

**FERTILIZACIÓN FOSFORO-AZUFRADA EN SOJA.
ESTRATEGIAS BASADAS EN DOSIS, LOCALIZACIÓN Y MOMENTOS DE APLICACIÓN
PROYECTO REGIONAL AGRÍCOLA, CRBAN.**

Ings. Agrs. Gustavo N. Ferraris y Lucrecia A. Couretot

*UCT Agrícola - Área de Desarrollo Rural. INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4,5 B2700WAA Pergamino
nferraris@pergamino.inta.gov.ar*

Introducción

La Soja es una especie con un comportamiento nutricional muy peculiar. Si bien es capaz de mantener rendimientos elevados en condiciones de baja fertilidad, por otra parte presenta mayores requerimientos de nutrientes por tonelada de grano cosechado que los demás cultivos extensivos sembrados en la región pampeana (Ciampitti y García, 2007). El fósforo (P) es el nutriente al que se han observado respuestas de mayor magnitud en este cultivo. En la actualidad se cuenta con una metodología precisa para su cuantificación en suelos neutros a ligeramente ácidos como el método Bray y Kurtz N°1 (Bray y Kurtz, 1945). Para la región pampeana, se ha determinado que la respuesta aumenta cuando la disponibilidad de P en la capa superficial del suelo (0-20 cm) disminuye (Ferraris, 2008). En el norte de Buenos Aires, las calibraciones efectuadas a partir de ensayos regionales permiten recomendar el agregado de este nutriente cuando su nivel en suelo es inferior a un rango de 12 a 14 ppm (Ferraris et al., 2008). Estas calibraciones fueron realizadas en experimentos de una campaña de duración, mediante aplicación de fertilizantes localizados en bandas al momento de la siembra. Sin embargo, ha sido menos estudiado el comportamiento del cultivo cuando se realizan aplicaciones anticipadas a la siembra, o estrategias combinando fertilización anticipada y a la siembra. Por otra parte, es necesario cuantificar los efectos residuales de la fertilización sobre el nivel de P en suelo, y la productividad de los siguientes cultivos de la rotación.

El presente trabajo expone los resultados del primer año de un ensayo de larga duración, destinado a evaluar estrategias que difieren en cuanto a dosis, momento y forma de localización. Hipotetizamos que 1. La soja responde a la fertilización fósforo-azufrada del cultivo. 2. Dicha respuesta no disminuye cuando se realizan aplicaciones anticipadas y/o combinando aplicaciones anticipadas y a la siembra, con respecto a la forma tradicional de aplicación de los fertilizantes a la siembra. 3. El incremento en la dosis total de fertilizante aplicado se traduce en aumentos en el rendimiento de los cultivos. 4. La dosis de P y azufre (S) aplicados afectan la disponibilidad final del nutriente en el suelo, otorgando residualidad para los próximos cultivos de la secuencia.

Palabras clave: Soja, fósforo, azufre, cobertura total, anticipación, residualidad.

Materiales y métodos

El ensayo se sembró en la localidad de Ferré, partido de General Arenales, (Bs As), sobre un suelo serie Rojas, Argiudol típico, Clase de uso 1 de muy buena productividad. La siembra se efectuó el día 1 de Diciembre en Siembra Directa, con la variedad Don Mario 4970 RR. El antecesor fue soja de primera. Se sembraron parcelas de 6 m de ancho y 9 m de longitud. La semilla fue inoculada para asegurar adecuada provisión de nitrógeno (N).

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.

