

La fertilización de soja y trigo/soja en la región pampeana:

Red del Proyecto Fertilizar INTA

Martín Díaz Zorita

EEA INTA Gral. Villegas (Buenos Aires)

mdzorita@servicoopsa.com.ar

Participantes del proyecto y responsables de los sitios experimentales campaña 2001-02:

Norma Arias (INTA Concepción del Uruguay), Mirian Barraco (INTA Villegas), Alfredo Bono (INTA Anguil), Daniel Canova (Actividad Privada), Héctor Carta (INTA 9 de Julio), Julio Castellarin (INTA Oliveros), Juan José de Battista (INTA Concepción del Uruguay), Martín Díaz-Zorita (INTA Villegas), Gustavo Duarte (AACREA-AAPRESID), Hernán Echeverría (INTA Balcarce), Manuel Ferrari (INTA Pergamino), Gustavo Ferraris (INTA Pergamino), Hugo Fontanetto (INTA Rafaela), Carlos Galarza (INTA Marcos Juárez), Guillermo Gerster (INTA Cañada de Gómez), Néstor González (INTA Pergamino), Vicente Gudelj (INTA Marcos Juárez), Flavio Gutierrez Boem (FA-UBA), Edgar Lovera (INTA Manfredi), Alberto Quiroga (INTA Anguil), Ricardo Melchiori (INTA Paraná), Estanislao Mieres (INTA Pergamino), Fernando Mousegne (INTA S.A. de Areco), Oscar Novello (Geolab-Laboratorio de suelos), Juan Ostojic (INTA Pergamino), Germán Pagani (INTA Pergamino), Osvaldo Paparotti (INTA Paraná), Hugo Pedrol (INTA Oliveros), Pedro Salas (INTA Manfredi), Héctor Sánchez (INTA Faimillá), Fernando Salvagiotti (INTA Oliveros), Sergio Rillo (INTA 9 de Julio), Pedro Vallone (INTA Marcos Juárez), Luis Ventimiglia (INTA 9 de Julio), Hugo Vivas (INTA Rafaela), Ricardo Melgar (Proyecto Fertilizar-INTA Pergamino), Fernando García (INPOFOS Cono Sur).

La soja es el cultivo de leguminosas de grano más importante en el mundo en términos de su uso para alimentación humana y animal siendo Argentina junto con Brasil, China y los Estados Unidos los países que concentran más del 95% de su producción mundial. En Argentina, si bien los rendimientos medios de grano no se han incrementado marcadamente durante la última década (aprox. 2200 kg/ha), el área cultivada se ha expandido notablemente hacia nuevas regiones de producción y ha aumentado su frecuencia en las rotaciones que en algunas áreas llega a constituirse en un monocultivo. En condiciones mejoradas de manejo del cultivo se observan rendimientos que llegan a duplicar los promedios regionales encontrándose a la nutrición balanceada del cultivo como uno de los elementos de manejo que contribuye efectivamente para el mejoramiento de la producción de soja.

Los suelos (y ambientes) aptos para la normal producción de soja son variados, como lo son los resultados de experiencias de fertilización. No obstante, cultivos de alta producción requieren suelos bien drenados, con pH entre 6,0 y 6,5, sin altos contenidos salinos y adecuada provisión de agua y nutrientes entre inicio de floración y durante el llenado de los granos. Cultivos de soja de máxima producción, según la oferta ambiental, se logran a partir de cultivos que logran interceptar toda la radiación incidente y maximizar la tasa de acumulación de materia seca durante el período post-floración al llenar los granos.

En la Tabla 1 se resumen los requerimientos totales de nutrientes y su partición para la producción de una tonelada de grano de soja o de trigo. Para la estimación de los requerimientos nutricionales totales de los cultivos tenemos que considerar que estos varían según condiciones climáticas, edáficas y de manejo al afectarse los niveles de rendimiento de las plantas. En términos medios, para la producción de cultivos de soja de 4000 kg/ha de rendimiento se requieren aproximadamente 320 kg/ha de N, 32 kg/ha de P, 132 kg/ha de K, y 28 kg/ha de S, además de la provisión adecuada de agua y otros elementos esenciales para el normal crecimiento de las plantas. En la Tabla 2 se presenta un ejemplo de los requerimientos de nutrientes para el doble cultivo de trigo/soja.

