se evaluó además el contenido de agua del suelo (% método gravimétrico) en capas de suelos de 20 cm hasta los 140 cm de profundidad al momento de la siembra. Los resultados se expresaron como mm de agua disponible, afectando el porcentaje de humedad por la densidad aparente, profundidad de la capa y restando el contenido de humedad en punto de marchitez permanente.

La cosecha se realizó el 7 de abril de 2015 en forma manual, sobre una superficie de 2.52 m² y se trilló con máquina estática. Se determinó el rendimiento, y sus componentes número de granos m² y peso de 1000 granos. Los resultados se expresaron con contenidos de 14% de humedad. Al momento de la cosecha también se realizaron los muestreos del suelo en la capa 0-20 cm para evaluar pH y las bases de cambio (Ca y Mg) en cada una de las parcelas.

El diseño estadístico del ensayo fue en bloques completos al azar (DBCA) con tres repeticiones. Los resultados se analizaron mediante ANOVA y diferencias de medias mediante la prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) ($p < 0.1$), y se analizaron contrastes entre tratamientos específicos de interés, empleando el programa estadístico InfoStat versión 2014 (Di Rienzo et al., 2014).

Resultados y discusión

Los rendimientos de soja variaron entre 3745 y 4511 kg ha⁻¹. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.63$) (Figura 1). Al analizar diferentes contrastes, se observó que al comparar tratamiento testigo (T1) vs el resto de los tratamientos hubo diferencias significativas entre rendimientos ($p = 0.094$). No obstante, cuando se comparó el T1 vs los tratamientos con 50 kg ha⁻¹ (T2, T3, y T4) y el T1 vs Mg foliar no se diferencias significativas ($p = 0.18$ y $p = 0.44$, respectivamente). Por otra parte, se observaron diferencias al comparar el T1 contra los tratamientos de correctores (1000 kg ha⁻¹: T, T8, y T9) (Figura 2, $p = 0.04$), donde el aumento de rendimiento fue en promedio de 646 kg ha⁻¹ (+17.3%), similar a lo encontrado por Nicora (2012). Esto significa que la diferencia de rendimiento entre el testigo y el resto de los tratamientos está dada por las altas dosis de nutrientes básicos aplicados.

Al comparar los correctores entre las dosis de enmienda y las dosis de fertilizante no se hallaron diferencias estadísticas en el rendimiento ($p = 0.27$). Tampoco hubo diferencias entre aplicaciones de calcita o de dolomita ($p = 0.92$). En cuanto al peso de mil granos (PMG) y números de granos m⁻² (NG) no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 3).

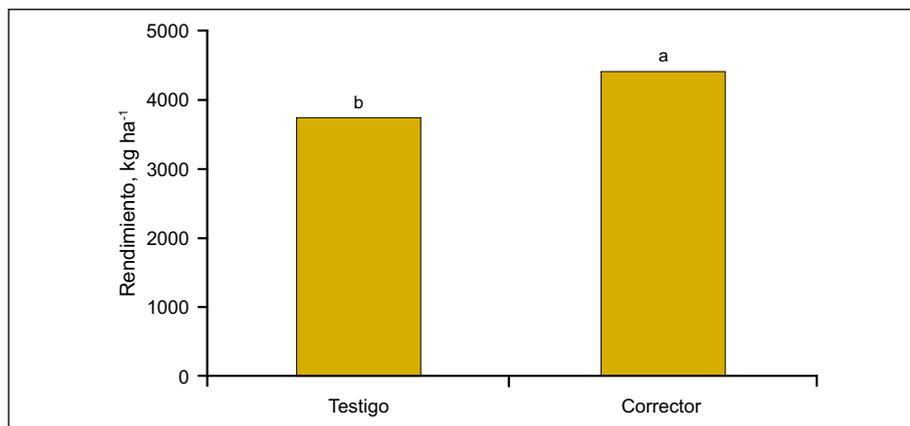


Figura 2. Rendimiento de soja del tratamiento testigo vs la media de los tratamientos de correctores (1000 kg ha⁻¹ de calcita, 1000 kg ha⁻¹ de calcita tratada, 1000 kg ha⁻¹ de dolomita). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.1$).

