

INTA EEA PERGAMINO
Proyecto Regional Agrícola. Campaña 2011/12

Ings. Agrs. (MSc) Gustavo N. Ferraris y Lucrecia A. Couretot

Proyecto Regional Agrícola-CRBAN. Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino.

Av Frondizi km 4,5 (2700) Pergamino

nferraris@pergamino.inta.gov.ar

Introducción

El fósforo (P) es uno de los 17 nutrientes considerados esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Marschner, 1995). Junto con el nitrógeno (N), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca) y magnesio (Mg) conforman el grupo de macronutrientes por las cantidades requeridas y la frecuencia con que se encuentran en cantidades deficientes para los cultivos.

Las deficiencias de P afectan en mayor medida el crecimiento que la fotosíntesis (Mollier y Pellerin, 1999). Las plantas con deficiencias de P presentan menor expansión y área foliar, y un menor número de hojas (Mollier y Pellerin, 1999). En contraste, los contenidos de proteína y clorofila por unidad de área foliar no son muy afectados por deficiencias de P (Plénet et al., 2000). El mayor efecto sobre el crecimiento que sobre el contenido de clorofila explica los colores verdes más oscuros observados en plantas deficientes en P.

Tradicionalmente, los estudios sobre fertilización fosforada se han centrado en la calibración de umbrales críticos de respuesta tomando como base el análisis de muestras de suelo por el método de Bray y Kurtz, y en la elaboración de curvas de respuesta. Sin embargo, en los últimos tiempos se ha avanzado en aspectos tecnológicos de manejo de fertilizantes, basados en procesos como la aplicación anticipada o en superficie, y en fuentes fertilizantes, mediante la evaluación de diferentes especies químicas (ortofosfatos y polifosfatos) o físicas (sólidos y líquidos).

Las fuentes líquidas han mostrado un resultado aleatorio en el incremento de la eficiencia agronómica del uso del nutriente. En zonas áridas, o en presencia de carbonatos, se han observado mayores cantidades de fosfatos precipitados en la interfase suelo-planta cuando se utilizaban fertilizantes sólidos frente a fuentes líquidas. Los líquidos podrían tener ventajas en condiciones de baja disponibilidad hídrica o suelos altamente fijadores, con tendencia a formar precipitados.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de estrategias de fertilización con sólidos tradicionales de alto grado que contienen el P como ortofosfato, en comparación con formulaciones líquidas, las cuales proveen el nutriente como polifosfato. La versatilidad de las fuentes líquidas permite a la vez evaluar nuevos esquemas de fertilización, como la aplicación conjunta de nitrogenados y fosforados en etapas tempranas del cultivo, o estrategias que combinen fuentes sólidas y líquidas. Hipotetizamos que existe respuesta agronómica a PS, pudiendo maximizarse la eficiencia agronómica de uso del nutriente a través de combinaciones apropiadas de fuentes y dosis.

Palabras clave: Soja, fósforo, azufre, fuentes líquidas, localización

Materiales y métodos:

El ensayo se implantó en la localidad de Pergamino, sobre un suelo Serie Pergamino, fase ligeramente erosionada, de muy buena productividad. Los tratamientos fueron aplicados en soja de primera. La siembra se realizó el día 25 de noviembre, con la variedad Nidera A 4613 RG, en hileras espaciadas a 0,40 m. El sitio experimental registra una rotación agrícola continua con varios cultivos de soja en la secuencia. El antecesor fue maíz. Durante el ciclo se realizaron tres aplicaciones de

Glifosato, a la dosis de 3l ha⁻¹ acompañadas de un coadyuvante organosiliconado. Las parcelas se mantuvieron libres de malezas.

Se evaluaron tratamientos de fuentes, dosis, localización y momentos de aplicación de fertilizantes fosforados, constituyendo un diseño de 3 fuentes x 2 dosis. El detalle de los tratamientos se presenta en la Tabla 1. Las fuentes utilizadas fueron el fertilizante líquido Nutrix (5-6-0-S7) y el sólido superfosfato simple (0-21-0-S12).