Tabla 1: *Tratamientos evaluados. Fuentes y localización de fertilizantes fosforados en Soja. La Trinidad, General Arenales, Bs As. Campaña 2010/11.*

| Denominación | Dosis P Junio (kg/ha) | Dosis P Diciembre (kg/ha) | Momento aplicación | localización | Dosis S Siembra kg/ha |
|--------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------|-----------------------|
| T1 | 0 | 0 | | | SC 100 |
| T2 | SPT 125 | 0 | anticipado Junio | voleo | SC 100 |
| T3 | 0 | SPT 50 | siembra Diciembre | localizado | SC 100 |
| T4 | SPT 75 | SPT 50 | anticipado Junio siembra Diciembre | voleo localizado | SC 100 |
| T5 | 0 | SPT 125 | siembra Diciembre | localizado | SC 100 |
| T6 | 0 | SPT 125 | siembra Diciembre | localizado | SC 0 |

Las fuentes de fertilizante utilizadas fueron Superfosfato Triple de Calcio (SPT, 0-20-0) y Sulfato de Calcio (SC, 0-0-0-S18).

El análisis de suelo del sitio experimental se presenta en la Tabla 2. Se destaca un nivel de materia orgánica normal, bajo de P y un textura franco limosa muy equilibrada.

Tabla 2: *Análisis de suelo al momento de la siembra.*

| Prof | pH | Materia Orgánica | N total | S-Sulfatos | P-disp. | Textura | | | Humedad | Condición física |
|------|------------|------------------|---------|------------|---------|-----------|----------|-------------|-------------|------------------|
| | | | | | | Arena (%) | Limo (%) | Arcilla (%) | | |
| Cm | Agua 1:2,5 | % | | ppm | ppm | | | | | |
| 0-20 | 6,1 | 2,8 | 0,097 | 6,0 | 13,9 | 28,3 | 48,4 | 23,1 | 120 mm (1m) | Sin compactación |

En inicio de formación de vainas, se realizó una estimación indirecta del contenido de N por medio del medidor de clorofila Minolta Spad 502, la cobertura mediante procesamiento con software específico de imágenes digitales. En madurez fisiológica, se midió la altura final de plantas. La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras. Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza y comparaciones de medias. Sobre muestras de grano se evaluó la concentración de P, para poder realizar un balance del nutriente. Sobre cada una de las parcelas se evaluó el contenido de P y S residual en el suelo (0-20 cm).

Resultados y discusión

a) Condiciones ambientales

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones determinadas en el sitio experimental y la evapotranspiración del cultivo, así como el balance hídrico decádico. Las precipitaciones fueron ajustadas pero bien distribuidas, con un período de déficit acotado a finales de diciembre pero sin carencias marcadas durante el período crítico. Este breve déficit no impidió que se obtuvieran rendimientos elevados.

