

FERTILIZACIÓN FOSFORO-AZUFRADA EN SOJA.

Diagnóstico y tecnología de aplicación.

Gustavo N. Ferraris y Lucrecia A. Couretot (Desarrollo Rural INTA Pergamino)

Introducción:

La fertilización de la soja en la región pampeana central es una práctica cada vez mas difundida, acompañada de la aparición de respuestas económicamente rentables. Diversos trabajos (Echeverría et al., 2002; Ferraris y Elisei, 2003) han permitido identificar umbrales críticos de respuesta a fósforo (P). Sin embargo, es necesario obtener mayor información acerca de aspectos tecnológicos como el ajuste de la dosis óptima a través de la construcción de curvas de respuesta, y evaluar la eficiencia de formas alternativas de aplicación respecto de la tradicional localización de los fertilizantes al costado de la línea de siembra. En este sentido, la aplicación anticipada al voleo de dosis elevadas de fertilizantes fosforados en siembra directa ha mostrado resultados alentadores (Bianchini, 2003). Para responder a estos interrogantes se planteó un ensayo cuyos objetivos fueron

Respecto del azufre (S), si bien se han logrado avances en la predicción de deficiencias del nutriente a través de la identificación de variables que fueron asociadas con la respuesta a la fertilización (Ferraris, 2004; Ferraris et al., 2004), la falta de un criterio definitivo exige que estas variables necesiten seguir siendo estudiadas en condiciones de campo. A su vez, de la misma manera que como sucede con P, existe muy poca información sobre tecnología de fertilización, y pocos trabajos han profundizado en aspectos tales como momentos de aplicación (Ferraris et al., 2001) o comparación de fuentes fertilizantes (Gutiérrez Boem et al., 2004), por lo que es necesario también generar más información en este sentido.

Los objetivos de este trabajo fueron

1) Construir una curva de respuesta a P en el cultivo de Soja. 2) Evaluar la eficiencia de aplicaciones de P anticipadas, respecto de las realizadas a la siembra del cultivo y 3) evaluar la respuesta de la Soja a la fertilización con S y comparar la eficiencia de una aplicación anticipada al voleo vs. la incorporación localizada del fertilizante a la siembra.

Materiales y métodos:

La experiencia se realizó en la localidad de Wheelwright (Departamento General López, Santa Fe), sobre un suelo Argiudol típico serie Hughes. El lote tenía como antecesor a soja de primera sin fertilización, y el nivel de cobertura del suelo era bajo (40 %). Se sembró la variedad Nidera A3901 RG a 52,5 cm entre hileras, en parcelas de 20 x 4,73 m. La semilla fue inoculada a dosis de marbete. Se empleó un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Se evaluaron tratamientos con agregado de P y S:

Tratamientos para evaluar respuesta a Fósforo (P)

- P0: Testigo sin fertilización.
- P1: 30 kg/ha de P al voleo, anticipados 60 días a la siembra.
- P2: 10 kg/ha de P incorporados a la siembra
- P3: 20 kg/ha de P incorporados a la siembra
- P4: 30 kg/ha de P incorporados a la siembra

Tratamientos para evaluar respuesta a Azufre (S)

- S0: Testigo sin fertilización.
- S1: 15 kg/ha S al voleo anticipado 20 días antes de la siembra.
- S2: 15 kg/ha S incorporado a la siembra.

Los tratamientos S0 a S2 recibieron el agregado de 30 kg P/ha como fertilización de base. Las fuente fertilizante utilizada fueron para P superfosfato triple de calcio (0-20-0) y

para S sulfato de calcio pelletizado (0-0-0-18S-22Ca). En los estadíos R2 y R5 se midió intercepción de radiación mediante un radiómetro con un sensor lineal. La cosecha se realizó en forma manual con trilla estacionaria y corrección de los rendimientos a 13 % de humedad. Los resultados fueron analizados por partición de la varianza, comparación de medias y análisis de regresión. Se realizó un análisis económico de los tratamientos evaluados.