Tabla 1: *Tratamientos evaluados en el ensayo.*

Tratamiento	Fertilizante	Dosis (kg-l ha ⁻¹)	Dosis de P agregada (kg-l ha ⁻¹)	Momento de aplicación	localización
T1	Testigo				
T2	Nutrix Líquido	100	2,6	Siembra	Chorreado en superficie
T3	SPS Sólido	65	6	Siembra	Voleo
T4	Nutrix líquido + SPS sólido	50 32,5	4,3	Siembra	Chorreado + Voleo
T5	Nutrix Líquido	200	5,2	Siembra	Chorreado en superficie
T6	SPS Sólido	130	12	Siembra	Voleo
T7	Nutrix líquido + SPS sólido	100 65	8,6	Siembra	Chorreado + Voleo

Previo a la siembra, se realizó un análisis químico de suelo por bloque, cuyos resultados promedio se expresan en la Tabla 2.

Tabla 2: *Análisis de suelo al momento de la siembra, promedio de cuatro repeticiones.*

Prof.	MO	pH	Ntotal	N-NO3	N-NO3	P-Bray	S-SO4	K	Mg	Ca	B	Mn	Cu	Zn
(cm)	(%)			Ppm	kg/ha 0-60	ppm								
0-20	2,39	5,3	0,170	27,9	107,3	15,7	12,7	1102	250	1323	0,63	53,1	1,85	0,84
20-40				10,5										
40-60				5,2										

Se recontaron plantas, y en el estado V3 se realizó una evaluación de infectividad, considerando infectivas aquellas plantas con más de tres nódulos activos y morfológicamente normales. En R3 se midió la cobertura mediante procesamiento con software específico de imágenes digitales, y el vigor a través de un índice cuantitativo de calidad del cultivo. En R4 se realizó una estimación indirecta del contenido de N por medio del medidor de clorofila Minolta Spad 502, lo misma que la altura de palntas. En R6 se evaluó el vuelco. La recolección se realizó con una cosechadora experimental automotriz. Sobre una muestra de cosecha se determinaron los componentes del rendimiento, número (NG) y peso de granos (PG). Los resultados fueron analizados por partición de la varianza, comparaciones de medias y análisis de regresión.

Resultados

a) Ambiente climático en el sitio experimental

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones determinadas en el sitio experimental y la evapotranspiración del cultivo, así como el balance hídrico decádico. Se registró un prolongado período de déficit principalmente durante la etapa vegetativa e inicio del período reproductivo, que acumulado alcanzó a 157 mm. Durante el período crítico del cultivo las precipitaciones se normalizaron alcanzando en el total del ciclo a 561,6 mm. La disminución en rendimiento fue moderada.

