



FERTILIZACIÓN

FOSFORO-AZUFRADA EN SOJA



ESTRATEGIAS BASADAS EN DOSIS, LOCALIZACIÓN Y MOMENTOS DE APLICACIÓN

El presente trabajo expone los resultados de dos años de un ensayo de larga duración, destinado a evaluar estrategias que difieren en cuanto a dosis, momento y forma de localización.

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 et al., 2011). 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 16 ppm (Ferraris et al., 2011). 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 de dos años 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. La eficiencia de uso de P y azufre (S) no se modifica 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 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.

INTA EEA PERGAMINO-FERTILIZAR ASOCIACIÓN CIVIL
Resultados de dos años de experimentación

Ings. Agrs. Gustavo N. Ferraris¹, Lucrecia A. Couretot¹ y Juan Urrutia²

1. UCT Agrícola - Área de Desarrollo Rural. INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4,5 B2700WAA Pergamino 2. Bunge Fertilizantes SA
nferraris@pergamino.inta.gov.ar

Materiales y métodos

El ensayo se conduce 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. En 2010, 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). En 2011, sobre esas mismas parcelas se sembró la variedad DM 4870 RR, el día 1 de noviembre de 2011.

El ensayo se conduce 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. Campañas 2010/11 y 2011/12.

Denominación	Criterio para P	Momento aplicación	Localización	Dosis S Siembra kg/ha
T1	Testigo			SC 100
T2	Reposición	anticipado Junio	voleo	SC 100
T3	Arrancador	siembra Diciembre	localizado	SC 100
T4	Reposición dividida	anticipado Junio siembra Diciembre	voleo localizado	SC 100
T5	Reposición	siembra Diciembre	localizado	SC 100
T6	Reposición sin S	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 al inicio del ensayo –Marzo 2010- 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 (1 m)	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).

“ El fósforo (P) es el nutriente al que se han observado respuestas de mayor magnitud en este cultivo”



“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”



Resultados y discusión

a) Condiciones ambientales

En las Figuras 1 y 2 se presentan las precipitaciones determinadas en el sitio experimental y la evapotranspiración del cultivo, así como el balance hídrico decádico. El ambiente climático fue contrastante entre campañas. En el primer año 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. En el segundo año en cambio, el ambiente fue más restrictivo, acumulando un déficit de 114 mm (Figura 2).

b) Resultados del ensayo

En la Tabla 3 se presentan algunas variables intermedias de cultivo. En 2010 y 2011 se observó un comportamiento similar. 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 en 2010 varió entre 8381 y 8875 kg ha⁻¹ (Tabla 4), y los rendimientos lo hicieron 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 una magnitud considerable siendo el máximo de 944 kg ha⁻¹ (23,3 %). 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

Fig. 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.

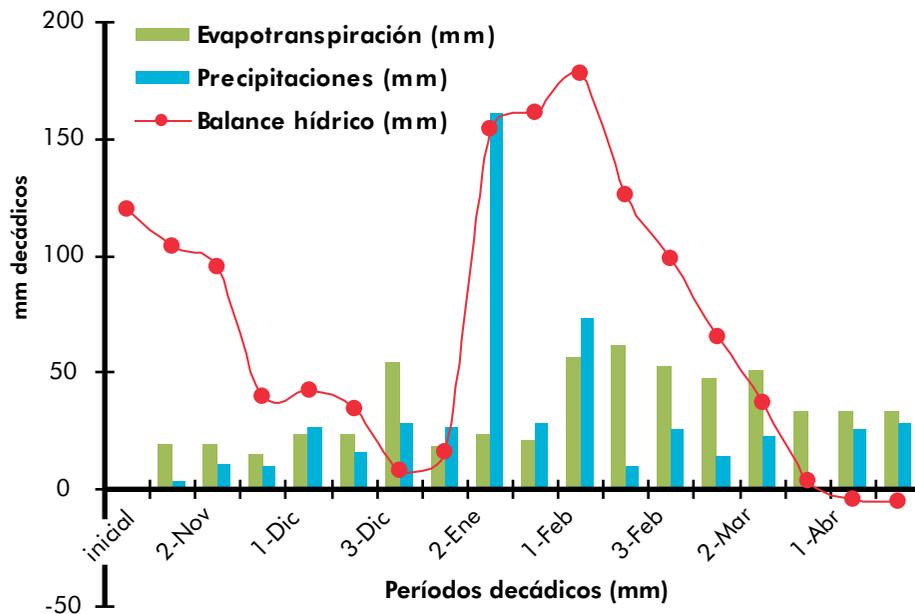


Fig. 2

Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádicos, considerando 2 m de profundidad. La Trinidad, General Arenales (Bs As), campaña 2010/11. Precipitaciones totales 534,5 mm. Déficit acumulado 114 mm.