Tabla 1. Requerimientos totales y partición de nutrientes en soja y trigo.

Nutriente	SOJA			TRIGO		
	Requerimiento	Grano	Rastrojo	Requerimiento	Grano	Rastrojo
	----- kg/tn de grano -----					
Nitrógeno	80	60,0	20,0	30	20	10
Fósforo	8	6,7	1,3	5	4	1
Potasio	33	19,5	13,5	19	3	16
Calcio	16	3,0	13,0	3	0	3
Magnesio	9	2,7	6,3	3	1	2
Azufre	7	4,7	2,3	5	2	2
Boro	0,025	0,008	0,017	0,03		0,025
Cloro	0,237	0,111	0,126			
Cobre	0,025	0,013	0,012	0,01	0,01	0,003
Hierro	0,300	0,075	0,225	0,14		0,137
Manganeso	0,150	0,050	0,100	0,07	0,03	0,045
Molibdeno	0,005	0,004	0,001			
Zinc	0,060	0,042	0,018	0,05	0,02	0,029

Tabla 2. Requerimientos nutricionales para 3500 kg/ha de trigo y 2500 kg/ha de soja de segunda. La necesidad indica la cantidad total de nutriente absorbido y la extracción corresponde a la cantidad exportada en el grano.

Nutriente	Trigo de 3500 kg/ha		Soja de 2500 kg/ha		Trigo + Soja	
	Necesidad	Extracción	Necesidad	Extracción	Necesidad	Extracción
----- kg -----						
N	105	69	200 [†]	150	305	219
P	18	13	20	17	38	30
K	67	11	83	49	149	60
Ca	11	1	40	8	51	9
Mg	11	5	23	7	33	12
S	16	8	18	12	33	20
B	0.088		0.063	0.019	0.150	0.019
Cl			0.593	0.278	0.593	0.278
Cu	0.035	0.026	0.063	0.033	0.098	0.059
Fe	0.480		0.750	0.188	1.230	0.188
Mn	0.245	0.088	0.375	0.124	0.620	0.212
Mo			0.013	0.011	0.013	0.011
Zn	0.182	0.080	0.150	0.105	0.332	0.185

[†] Las necesidades de N de soja son cubiertas en gran parte por la fijación biológica de N.

En el marco del proyecto Fertilizar del INTA se plantearon en las campañas 2000-01 y 2001-02 redes de estudios de fertilización de cultivos de soja de primera y de fertilización del doble cultivo trigo soja. En los primeros (**fertilización de soja de primera**), los objetivos fueron: (a) evaluar los rendimientos de soja en diferentes áreas agroecológicas, (b) determinar su respuesta a la fertilización con P, con S, combinada PS y con otros elementos de aplicación no tradicional (ej. B, Cu, Mg, Zn, etc.) y (c) ajustar metodologías de diagnóstico de necesidades de fertilización.

En los estudios de **fertilización del doble cultivo** se plantearon los siguientes objetivos: (a) evaluar la respuesta de trigo y soja de segunda a la fertilización con P, S y combinada PS y con otros elementos de aplicación no tradicional (ej. B, Cu, Mg, Zn, etc.) según estrategias de aplicación según requerimientos individuales de los cultivos o completa del doble cultivo trigo/soja y (b) calibrar el análisis de suelos en la capa superficial en pre-siembra como método de diagnóstico de necesidades de fertilización. Es propósito de esta presentación resumir algunos de los resultados obtenidos en ambas redes de estudios.

Fertilización soja de primera

Metodología

En la campaña 2000-01 se desarrolló el estudio de en una red de ensayos constituida por un total de 28 sitios experimentales y en la campaña siguiente se encuentran en evaluación otros 23 (18 en áreas con características agroecológicas similares a los de la campaña 2000-01 y 5 ubicados en la región del NOA) (Tabla 3). En la Tabla 4 se resumen algunas de las propiedades de los suelos estudiados.