Resultados y discusión:

Previo a la siembra se efectuó un análisis químico de suelo. Los resultados se presentan en la Tabla 1:

Tabla 1: *Análisis de suelo a la siembra en capa superficial de suelo (0-20 cm).*

Profundidad	pH	MO (%)	P (mg kg ⁻¹)	S-SO ₄ (mg kg ⁻¹)
0-20 cm	5,4	2,41	11	3,6

En la Figura 1 por su parte, se muestran las precipitaciones mensuales durante el ciclo del cultivo y en los meses previos a la siembra, comparadas con la media histórica. En esta localidad como en buena parte de la región sojera central, la campaña agrícola 2003/04 se caracterizó por la escasez de precipitaciones y un déficit hídrico marcado en los primeros meses del verano, durante el período reproductivo de la Soja.

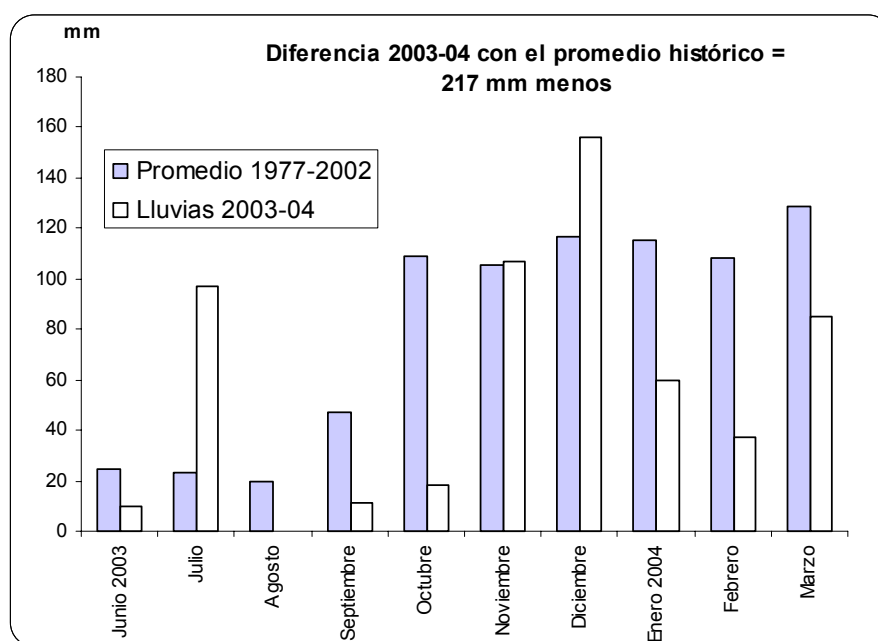


Figura 1: *Precipitaciones mensuales de la campaña 2003/04, en comparación con la media histórica de la localidad en el período 1977/2003.*

Respuesta al agregado de P

Durante el ciclo del cultivo, se marcaron claras diferencias entre los tratamientos fertilizados con P y su testigo. El testigo presentó menor crecimiento, la formación de hojas más pequeñas de coloración oscura y disminuyó su capacidad de interceptar la radiación disponible durante el período reproductivo (Figura 2). Algunos de estos efectos fueron mencionados por Gutiérrez Boem y Thomas (2001) en parcelas con deficiencias de P en el suelo.