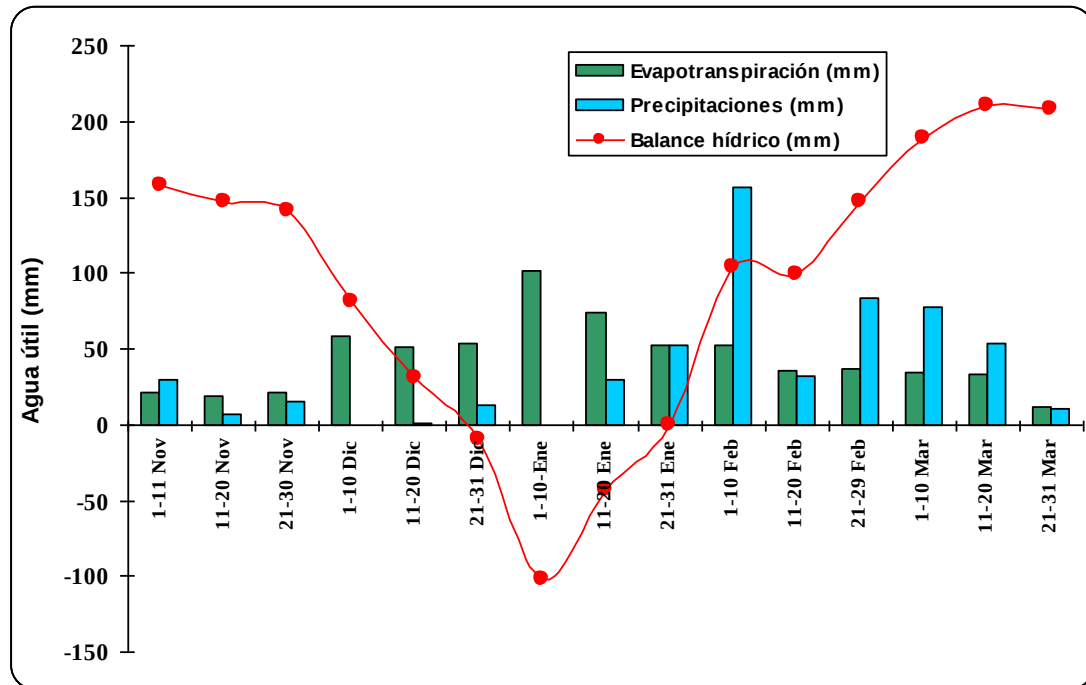


Figura 1: Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádico considerando 2 m de profundidad. Pergamino, Bs As, campaña 2011/12. Precipitaciones totales 561,6 mm. Déficit acumulado 157 mm.

En la Figura 2 se presentan las temperaturas, los días con precipitaciones y las horas de mojado foliar. Luego de un período de fuerte sequía, esta etapa marca una recuperación de las precipitaciones y condiciones más favorables para el crecimiento del cultivo.

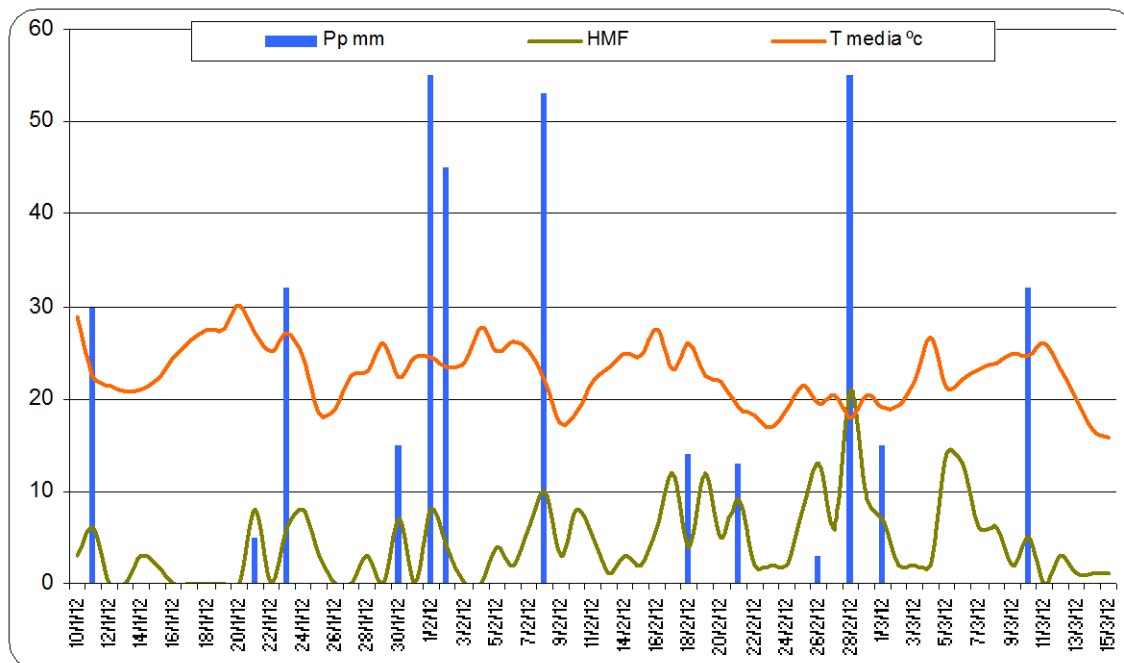


Figura. 2: Precipitaciones expresadas en mm (pp mm), horas de mojado foliar (HMF) y temperaturas medias (T Media) desde mediados de enero, febrero y principio de marzo en el sitio experimental. Pergamino, Bs As, campaña 2011/12.