Tabla 3. Listado de ubicación de los sitios experimentales de la red de fertilización de soja de primera del proyecto Fertilizar del INTA

Provincia	Campaña	
	2000-01 ^(a)	2001-02 ^(b)
Buenos Aires	Colón, Pergamino, S.A.de Areco, Rojas, Junin, 9 de Julio, Tandil, Rivadavia, Trenque Lauquen	Tandil, 9 de Julio, Cnel.Granada, Junín, Colón, S.A. de Areco
La Pampa	Maracó, Capital, Catrilo	Anguil
Córdoba	Río Cuarto, Marcos Juarez	Río III, Río Cuarto, Lozada, Marcos Juarez,
Santa Fe	San Jerónimo, Las Colonias, Iriondo, General López, Belgrano	Bdo.Irigoyen, Máximo Paz, Las Parejas
Entre Rios	Paraná	Paraná, C.del Uruguay
Tucumán	---	La Virginia, Tala Pozo, El Diamante, Viclos
Salta	---	Las Lajitas, J.V.Gonzalez

(a) Partidos o departamentos – (b) localidades

Tabla 4. Resumen de contenidos de materia orgánica (MO), P extractable (P Bray) y azufre (S-SO₄) en la capa de 0 a 20 cm de los sitios estudiados.

		MO (%)	P Bray (ppm)	S-SO ₄ (ppm)
Campaña 2000-01	Promedio	3,2	23,2	11,2
	Máximo	7,0	103,0	18,1
	Mínimo	1,6	2,0	6,4
Campaña 2001-02	Promedio	2,7	14,5	10,1
	Máximo	5,7	42,4	19,9
	Mínimo	1,0	2,9	7,6

Los ensayos se implantaron en sitios con suelos representativos de las distintas áreas de trabajo de la región pampeana y presentaron diferencias marcadas en su clasificación y sistemas de labranza, siguiéndose en la mayoría de los casos el manejo del cultivo adoptado por el productor.

En cada sitio los tratamientos se dispusieron en un diseño en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones, con un tamaño de parcelas de al menos una maquinada de ancho por 20 m de largo. Se definieron cinco tratamientos:

- (1) **Testigo** o control sin aplicación de fertilizantes,
- (2) **Fósforo (P)** con el agregado de 20 kg/ha de P como superfosfato triple,
- (3) **Azufre (S)** con 15 kg/ha de S como sulfato de amonio,
- (4) **Fósforo más azufre (PS)** combinando los tratamientos (2) y (3), y
- (5) **Completo**, además de PS se agregaron 14 kg/ha de K, 12 kg/ha de Mg, 1 kg/ha de Cu, 2 kg/ha de Zn y de B.

Los fertilizantes fueron aplicados a la siembra en banda al costado de la semilla. En todos los tratamientos se inoculó la semilla (doble dosis de Nitragin Cell Tech) y se agregaron 20 g de Comosol 2000/100 kg de semilla (10% de molibdeno y 0,5 % de cobalto) o se aplicó en forma foliar al estadio de V4. En la campaña 2001-02, y en sólo algunos sitios experimentales, se incluyó un tratamiento de fertilización con media dosis de P y dosis completa de S (10 kg/ha de P + 15 kg/ha de S) para evaluar individualmente la respuesta al agregado de dosis crecientes de P.

Además de la caracterización fisicoquímica de los suelos, en la campaña 2000-01 se seleccionaron 12 sitios (San Jerónimo, Las Colonias, Belgrano, Paraná 1, Marcos Juárez 1, General López, Colón, Junín 1 y 2, 9 de Julio 2, Tandil 1 y 2) para la evaluación de su capacidad de mineralización de S como posible indicador de la respuesta de soja a la fertilización con este elemento. La metodología de incubación comprende, en resumen, la determinación inicial de S-SO₄ por triplicado (extracción con KH₂PO₄) sobre muestras secas, rehumedecimiento a 80% de capacidad de campo, incubación durante 15 días a 30 °C, secado, extracción por triplicado (KH₂PO₄) y determinación de la concentración final de S-SO₄. Los sulfatos mineralizados se calculan por diferencia entre los niveles finales e iniciales.