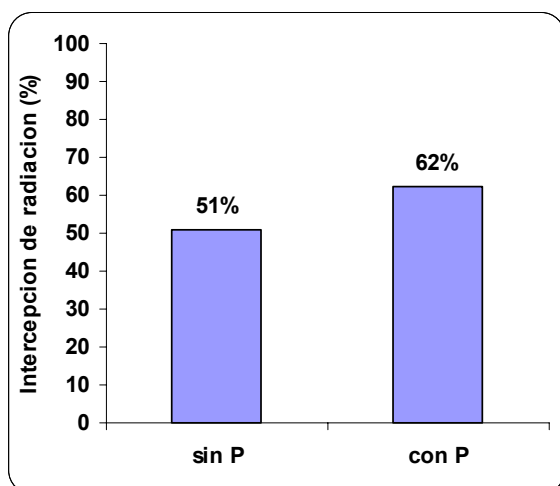


Figura 2.a

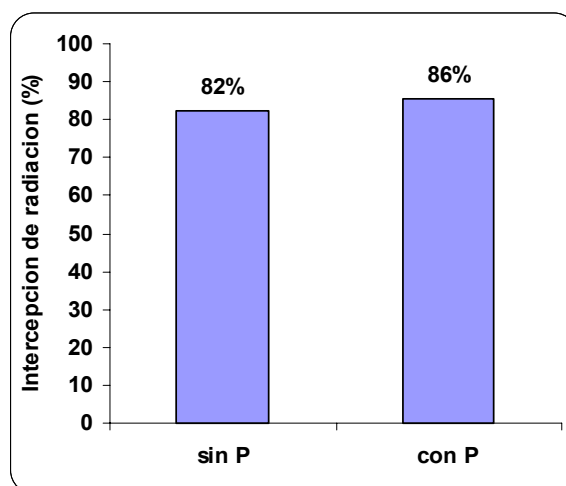


Figura 2.b

Figura 2: Radiación interceptada como porcentaje de la radiación máxima incidente para los estadíos R2 (2.a) y R5 (2.b). Valores promedios de tres repeticiones, y en el caso de los tratamientos con P, es promedio de los cuatro tratamientos fertilizados.

Analizando la respuesta en rendimiento a P (tratamientos T0 a T4), se determinaron diferencias estadísticamente significativas ($P=0,08$) entre los tratamientos considerados. Se ajustó una función que relacionó los rendimientos con la dosis de P. Los rendimientos se incrementaron de manera lineal en todo el rango de dosis aplicado (Figura 3). Las funciones cuadrática ($R^2=0,65$) o lineal-plateau ($R^2=0,57$) no mejoraron el ajuste.

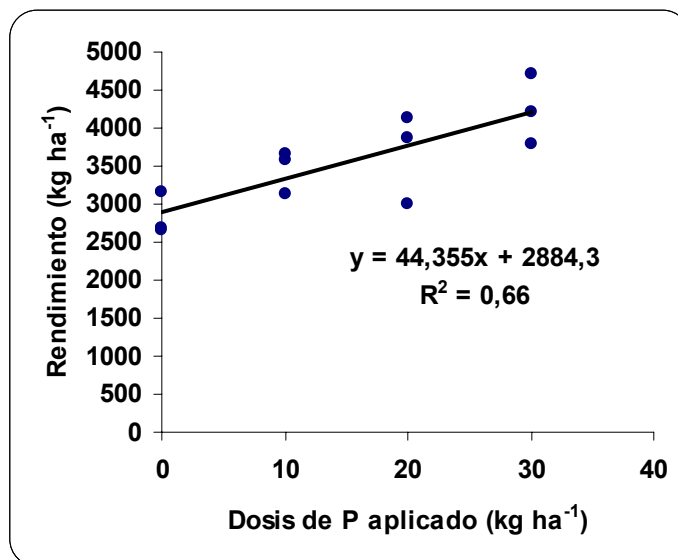


Figura 3: Relación entre el rendimiento y la dosis de P. Corresponde a aplicaciones en forma localizada a la siembra. Wheelwright 2003/04.

No se determinaron diferencias significativas entre la aplicación de 30 kg ha⁻¹ de P en línea y anticipado al voleo, comparados por medio de contrastes ($P=0,107$). La aplicación de P al voleo tuvo un rendimiento superior en 676 kg ha⁻¹ respecto del testigo (Figura 4.a), lo cual demostraría que la fertilización en altas dosis al voleo es capaz también de producir un efecto de corto plazo, tal como menciona Bianchini (2003). Sin embargo, la eficiencia agronómica (kg grano : kg nutriente⁻¹) es menor que en aplicaciones localizadas a la siembra. En este ensayo, fue necesario agregar una dosis tres veces superior de P al voleo (30 kg ha⁻¹) para equiparar los rendimientos de la aplicación localizada de 10 kg ha⁻¹, y para igual dosis, la

eficiencia agronómica se redujo a la mitad (Figura 4.b). Baumer et al., (2000) observaron relaciones similares trabajando con trigo en Pergamino, en un suelo Argiudol típico como el del presente ensayo.