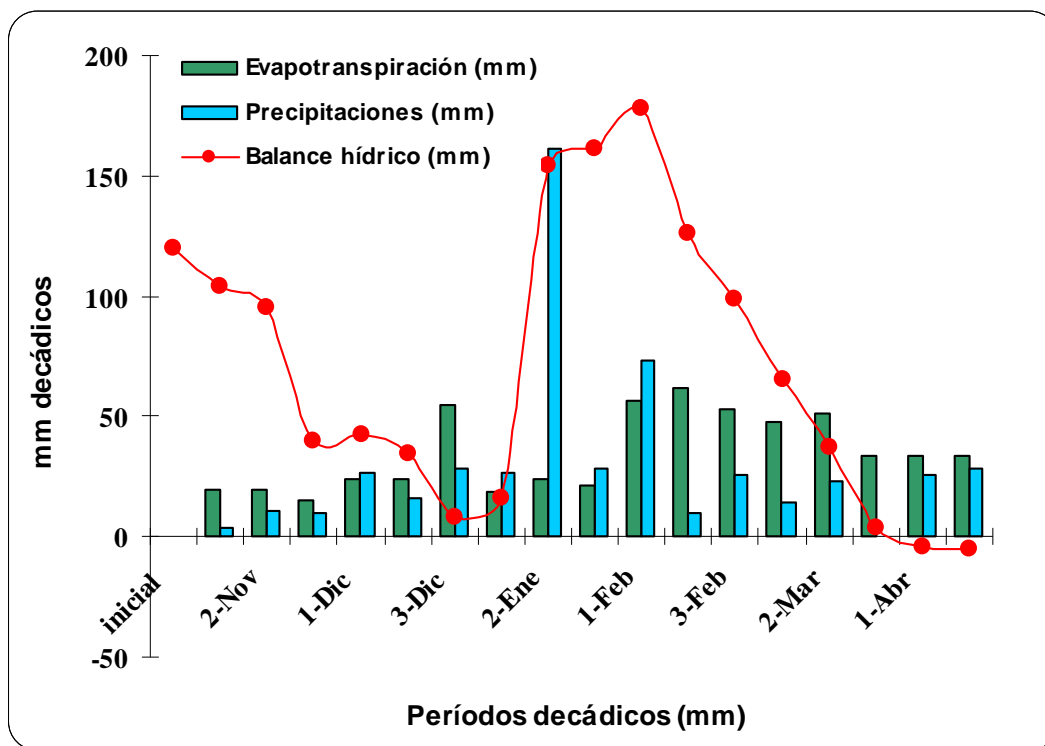


Figura 1: Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádicos, considerando 2 m de profundidad. La Trinidad, General Arenales (Bs As), campaña 2010/11. Precipitaciones totales 514 mm. Déficit acumulado 10 mm.

b) Resultados del ensayo

En la Tabla 3 se presentan algunas variables intermedias de cultivo. La fertilización fosforada incrementó la altura final de las plantas, la cobertura e intercepción de radiación con relación al testigo, siendo escasa las diferencias entre las distintas estrategias. Por el contrario, las diferencias fueron más aleatorias en la intensidad de verde medida por Spad. El fósforo ha sido frecuentemente asociado al crecimiento y la acumulación de biomasa, pero rara vez con el contenido de clorofila y la eficiencia fotosintética, por lo que no es esperable que modifique sustancialmente los valores de Spad.

La materia seca total acumulada a cosecha osciló entre 8381 y 8875 kg ha⁻¹ (Tabla 4, Figura 2), y los rendimientos variaron en un rango de 4057 a 5001 kg ha⁻¹ (Tabla 4, Figura 3). Las diferencias en materia seca y rendimientos no fueron significativas, aunque alcanzó magnitud considerable siendo el máximo de 944 kg ha⁻¹ (23,3 %), favorecida por el bajo nivel de P inicial en el suelo (Tabla 3). Se determinó una relación muy ajustada entre rendimiento y materia seca acumulada (Figura 4). La fertilización fosforada, además del crecimiento, mejoró levemente el Índice de cosecha del cultivo (Tabla 4).

Respecto de la localización, la aplicación de P en banda a la siembra no ofreció ventajas sobre el voleo anticipado. Se determinaron ventajas de 130 kg ha⁻¹ por incrementar la dosis de SPT de 50 a 125 kg ha⁻¹, y diferencias medias de 145 kg ha⁻¹ entre la media de los tratamientos fertilizados con PS y aquel que sólo recibiera P (Tabla 4, Figura 3). Sin embargo, la estrategia de mejor performance fue aquella que combinó una aplicación anticipada (SPT 75) y a la siembra (SPT 50). Este pareciera ser un esquema válido para permitir la reposición del P exportado con los granos, sin afectar la logística de siembra ni asumir excesivos riesgos de pérdidas de plantas por fitotoxicidad.

Con relación a los componentes numéricos del rendimiento, se determinaron diferencias significativas en PG (P=0,002) pero estos no alcanzaron un nivel estadístico para NG (P>0,10). Sin embargo, este último componente fue el de mayor relevancia por su alta relación con los rendimientos (r²=0,73) en comparación a PG (r²=0,27).