Resultados

Campaña 2000-01

La producción media de grano de soja fue de 3455 kg/ha lográndose los mayores rendimientos en la zona sur de Santa Fe y norte y noroeste de Buenos Aires y la menor producción hacia el sudeste de Buenos Aires y Entre Ríos. La respuesta de los cultivos a los tratamientos de fertilización varió entre sitios experimentales. En casi el 30% de los casos estudiados se detectaron respuestas en los rendimientos por el agregado de P. Los

aumentos en producción al fertilizar con P fueron de hasta el 17% y se asociaron negativamente con el contenido de P. Partiendo de respuestas de 490 kg/ha con P Bray cercano a 2 ppm en el suelo por cada incremento de P-Bray la respuesta se redujo a razón de 27 kg/ha (Fig. 1). El nivel crítico de P por debajo del cual la respuesta a la fertilización es importante se encuentra en 13 ppm. En suelos con menos de 8 ppm, las respuestas serían superiores al 10%. Estos valores son consistentes con los reportados por otros investigadores en la misma área de estudio.

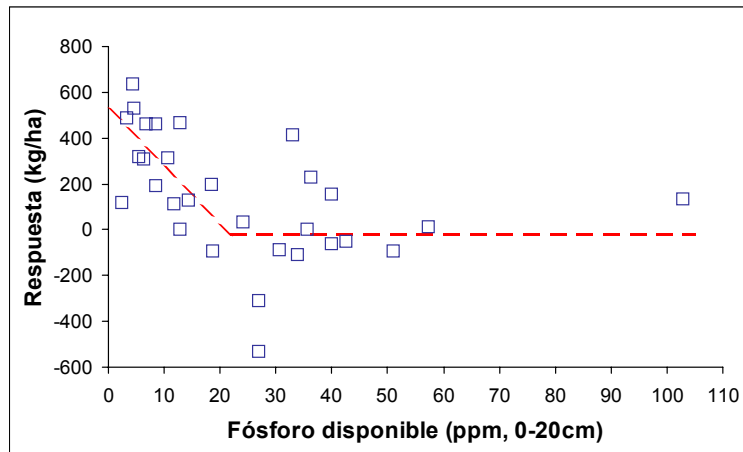


Fig.1. Respuesta de cultivos de soja al agregado de 20 kg/ha de P según niveles de P del suelo (Bray 1). 28 sitios experimentales de la campaña 2000-01.

En el caso de la respuesta a S, aproximadamente en el 20% de los sitios estudiados se observaron aumentos significativos en la producción de grano por su aplicación con niveles medios de aumento de 53,5 kg/ha. Para el diagnóstico de las necesidades de fertilización se observó que la respuesta era parcialmente explicada por la integración entre los contenidos de materia orgánica en relación con los niveles de arcilla de los suelos en la capa de 0 a 20 cm junto con los valores de sulfatos en 0 a 60 cm de profundidad. A partir de estudios de incubaciones y la determinación de los niveles mineralizables de sulfatos en 12 sitios seleccionados por su comportamiento a los tratamientos con S, diferencias texturales y amplitud geográfica se observó una adecuada relación entre este único índice y la respuesta de los cultivos al agregado de S (Fig. 2)

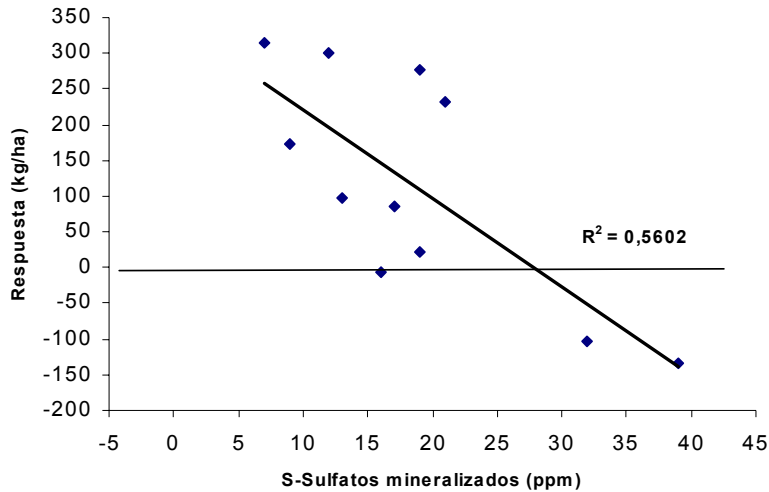


Fig. 2. Relación entre los niveles mineralizados de S-SO₄ (incubaciones de suelo en 11 sitios de la campaña 2000-01) con la respuesta media al agregado de S (Ing. Gustavo Ferraris, inédito)

En las condiciones del estudio, y a pesar de que los contenidos de algunos de estos elementos (B y Zn) fueron menores a los umbrales citados en la bibliografía, no se detectaron respuestas en rendimiento al agregado de K, Mg, Zn, Cu y B.