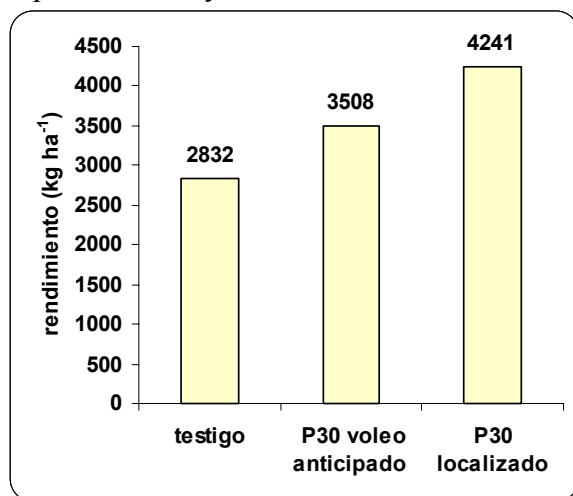


Figura 4.a

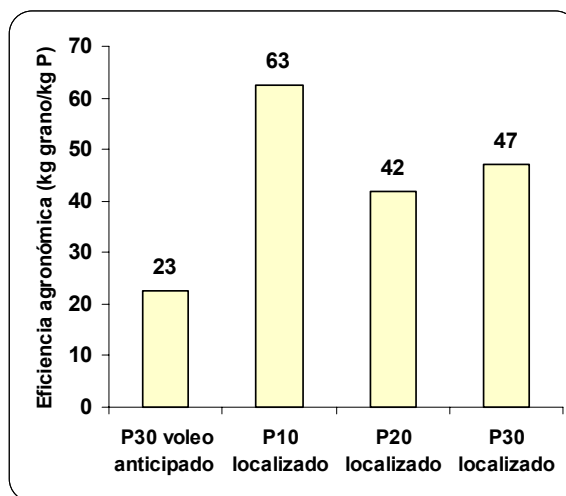


Figura 4.b

Figura 4: Rendimiento de grano (4.a) y eficiencia agronómica (4.b) de aplicaciones de P localizadas y al voleo. Valores promedio de tres repeticiones.

El efecto del P sobre los rendimientos se produjo debido a un incremento en el número de granos (27 % superior en promedio de los tratamientos fertilizados), y no sobre el peso de los mismos, que solo aumentó un 3 % respecto del testigo (Figura 5).

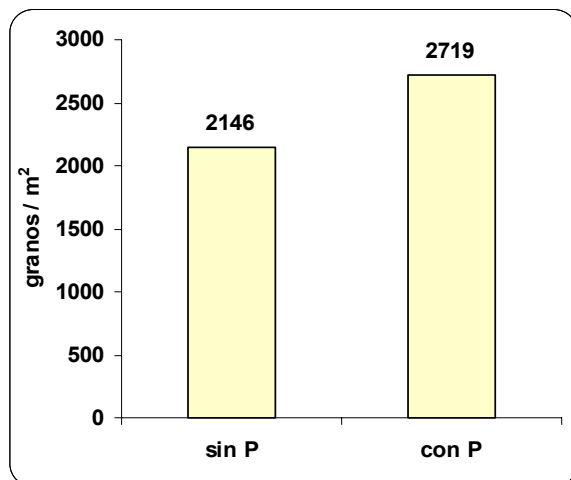


Figura 5.a

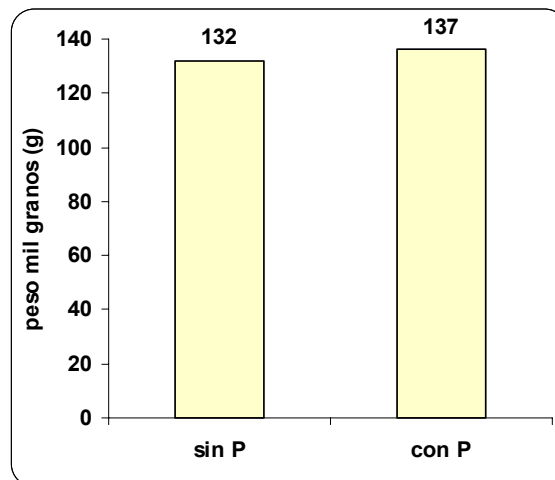


Figura 5.b

Figura 5: Número (5.a) y peso (5.b) de granos en tratamientos testigo y fertilizados con P. Valores promedios de tres repeticiones, y en el caso de los tratamientos con P, representa el promedio de los cuatro tratamientos fertilizados.