Resultados de los experimentos

En la Tabla 3 se presentan los resultados de variables intermedias medidas en los experimentos, los rendimientos y sus componentes.

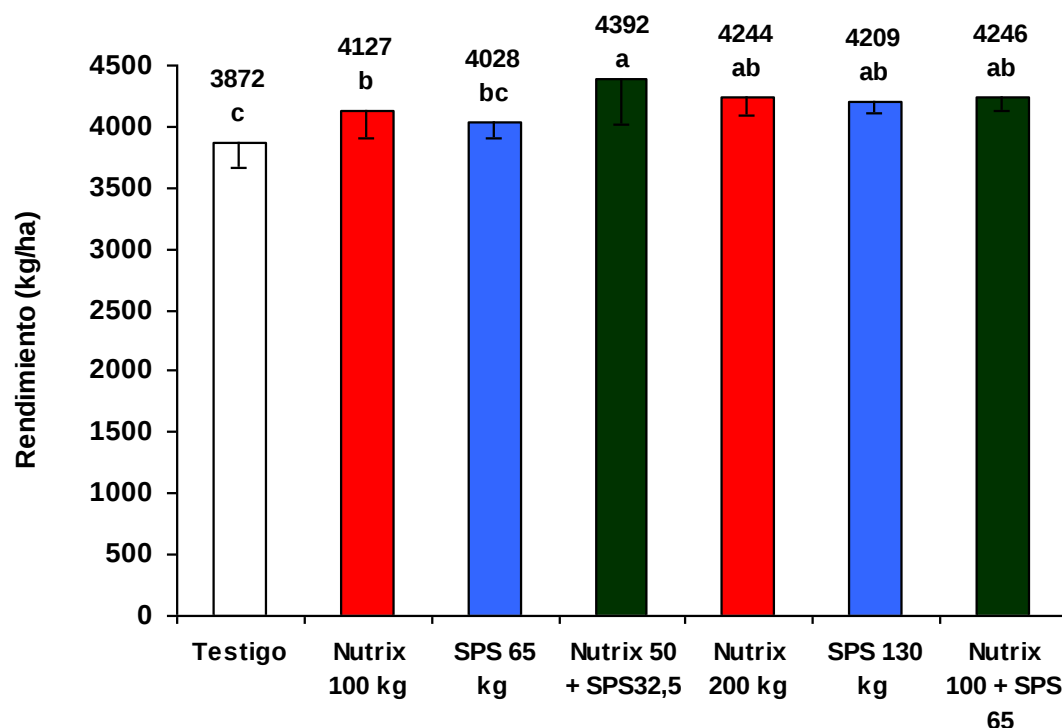
Tabla 3: Infectividad, Índice de vigor, altura (cm), cobertura, índice verde (Unidades Spad), vuelco, rendimiento de grano, componentes y respuesta sobre el testigo. Para cada variable, en una misma dosis de fertilizante, se destaca en negrita el mejor tratamiento. Fertilización fósforo-azufrada en Soja. Pergamino, campaña 2011/12.

Trat. Fertilización	Infectividad V3	Índice Vigor R3	Altura (cm)	Cobertura R3	Spad R4	Vuelco R 6	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	NG	PG	Dif. sobre T1 (kg ha ⁻¹)
Testigo	100	4,1	83	92,5	44,3	1,1	3872,4	2251	172,0	
Nutrix 100 kg	100	4,1	88	92,5	45,3	1,1	4127,5	2618	157,7	255,1
SPS 65 kg	100	3,9	87	92,5	45,0	1,1	4028,0	2627	153,3	155,6
Nutrix 50 + SPS32,5	100	4,1	92	90,0	43,9	1,0	4391,7	2714	161,8	519,3
Nutrix 200 kg	100	4,1	89	92,5	45,1	1,2	4243,9	2756	154,0	371,5
SPS 130 kg	100	4,2	90	92,5	45,8	1,2	4208,8	2466	170,7	336,4
Nutrix 100 + SPS 65	100	4,1	92	94,5	44,9	1,1	4245,6	2610	162,7	373,2
Fertilización PS (P=)							0,07			
CV (%)							3,93			

V3: Estado de 3 hojas expandidas, R3 (inicio de formación de vainas), R4 (vaina de máximo tamaño) y R6 (grano de máximo tamaño) de acuerdo a la escala de Fehr y Caviness, 1974.