Tabla 3: Altura final de planta (cm), cobertura e intensidad de verde medida por Spad en R3. Dosis, momentos y localización de fertilizantes fosforados en Soja. La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires. Campaña 2010/11.

| Tratamiento | AFP (cm) | Cobertura R3 (%) | Spad |
|----------------------|----------|------------------|------|
| T1 | 96 | 88 | 42,5 |
| T2 | 104 | >95 | 41,2 |
| T3 | 98 | >95 | 43,3 |
| T4 | 106 | >95 | 43,6 |
| T5 | 105 | >95 | 43,6 |
| T6 | 102 | >95 | 43,2 |
| Sign est. (P) | | | |
| CV (%) | | | |

Tabla 4: Materia seca total (kg ha⁻¹), rendimiento de grano (kg ha⁻¹), Índice de cosecha y diferencia de rendimiento absoluta o relativa con el testigo (Tn-T1). Dosis, momentos y localización de fertilizantes fosforados en Soja. La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires. Campaña 2010/11.

| Tratamiento | Materia seca total (kg ha ⁻¹) | Rendimientos (kg ha ⁻¹) | IC | NG | PG x 1000 | Diferencia con Testigo (Tn-T1) | |
|----------------------|---|-------------------------------------|------|-----------|-----------|--------------------------------|------|
| | | | | | | (kg ha ⁻¹) | (%) |
| T1 | 8381 | 4057 | 0,48 | 2633,9 | 143,2 | | |
| T2 | 8875 | 4405 | 0,50 | 2597,8 | 129,7 | 348 | 8,6 |
| T3 | 8714 | 4280 | 0,49 | 2516,2 | 146,3 | 223 | 5,5 |
| T4 | 8759 | 5001 | 0,57 | 2883,6 | 137,1 | 944 | 23,3 |
| T5 | 8813 | 4410 | 0,50 | 2639,8 | 142,5 | 353 | 8,7 |
| T6 | 8563 | 4380 | 0,51 | 2495,5 | 141,3 | 323 | 8,0 |
| Sign est. (P) | 0,99 n.s. | 0,14 n.s. | | 0,11 n.s. | 0,002 | | |
| CV (%) | 14,4 % | 10,0 % | | 7,2 % | 3,3 % | | |

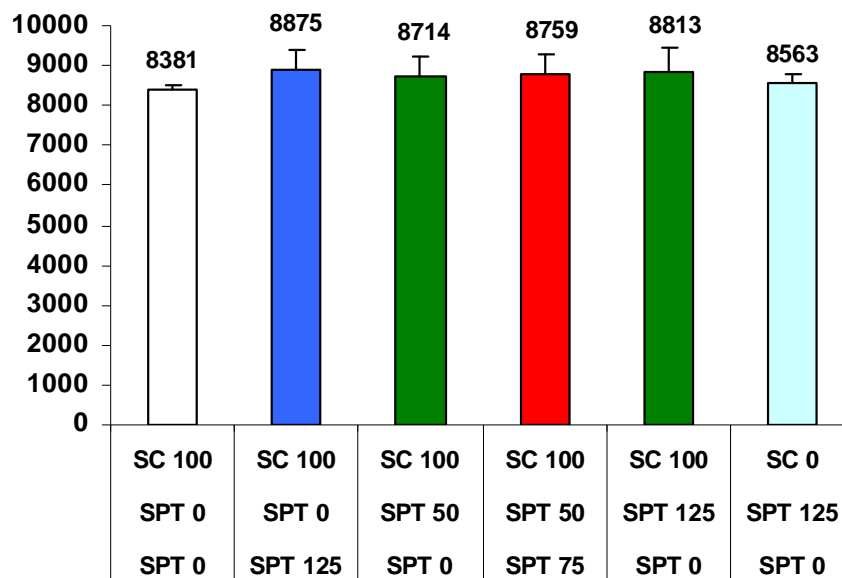


Figura 2: Materia seca (kg ha⁻¹) como resultado de la implementación de estrategias consistentes en diferentes dosis, momentos y formas de localización en Soja. Línea inferior: dosis de SPT (0-20-0) anticipada en Junio. Línea media: dosis de SPT (0-20-0) aplicada a la siembra. Línea superior: Dosis

de SC (0-0-0-S18) aportada a la siembra del cultivo. Las barras verticales indican la desviación Standard de la media. La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires, Campaña 2010/11.