Relación entre la respuesta a P y su disponibilidad en el suelo.

El INTA y la Facultad de Agronomía de Buenos Aires condujeron una serie de ensayos desde la campaña 2000/01 que permitieron establecer una relación entre la disponibilidad de P en el suelo y la respuesta a la fertilización para el norte de la provincia de Buenos Aires y el departamento General López en Santa Fe (Echeverría et al., 2002). Este umbral se ajusta todos los años con nuevos ensayos (Ferraris y Elisei, 2003). Incluyendo el ensayo presentado en este trabajo, se puede analizar el resultado conjunto de 20 sitios. Se

observa que la respuesta media a la fertilización se incrementa en la medida que la disponibilidad de P a la siembra es menor (Figura 6).

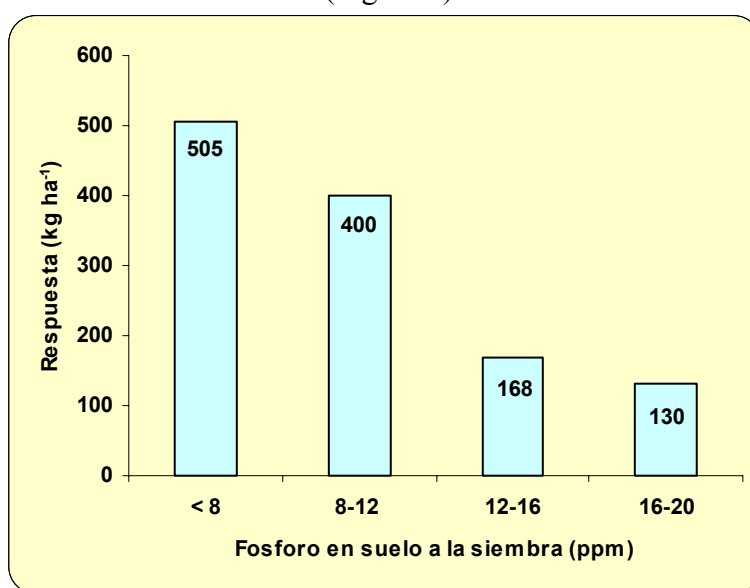


Figura 6: Respuesta media a la fertilización con 100 kg ha^{-1} de superfosfato triple de calcio (0-20-0) en función de la disponibilidad de P en el suelo a la siembra. 20 sitios del N de Buenos Aires y 3 sitios del departamento General López (Santa Fe).

Asimismo, se estableció una función de tipo lineal-plateau entre la respuesta a la fertilización y la disponibilidad de P a la siembra (Figura 7). De acuerdo con la función ajustada, es esperable una respuesta superior a 200, 300 y 400 kg ha^{-1} cuando la disponibilidad de P es inferior a 12, 10 y 8 ppm, respectivamente. El valor de R^2 relativamente bajo se explica en la variedad de ambientes en que fueron desarrollados estos ensayos, que incluyeron cuatro campañas y una diversidad de condiciones productivas, hídricas y de suelo. Otras ecuaciones evaluadas demostraron un menor ajuste.