Índice de Vigor: Según escala 1: mínimo – 5: máximo. Evalúa Sanidad, tamaño de planta y uniformidad de las parcelas.

Vuelco: Según escala 1: todas las plantas erectas – 5: todas las plantas volcadas.



Fertilización (Fuente- Dosis)

Figura 3: Rendimiento de grano de soja como resultado de diferentes tratamientos de fertilización fósforo-azufrada en soja. Pergamino, campaña 2011/12. Letras distintas representan diferencias significativas entre tratamientos. Las barras de error indican la desviación standard de la media.

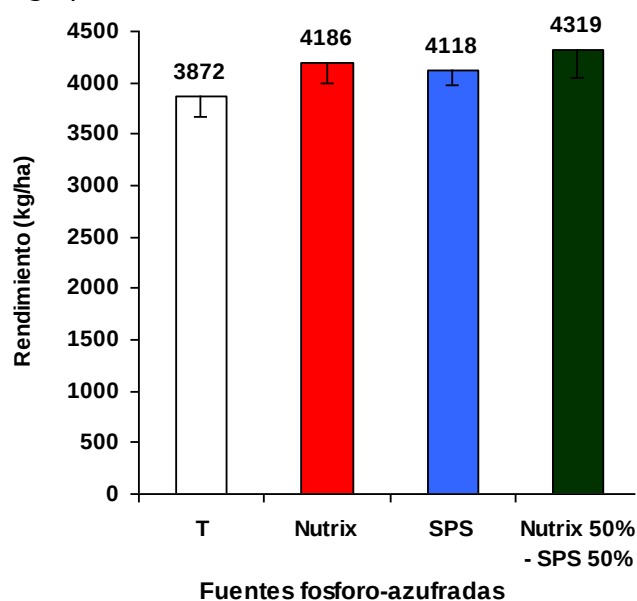


Figura 4.a

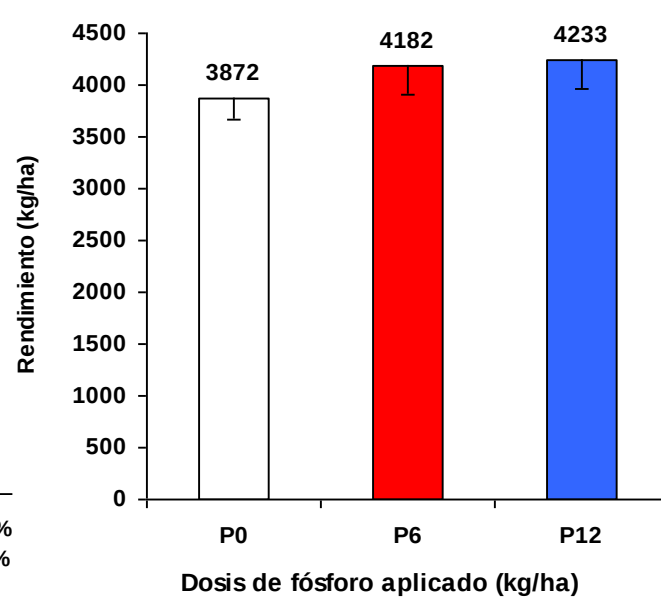


Figura 4.b

Figura 4: Rendimiento de grano de soja según a) Fuente, promedio de dos dosis de cada fertilizante b) Dosis de P aplicado, promedio de las diferentes fuentes y sus combinaciones.