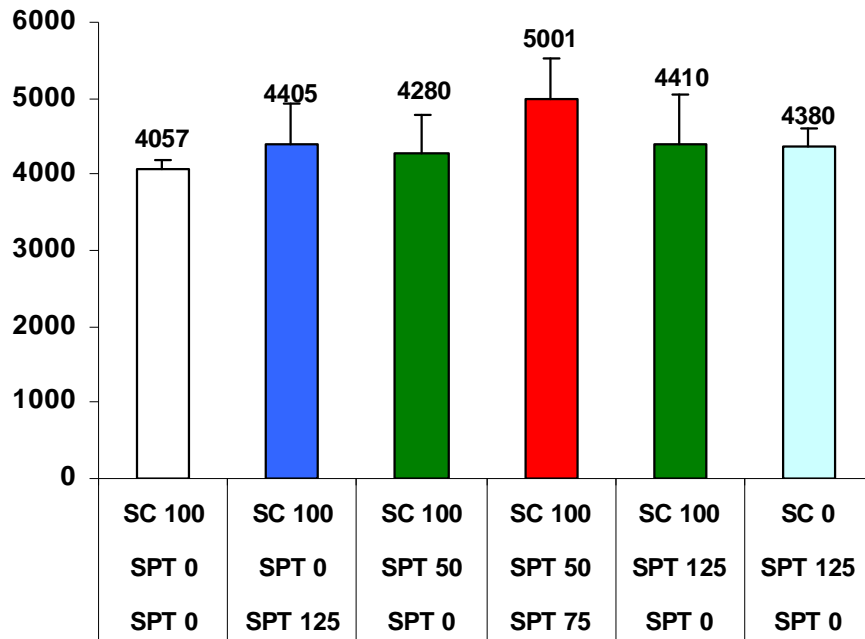


Figura 3: Rendimiento (kg ha⁻¹) como resultado de estrategias consistentes en diferentes dosis, momentos y formas de localización en Soja. Línea inferior: dosis de SPT (0-20-0) anticipada en Junio. Línea media: dosis de SPT (0-20-0) aplicada a la siembra. Línea superior: Dosis de SC (0-0-0-S18) aportada a la siembra del cultivo. Las barras verticales indican la desviación Standard de la media. La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires, Campaña 2010/11.

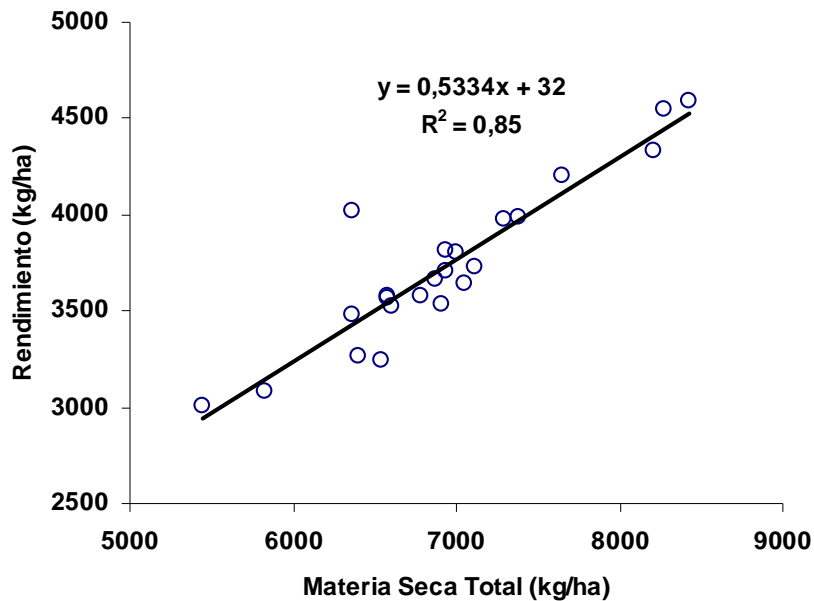


Figura 4: Relación entre los rendimientos de grano y la acumulación de materia seca total en planta (kg ha⁻¹). La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires, Campaña 2010/11.