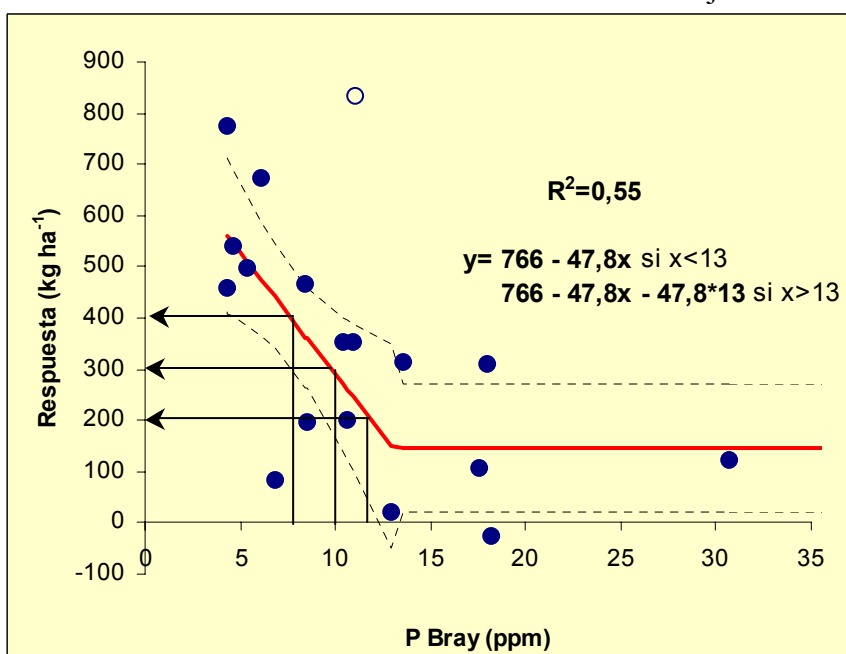


Figura 7: Relación entre la respuesta a la fertilización con 100 kg ha^{-1} de superfosfato triple de calcio (0-20-0) y la disponibilidad de P en el suelo a la siembra. Veinte sitios del N de Buenos Aires y tres del departamento General López (Santa Fe). El círculo vacío representa

el ensayo realizado durante la campaña 2003/04, el cual fue incluido para ajustar la ecuación presentada. Dos sitios con disponibilidad mayor a 35 ppm fueron incluidos en el ajuste pero no se muestran en la figura por razones de escala. Las líneas punteadas representan los intervalos de confianza del 95%.

Respuesta al agregado de S

En la Figura 8 se presentan los rendimientos de los diferentes tratamientos de fertilización azufrada, y la eficiencia agronómica de uso del nutriente.

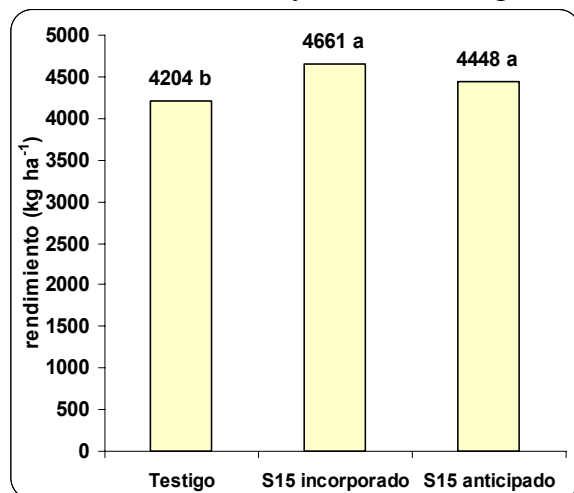


Figura 8.a

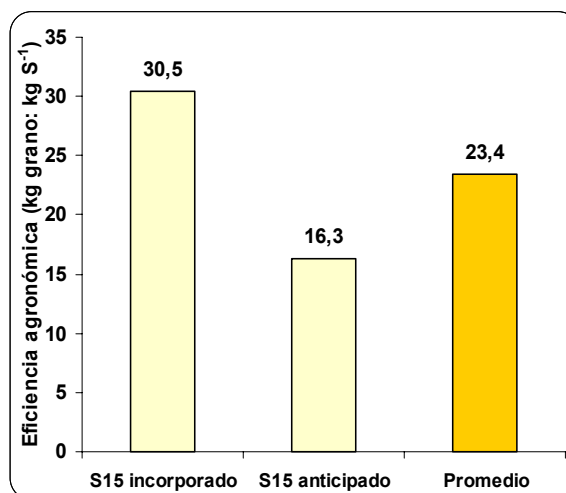


Figura 8.b

Figura 8: Rendimiento de grano (8.a) y eficiencia agronómica (8.b) de diferentes formas de aplicación de sulfato de calcio. Valores promedio de tres repeticiones.