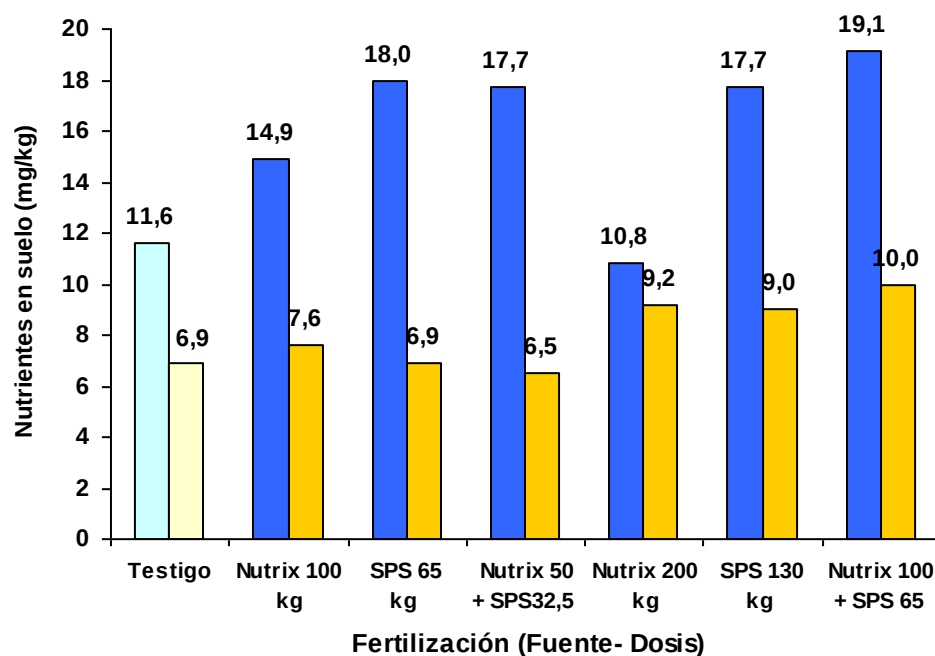


Figura 5: Niveles de fósforo (P) y azufre (S) residual en suelo a la cosecha como resultado de diferentes tratamientos de fertilización fósforo-azufrada en soja, promedio de cuatro repeticiones. Pergamino, campaña 2011/12.

Discusión y conclusiones

- * El cultivo no expresó déficit hídrico ya que fue sembrado en la etapa en que comenzaba la recuperación de las precipitaciones.
- * Se determinaron diferencias significativas en los rendimientos ($P=0,007$, $cv=3,93\%$). Todos los tratamientos fertilizados superaron al testigo, a excepción de SPS 50 kg (T3).
- * En este experimento, la aplicación de fertilizantes fósforo-azufrados en superficie produjo diferencias de rendimiento en un rango de 155,6 a 519,3 kg ha⁻¹ (Tabla 3), respuesta importante considerando que el nivel de P en suelo es intermedio (Tabla 2).
- * Nutrix 100 + SPS 32,5 (T4), Nutrix 200 (T5), SPS 130 (T6) y Nutrix 100 + SPS 65 (T7) integraron el grupo de mayor productividad, sin diferencias entre sí (letra “A” en el análisis estadístico) (Figura 3).
- * Las fuentes no presentaron diferencias, analizado a través de contrastes ($P>0,10$). No obstante, la combinación de líquido y sólido en iguales proporciones alcanzó a 133 y 201 kg ha⁻¹ más que líquido y sólido aplicados como única fuente, respectivamente (Figura 4.a).
- * Los tratamientos que recibieron la dosis máxima de P fueron los de mejor aspecto, mayor crecimiento e intensidad de verde durante el período crítico, pero la diferencia de producción no fue significativa respecto de la dosis de 6 kgP ha⁻¹ (Tabla 3 y Figura 4.b).
- * El nivel final de P en suelo como tendencia reflejó la cantidad de P aportada (Figura 5).
- * Los resultados obtenidos permiten aceptar la hipótesis 1 –existe respuesta a PS-. Ambas fuentes demostraron ser adecuadas para mejorar el estado nutricional del cultivo e incrementar los rendimientos, alcanzando los máximos en estrategias que combinaron en iguales proporciones líquidos y sólidos.