Campaña 2001-02

Hasta la fecha de realización de este escrito (fin de abril del 2002) sólo fueron cosechados 9 de los 23 sitios experimentales. Los rendimientos medios son similares a los de la campaña previa (3631 kg/ha) detectándose en 3 de ellos diferencias significativas por el agregado de fertilizantes con respecto al tratamiento control. Tal lo descrito para la campaña anterior, se observan aumentos por el agregado de P sólo o en combinación con S y otros elementos. En promedio, los tratamientos P, PS o completo rindieron un 10% más que el control, aproximadamente 350 kg/ha de aumento de producción por la fertilización (Fig. 3). En los sitios con respuesta estadística al agregado de P el aumento medio observado fue del 17% y equivalente a aproximadamente a 660 kg/ha de aumento de rendimiento sobre la producción del control sin fertilización. La información disponible no es suficiente para detectar diferencias entre el tratamiento control sin fertilización y el agregado de sólo S.

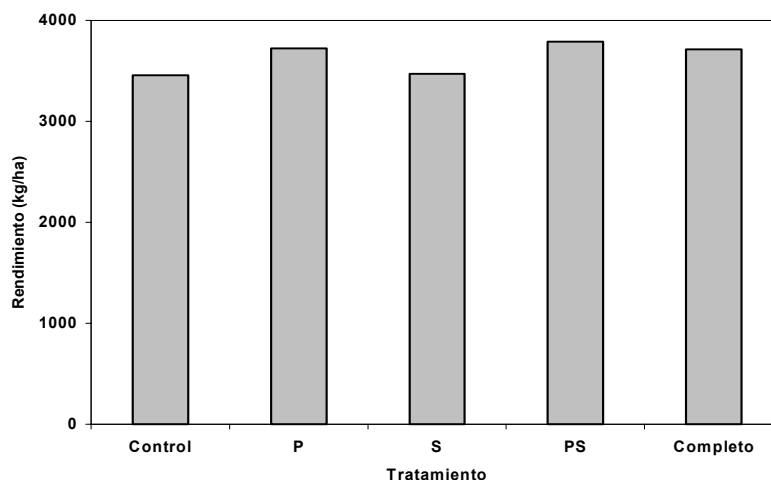


Fig. 3. Producción media de cultivos de soja según tratamientos de fertilización. Promedio de 9 sitios experimentales. Campaña 2001-02.

Fertilización del doble cultivo trigo/soja

Metodología

Este estudio se inició en la campaña 2001 seleccionándose 5 sitios experimentales ubicados en el área centro-sur de Córdoba (Leones y Marcos Juárez) y centro-sur de Santa Fé (Armstrong y Maciel) y Norte de Buenos Aires (Pergamino). En la Tabla 5 se resumen algunas de las propiedades de los suelos evaluadas en el momento de la siembra de los cultivos de trigo en cada sitio experimental.

Tabla 5. Propiedades edáficas en la capa 0-20 cm de los sitios experimentales.

Sitio	MO	pH	P-Bray	S-SO4
Armstrong	2.41	5.7	14.4	8.0
Leones	2.15	6.1	13.8	17.5
Maciel	2.10	5.5	15.0	10.0
Marcos Juarez	2.30	6.0	30.2	7.9
Pergamino	2.44	5.8	12.5	5.4

Los tratamientos evaluados (Tabla 6) fueron combinaciones de P y S aplicadas al trigo para cubrir las demandas de los dos cultivos, o la misma dosis aplicada al trigo y luego la soja, según las demandas de cada cultivo por separado. Las aplicaciones de N sólo se realizaron para los cultivos de trigo y según la estimación de sus requerimientos. En todos los tratamientos se inoculó la semilla (doble dosis de Nitragin Cell Tech). Para el

cálculo de las necesidades de nutrientes se estimaron los requerimientos de cultivos de trigo y de soja de 3500 y 2500 kg/ha de rendimiento, respectivamente.