Se determinaron diferencias significativas en los rendimientos por efecto del S ($P=0,015$, C.V.=2,4 %), sin diferencias entre la aplicación anticipada en superficie o incorporada a la siembra. Este comportamiento se explica en la movilidad del S en el suelo, y la ocurrencia de una lluvia pocos días después de la aplicación en superficie que permitió su rápida incorporación. La respuesta media fue de 351 kg ha⁻¹ promedio de todos los tratamientos fertilizados, lo cual significó una eficiencia agronómica media de 23,4 kg de grano por kg de S (Figura 8.b).

Las variaciones entre tratamientos se debieron a cambios en el número de granos y no en el peso de los mismos (Figura 9). En promedio, la fertilización con S incrementó 10 % el número y redujo 1,5 % el peso de los granos.

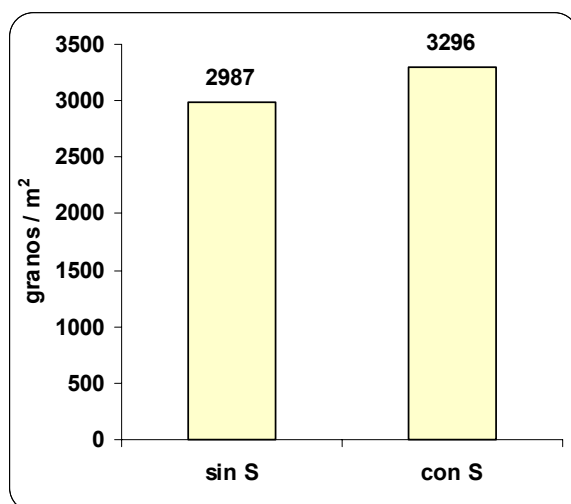


Figura 9.a

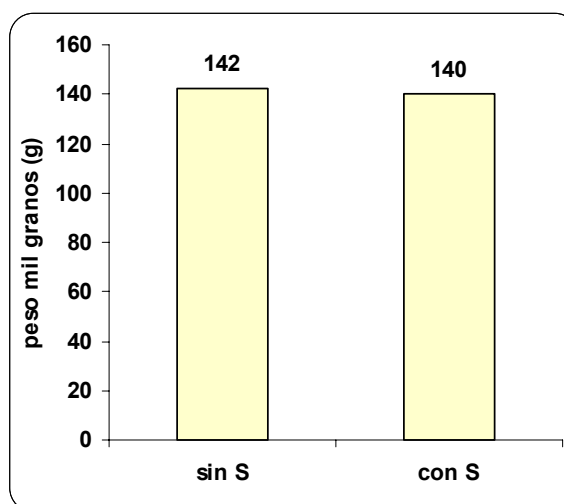


Figura 9.b

Figura 9: Número (9.a) y peso (9.b) de granos en tratamientos testigo y fertilizados con S. Valores promedios de tres repeticiones, y en el caso de los tratamientos con S representa el promedio de los tres tratamientos fertilizados.

Análisis económico:

Se realizó una evaluación económica de las diferentes dosis de P incorporadas, y de la fertilización con S promedio de todas las formas de aplicación. Los resultados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Evaluación económica de la aplicación de dosis crecientes de P incorporado, y de S promedio de tres formas y fuentes de aplicación.

Tratamiento evaluado	P10	P20	P30	S15
Incremento rendimiento (kg ha ⁻¹)	627	834	1409	351
Ingreso bruto fertilización (U\$S ha ⁻¹)	94,0	125,1	211,0	52,6
Costo fertilizante (U\$S ha ⁻¹)	15,0	30,0	45,0	10,0
Costo marginal cosecha y comercialización (U\$S ha ⁻¹)	7,5	10,0	16,9	4,2
Costo total fertilización (U\$S ha ⁻¹)	22,5	40,0	61,9	14,2
Rentabilidad de la fertilización (U\$S ha ⁻¹)	71,5	85,1	149,1	38,4
Retorno a la inversión (U\$S / U\$S invertido)	4,2	3,1	2,4	3,7

La aplicación de P y S resultaron muy rentables. Fue beneficioso incrementar la dosis de P hasta la máxima evaluada en este ensayo, a pesar de la reducción en la eficiencia agronómica del nutriente (Figura 4.b). La aplicación de S, no obstante ofrecer una rentabilidad de menor magnitud respecto del P, tuvo un retorno a la inversión muy elevado, por el costo relativamente bajo de este nutriente.