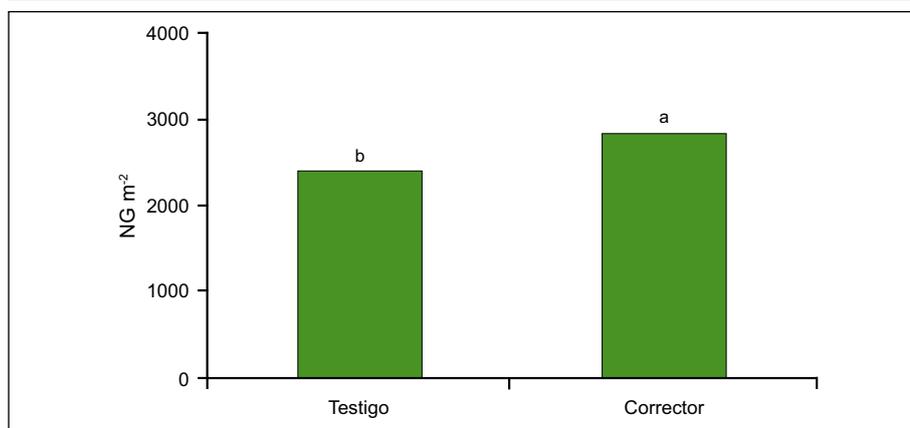


Figura 3. Número de granos (NG) de soja por m² del tratamiento testigo vs la media de los tratamientos de correctores (1000 kg ha⁻¹ de calcita, 1000 kg ha⁻¹ de calcita tratada, 1000 kg ha⁻¹ de dolomita). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.1$).

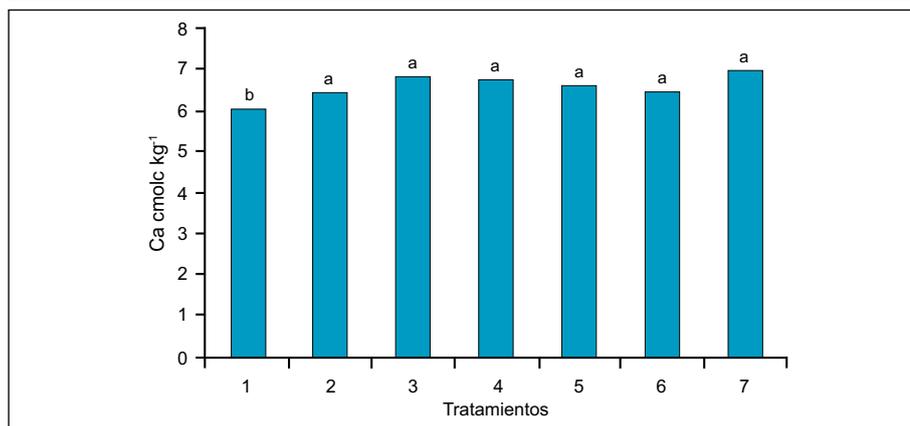


Figura 4. Contenido de Ca intercambiable del suelo para tratamientos selectos (ver descripción en Tabla 1). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.1$).

Cuando se analizan los siguientes contrastes: testigo vs Mg foliar, testigo vs enmiendas, testigo vs fertilizantes básicos, enmiendas vs fertilizantes básicos y calcita vs dolomita, en PMG no se encontraron diferencias ($p = 0.38$; $p = 0.48$; $p = 0.15$; $p = 0.31$ y $p = 0.95$, respectivamente). Mientras que en NG, sólo se encontraron diferencias significativas entre testigo vs enmiendas ($p = 0.01$), con aumentos del 19% en este último grupo (**Figura 3**).

El diagnóstico de la fertilidad básica puede realizarse a través de medidas absolutas (concentración de los cationes en sitios de intercambio). Para el caso del Ca se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.10$), donde todos los tratamientos que tuvieron aplicación de correctores básicos o fertilizantes cálcico/magnésicos tuvieron diferencias con el tratamiento testigo (+10.5%, **Figura 4**)

En el caso del Mg no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.36$, datos no mostrados). Esto es similar a lo encontrado por Lamarche (2012) donde la aplicación con dolomita elevó el contenido de Ca intercambiable, mientras que el Mg tuvo escasa variación.

El pH 1:2.5 medido en 0-20 cm de profundidad varió entre 5.73 y 6.05 y no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.19$, datos no mostrados).