Tabla 6. Tratamientos y momentos de aplicación de nutrientes evaluados en la red de fertilización del doble cultivo trigo/soja.

Tratamiento	Aplicación en la siembra de					
	Trigo				Soja	
	N	P	S	Otros ¹	P	S
1 Testigo	0	0	0	0	0	0
2 N para trigo	60	0	0	0	0	0
3 NP para trigo/soja	60	30	0	0	0	0
4 NP para trigo + P para soja	60	13	0	0	17	0
5 PS para trigo/soja	0	30	20	0	0	0
6 PS para trigo + PS para soja	0	13	8	0	17	12
7 NS para trigo /soja	60	0	20	0	0	0
8 NS para trigo + S para soja	60	0	8	0	0	12
9 NPS para trigo/soja	60	30	20	0	0	0
10 NPS para trigo + PS para soja	60	13	8	0	17	12
11 Completo para trigo/soja	60	30	20	Mg(10) K(20) B(1) Zn(2) Cu(2)	0	0

¹ Entre paréntesis se indica la cantidad aplicada de cada nutriente.

En cada sitio los tratamientos se dispusieron en bloques completos aleatorizados con 4 repeticiones.

Resultados

La producción media de los cultivos de trigo fue de 2094 kg/ha con niveles máximos de 2930 kg/ha y mínimos de 1178 kg/ha, rendimientos altamente afectados por la ocurrencia de enfermedades. En el ensayo de Pergamino, las estimaciones de pérdida de rendimientos por fusariosis fueron de aproximadamente 40% (Ing. N. González, com.pers.), mientras que en el sitio experimental de Armstrong la incidencia de esta enfermedad varió entre 27 y 56% (Ing. G.Gerster, com.pers.). A pesar de este factor negativo sobre la producción de los cultivos, la aplicación de los tratamientos de fertilización mostró efectos positivos sobre los rendimientos lográndose aumentos básicamente por el agregado de N sólo o en combinación con aplicaciones de P y de S (Fig. 4).

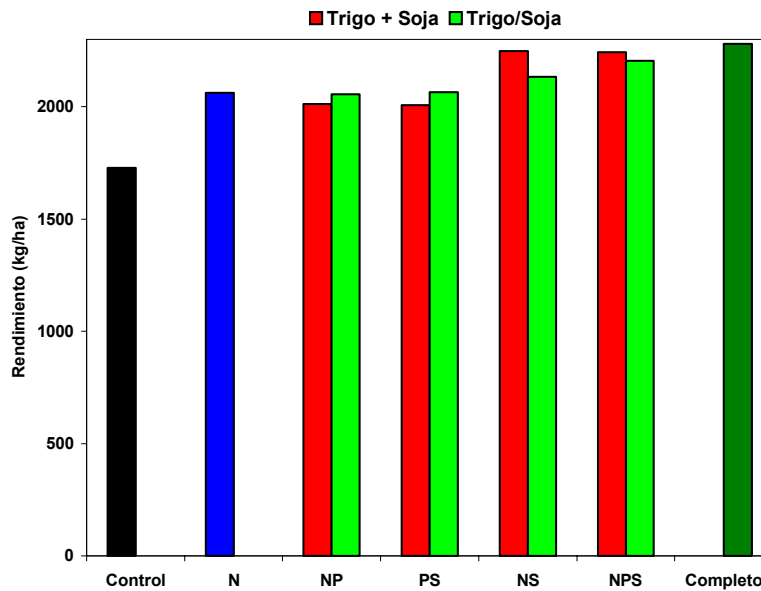


Fig. 4. Producción media de grano de trigo según tratamientos de fertilización. Promedio de 5 sitios experimentales. Campaña 2001-02.