c) Residualidad de los nutrientes a cosecha

En las Figuras 5 y 6 se presentan los resultados niveles de nutrientes determinados en suelo a cosecha. El P incrementó su disponibilidad con relación al valor inicial inclusive en el tratamiento testigo, probablemente a causa de un efecto estacional. La dotación final reflejó la dosis aportada, siendo menos cuando la fertilización fue de suficiencia o nula (Figura 5).

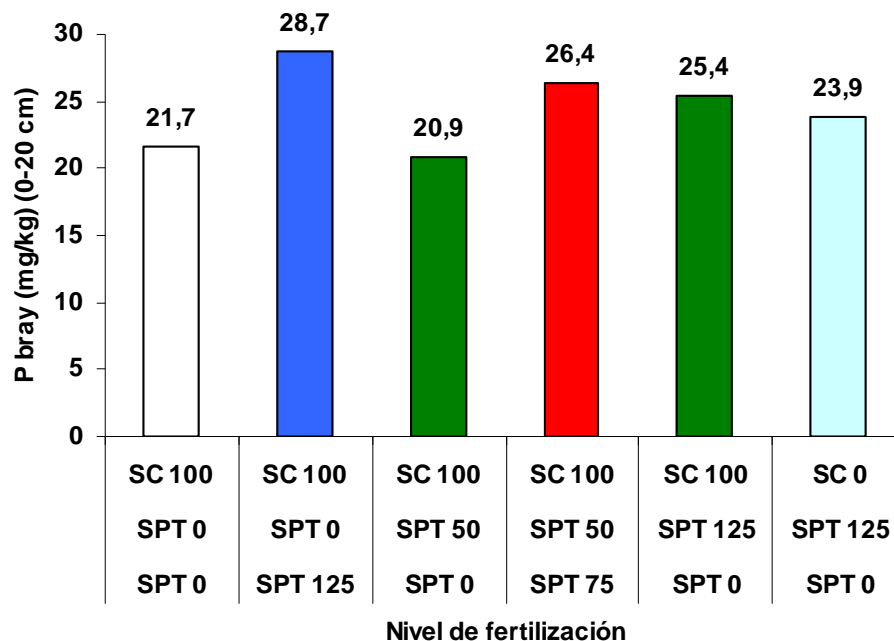


Figura 5: Nivel final de P en suelo a cosecha (kg ha^{-1}) como resultado de estrategias consistentes en diferentes dosis, momentos y formas de localización en Soja. Línea inferior: dosis de SPT (0-20-0) anticipada en Junio. Línea media: dosis de SPT (0-20-0) aplicada a la siembra. Línea superior: Dosis de SC (0-0-0-S18) aportada a la siembra del cultivo. La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires, Campaña 2010/11.

El S, a pesar de su mayor movilidad con relación al P, evidenció efecto de tratamientos siendo mínimo en aquel no fertilizado (última columna a la derecha) (Figura 6).