Conclusiones

Se encontraron diferencias de rendimiento en soja con aplicaciones de altas dosis de correctores (1000 kg ha⁻¹ calcita, 1000 kg ha⁻¹ calcita tratada y 1000 kg ha⁻¹ dolomita) frente al tratamiento testigo superiores al 17.3%.

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en el peso de mil granos. Hubo diferencias en el número de granos m², que con aplicación de correctores registró un 19% más de granos que el tratamiento testigo (T1).

El agregado de Ca aumentó en promedio un 10.5% los contenidos de Ca intercambiable de los suelos con respecto al testigo.

Los contenidos de Mg intercambiable y el pH no se modificaron con los tratamientos de correctores o fertilización.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado con fondos del Proyecto de INTA BANOR 11271305. Los autores agradecen a la Estancia "La Clarita" y a Agroservicios Pampeanos SA por los insumos aportados para llevar a cabo el ensayo.

Tabla 3. Peso de mil granos (PMG) y número de granos m⁻² (NG) del cultivo de soja según los distintos tratamientos de fertilización aplicados (ver descripción completa en Tabla 1).

| Tratamiento | Peso de mil granos g | Número de granos m ⁻² |
|-------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 156.1 | 2402 |
| 2 | 148.5 | 2795 |
| 3 | 148.4 | 2719 |
| 4 | 148.4 | 2888 |
| 5 | 151.1 | 2738 |
| 6 | 151.4 | 2569 |
| 7 | 150.7 | 2881 |
| 8 | 153.7 | 2935 |
| 9 | 152.2 | 2828 |
| 10 | 157.3 | 2625 |
| 11 | 152.7 | 2716 |
| 12 | 156.2 | 2822 |
| 13 | 147.4 | 2600 |

Bibliografía

- Bohn, H.L., B.L. McNeal, y G.A. O'Connor. 2001. Acids soils. En: Bohn H.L.; McNeal, B.L.; O'Connor, G.A. Soil Chemistry. New York, John Wiley and Sons. 3rd ed., cap. 10, p. 260-279.
- Casas, R. 2000. La conservación de los suelos y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. Consultado: 19-08-2015 anterior.inta.gov.ar/suelos/actualidad/conferencias/Disertacion_R_Casas.htm
- Chien, S.H., M.M. Gearhart, D.J. Collamer. 2009. Acidez generada por los fertilizantes nitrogenados: nueva evaluación de los requerimientos de cal. En: Informaciones Agronómicas 41:16-17.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. González, M. Tablada, y C.W. Robledo. InfoStat versión 2014. Córdoba: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Essington, M.E. 2005. Soil and water chemistry: an integrative approach. Boca Raton, CRC Press. 534 p.
- Gelati, P., y M.E. Vázquez. 2008. Extracción agrícola de bases en el norte de la provincia de Buenos Aires, Argentina: costo de su remediación e implicancias económicas. En: Revista Iberoamericana de Economía Ecológica 7:117-129.
- Gutierrez Boem, F.H., y J. Scheiner. 2007. Soja. En: Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ed. Echeverría, H. y García, F.O. INTA, Cap.13:283-300.
- Lamarche, L. 2012. Efecto del agregado de correctores básicos sobre el rendimiento de soja y sus componentes, los cambios en la acidez y en el complejo de cambio. [Trabajo final de carrera] La Plata, Universidad Nacional de La Plata.
- Nicora, Z. 2012. Efecto de la aplicación de correctores básicos sobre el suelo y el cultivo de soja en el centro este de la provincia de Buenos Aires. [Trabajo final de carrera] La Plata, Universidad Nacional de La Plata.
- Ramírez, F.J. 2002. Principales fuentes de la acidez del suelo. En: Ramírez, F.J. Variación de la capacidad tampón en suelos derivados de cenizas volcánicas del sur de Chile. [Tesis de grado] Valdivia, Universidad Austral de Chile. Cap. 2.4, s.p.
- Sylla M., A. Stein, M.E.F. van Mensvoort, y N. van Breemen. 1996. Spatial variability of soil actual and potential acidity in the Mangrove Agroecosystem of West Africa. En: SoilSci. Soc. Am. J. 60:219-229.
- Vázquez, M. 2007. Calcio y magnesio, acidez y alcalinidad de suelo. EN: Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ed: Echeverría, H.E y García, F.O. Cap. 8:161:188. 175 p.
- Vázquez, M. 2010. Calcio y magnesio del suelo. Dinámica en el suelo. Diagnóstico y fertilización. En: Fertilidad del suelo. Diagnóstico y manejo en la región pampeana. Ed. Rubio G., Álvarez R., C. Álvarez y R. Lavado. FAUBA. Buenos Aires. Cap. 4:371-394. 423 p.
- Vázquez, M., E. Baridón, J. Lanfranco, y G. Malagrina. 2000. Evaluación de la potencialidad de la problemática de acidez en la región norte de la provincia de Buenos Aires. Actas XVII congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 11-14 de abril, Mar del Plata, Argentina. CD-room.
- Zhang, H.M., B.R. Wang, M.G. Xu, y T.L. Fan. 2009. Crop yield and soil response to long-term fertilization on a red soil in southern China. En: Pedosphere 19:199-207.*