Conclusiones:

- Aún en un año signado por la escasez de precipitaciones, en el ensayo se observaron buenos rendimientos y respuesta a la fertilización.
- El P agregado como fertilizante incrementó la intercepción de radiación, el número de granos y los rendimientos en forma significativa, de manera lineal en todo el rango de dosis evaluado.

- La fertilización con P al voleo anticipado incrementó los rendimientos en el mismo año de su aplicación, a pesar de la escasez de precipitaciones registradas durante la primavera, en el período entre aplicación y siembra. Sin embargo, la eficiencia agronómica de uso del nutriente fue menor que en aplicaciones localizadas a la siembra.
- El agregado de S mostró una tendencia no significativa a incrementar los rendimientos, que en promedio alcanzó a 376 kg ha⁻¹. Esta se debería a una mayor eficiencia de conversión de la radiación en materia seca, y no a un incremento en el nivel de intercepción, lo que posibilitó la fijación de un mayor número de granos. No se determinaron diferencias entre momentos de aplicación, pero sí entre las fuentes utilizadas.

Bibliografía:

- 📖 Baumer, C; N. González, C. Devito, L. Giuffré, S. Ratto y C. Pascale. 2000. Distribución del Fósforo extractable y respuesta del trigo en siembra directa a la fertilización localizada al voleo. Revista de Tecnología Agropecuaria, EEA INTA Pergamino, V (13): 9-11.
- 📖 Bianchini, A. 2003. Localización de fósforo en siembra directa. En: II Simposio de Fertilidad y Fertilización en Siembra Directa. XI Congreso Nacional de AAPRESID. Tomo 2. pp 309-314.
- 📖 Echeverría, H., G. Ferraris, G. Gerster, F. Gutiérrez Boem y F. Salvagiotti (Ex aequo). 2002. Fertilización en Soja y Trigo-Soja: Respuesta a la fertilización en la región pampeana. Boletín técnico: Resultados de la red de ensayos del Proyecto Fertilizar-INTA. Campaña 2000/01 y 2001/02. INTA EEA Pergamino, 43 p.
- 📖 Ferraris, G. 2004. Pautas para el diagnóstico de la fertilidad azufrada en soja. Tesis MSc. EPG-FAUBA. 176p.
- 📖 Ferraris, G. y J. Elizei. 2003. Fertilización en soja. Experiencias en Colón y Pergamino. Soja 2000/2003. Resultados en Unidades Demostrativas. Informe de Extensión, Proyecto Regional Agrícola. pp 96-104.
- 📖 Ferraris, G., M. Ferrari y J. Ostojic. 2001. Experiencias de fertilización azufrada en soja y trigo/soja en Pergamino. Revista de Tecnología Agropecuaria, EEA INTA Pergamino, VI(18):16-19.
- 📖 Ferraris, G., F. Salvagiotti, P. Prystupa y F. Gutiérrez Boem. 2004. Disponibilidad de Azufre y respuesta de la Soja de primera a la fertilización. En: Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y II Simposio Nacional sobre suelos Vertisólicos. CD-ROM. AACCS, Paraná, Junio de 2004. 10 p.
- 📖 Gutiérrez Boem, F. and G. Thomas. 2001. Leaf area development in soybean is affected by phosphorus nutrition and water deficit. Journal of plant nutrition 24:1711-1729.
- 📖 Gutiérrez Boem, F., P. Prystupa y G. Ferraris. 2004 a. Fuentes de S en el cultivo de Soja, pp 54-55. En: "Fertilidad 2004". Fertilidad de suelos para una agricultura sustentable, INPOFOS, Rosario.