En promedio para los 5 sitios experimentales y demás tratamientos de fertilización, la fertilización nitrogenada (60 kg/ha de N en la siembra del trigo) aumentó un 10% los rendimientos sobre la producción de los tratamientos sin fertilización. Al aumentar las dosis de P aplicadas en la siembra de los cultivos de trigo se observaron aumentos crecientes en los rendimientos de este cultivo (Fig. 5). En el caso de la fertilización con S, el agregado en dosis superiores a los 8 kg/ha no indujo a aumentos en la producción media de los cultivos (Fig. 5).

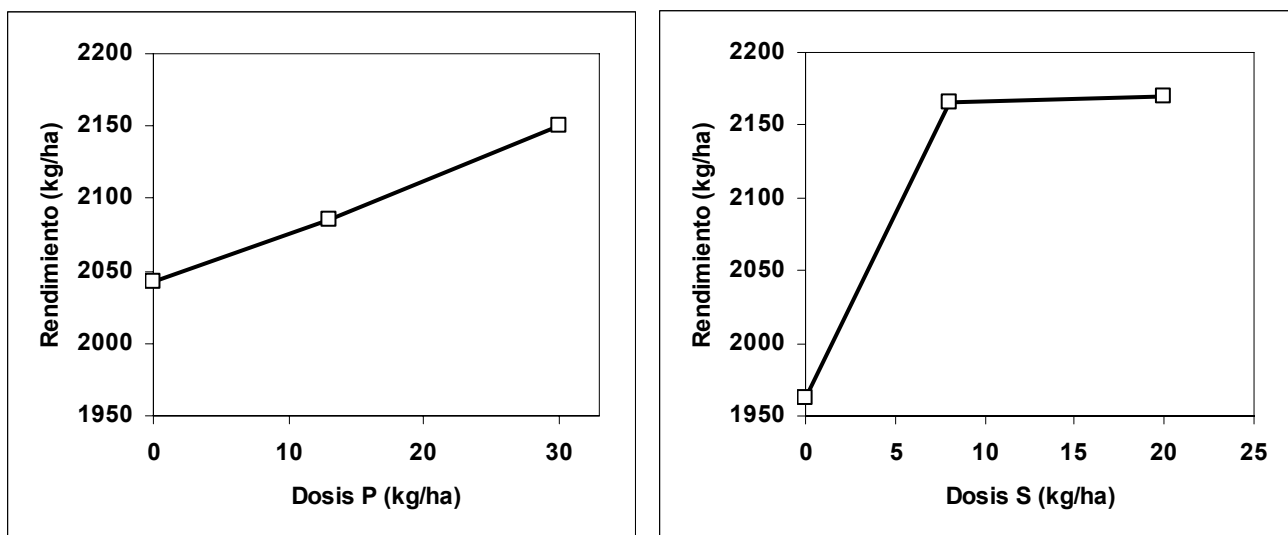


Fig.5. Efecto de la fertilización con P o con S sobre los rendimientos medios de cultivos de trigo fertilizados con 60 kg/ha de N. Promedio de 5 sitios experimentales. Campaña 2001-02

Aún resta evaluar el efecto residual de estas prácticas sobre la producción de los cultivos de soja de segunda. No obstante, observaciones visuales en los sitios experimentales sugieren efectos positivos de los tratamientos S y PS sobre el desarrollo vegetativo.

Comentarios finales

Fertilización de soja de primera:

- Aumentos de hasta casi el 20% al fertilizar con fuentes con P, esta mejora es de mayor magnitud con aplicaciones combinadas con S.
- La fertilización con S es de menor magnitud y menos frecuente que la fertilización con P.
- La evaluación del P extractable en la capa 0-20 cm de los suelos contribuye para la identificación de sitios con potencial respuesta al agregado de fertilizantes fosfatados.
- En el diagnóstico de respuestas a la fertilización con azufre es importante la cuantificación de la oferta de S por mineralización.

Fertilización del doble cultivo trigo/soja:

- A pesar de la alta incidencia de enfermedades, los cultivos de trigo mostraron aumentos en la producción por agregado de fertilizantes nitrogenados solos o en combinación con P y S.
- Los rendimientos de trigo aumentaron al incrementarse la dosis de fertilización con P, aún en niveles superiores a los requerimientos de los cultivos de trigo.

Agradecimientos

A las empresas participantes del proyecto Fertilizar del INTA, a los productores y al personal dónde se condujeron los ensayos.