Publicaciones Disponibles IPNI-Norte de Latinoamérica

| Titulo de la Publicación | Costo (U\$S) |
|--|--------------|
| <p>Manual de Arroz. Desórdenes Nutricionales y Manejo de Nutrientes: Esta publicación contiene información que permite desarrollar estrategias de manejo nutricional y recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales.</p> <p>Guía Práctica para el Manejo de Nutrientes en Arroz: Contiene una discusión concisa y muy práctica de las estrategias de manejo nutricional y recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales. Excelente herramienta de apoyo en el contacto diario con los agricultores.</p> | 45.00 |
| <p>Palma de Aceite. Manejo para Rendimientos Altos y Sostenidos: La palma de aceite es uno de los cultivos con mayor expectativa de crecimiento a nivel mundial, existe una gran demanda entre los palmicultores y agrónomos por conocimientos y publicaciones sobre su manejo adecuado.</p> | 45.00 |
| <p>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 1: Vivero. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 1 cubre el manejo del vivero para producir plántas de calidad que deben estar disponibles para la siembra en el campo en el momento requerido.</p> <p>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 2: Fase Inmadura. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 2 cubre el manejo de la fase inmadura de la plantación para lograr una población uniforme de palmas productivas en cada bloque del campo.</p> <p>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 3: Fase Madura. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 3 cubre el manejo de la fase madura de la plantación para lograr rendimientos sostenidos de racimos de fruta fresca a través de toda la etapa productiva del cultivo.</p> | 45.00 |
| <p>4R de la Nutrición de Plantas. El concepto de los 4R, los 4 Requisitos, del "MANEJO RESPONSABLE DE NUTRIENTES" es un enfoque nuevo e innovador para las mejores prácticas de manejo de los fertilizantes adoptado por la industria mundial de fertilizantes. Este enfoque considera dimensiones económicas, sociales y ambientales del manejo de nutrientes y es esencial para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. El concepto es simple—aplicar la fuente correcta de nutrientes, en la dosis, el momento y el lugar correctos—pero la implementación usa el conocimiento en forma intensiva y es específica para cada sitio.</p> | 30.00 |
| <p>Manual Internacional de Fertilidad de Suelos: Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes con datos y ejemplos de diferentes partes del mundo</p> | 15.00 |
| <p>Uso Eficiente de Nutrientes: Esta publicación resume el estado del conocimiento con respecto a la eficiencia de uso de nutrientes en las Américas y discute el contexto contemporáneo dentro del cual se deben manejar los nutrientes.</p> | 15.00 |
| <p>Nutrición y Fertilización del Mango: Esta publicación ofrece información básica para el manejo de la nutrición y fertilización del mango tomando en cuenta las particulares características de desarrollo de este cultivo en el trópico.</p> | 15.00 |
| <p>Nutrición de la Caña de Azúcar: Este manual de campo es una guía completa para la identificación y corrección de los desórdenes y desbalances nutricionales de la caña de azúcar. El tratamiento completo de la materia y las excelentes ilustraciones hacen de este manual una importante herramienta de trabajo en la producción de caña.</p> | 10.00 |
| <p>Vea el catálogo completo de publicaciones del IPNI en http://nla.ipni.net</p> | |