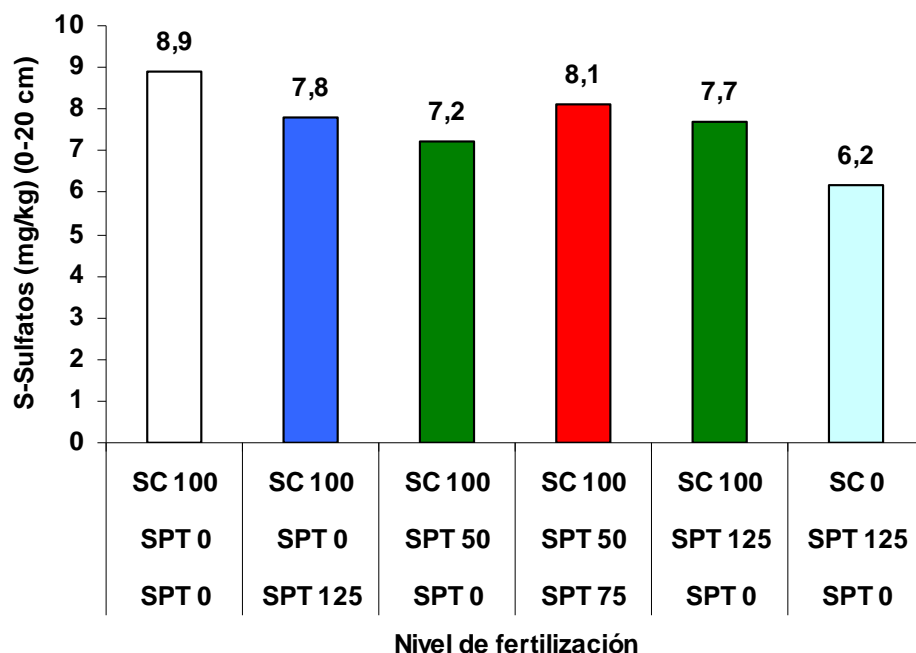


Figura 6: Nivel final de S en suelo a cosecha (kg ha^{-1}) como resultado de dosis -S0 y S18- aplicadas en Soja. Línea inferior: dosis de SPT (0-20-0) anticipada en Junio. Línea media: dosis de SPT (0-20-0) aplicada a la siembra. Línea superior: Dosis de SC (0-0-0-S18) aportada a la siembra del cultivo. Nótese el valor inferior de S-sulfatos en el tratamiento con SC 0. La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires, Campaña 2010/11.

Conclusiones

* Bajo buenas condiciones ambientales, la fertilización fosforada incrementó los rendimientos, en un rango de 223 a 994 kg ha^{-1} (5,5 a 23,3 %). Estos incrementos son explicables a partir de un mayor crecimiento, cobertura e intercepción de radiación. Las diferencias fueron considerables en magnitud y económicamente rentables, aunque no significativas. De igual modo, el agregado de S aumentó los rendimientos en 145 kg ha^{-1} , diferencia no significativa ($P > 0,10$). Por lo analizado, la hipótesis 1 – la soja responde a la fertilización- puede ser parcialmente aceptada.

* La aplicación anticipada al voleo demostró similar eficacia que la misma dosis localizada a la siembra. La partición entre una aplicación anticipada y a la siembra resultó en mayores rendimientos que la misma dosis puesta en su totalidad en banda a la siembra. Por este motivo, la hipótesis 2 – la respuesta a la fertilización no disminuye cuando se utilizan estrategias alternativas a la fertilización tradicional en banda a la siembra-es aceptada.

* La hipótesis 3 – existe respuesta a dosis de P- es aceptada, por la ganancia de 130 kg ha^{-1} al pasar de SPT 50 a SPT 125.

* La hipótesis 4 – la estrategia de fertilización afecta el nivel residual de los nutrientes en el suelo- es aceptada, ya que la concentración final se incrementó conforme lo hiciera la dosis aplicada, siendo válido no sólo para P sino también para S.

Bibliografía consultada

* Bray, R and Kurtz, L.1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils .Soil Sci 59: 39 - 45.

* Ciampitti I. y F. García. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes

secundarios: Cereales, Oleaginosos e Industriales. Informaciones Agronómicas No. 33. Archivo Agronómico No. 11. pp. 1-4. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires.

* 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