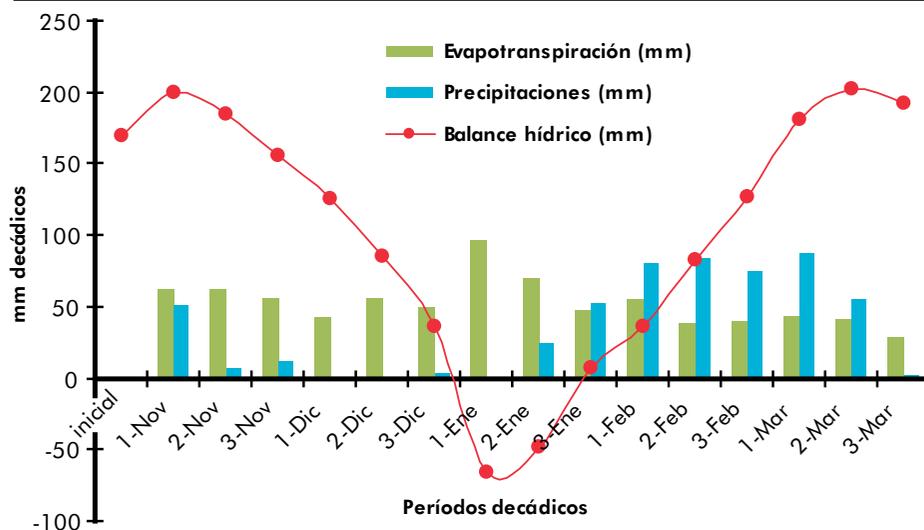


Tabla 3. Altura final de planta (cm), cobertura e intensidad de verde medida por Spad en R3. Dosis, momentos y localización de fertilizantes fosforados en Soja. La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires. Campaña 2010/11.

Tratamiento	Ciclo 2010/11			Ciclo 2011/12		
	AFP (cm)	Cobertura R3 (%)	Spad	AFP (cm)	Cobertura R3 (%)	Spad
T1	96	88	42,5	85	85,0	45,0
T2	104	>95	41,2	88	93,5	45,6
T3	98	>95	43,3	89	92,8	44,5
T4	106	>95	43,6	92	95,0	44,0
T5	105	>95	43,6	92	94,2	44,2
T6	102	>95	43,2	95	92,1	43,0

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 %		

Tabla 5. 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	7337,5	2974,8	0,41	1807,2	170,0		
T2	7892,5	3338,8	0,42	1969,0	163,7	364	12,2
T3	7117,5	3012,5	0,42	1780,5	165,0	38	1,3
T4	9217,5	3462,3	0,38	2107,5	164,0	487	16,4
T5	7720,0	3238,0	0,42	1872,3	165,3	263	8,8
T6	7052,5	3087,5	0,44	1917,9	164,0	113	3,8
Sign est. (P)	0,57 n.s.	0,06.		0,07	0,14 n.s.		
CV (%)	13,1 %	7,37 %		7,8 %	2,03 %		

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).

c) Residualidad de los nutrientes a cosecha

En las Figuras 4 y 5 se presentan los resultados y niveles de nutrientes determinados en suelo a cosecha. El P fue sensible al balance, manteniendo valores bajos en el testigo e incrementando su disponibilidad en los fertilizados, con relación al valor inicial y al de la campaña 2010/11. Luego de dos años, el valor mínimo corresponde al testigo y a la fertilización de suficiencia, aun cuando hayan estado sometidos a menor extracción por sus rendimientos más bajos en comparación con el resto. No obstante, la medida de P estaría afectada por el muestreo, más aún considerando que algunos tratamientos recibieron fertilización en línea, y otros en cobertura total (Tabla 2, figura 4).

“ 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

Fig. 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. Columnas azules: Campaña 2010/11. Columnas en verde: Campaña 2011/12. Para un mismo año, letras distintas sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos. Las barras verticales representan la desviación Standard de la media. La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires,

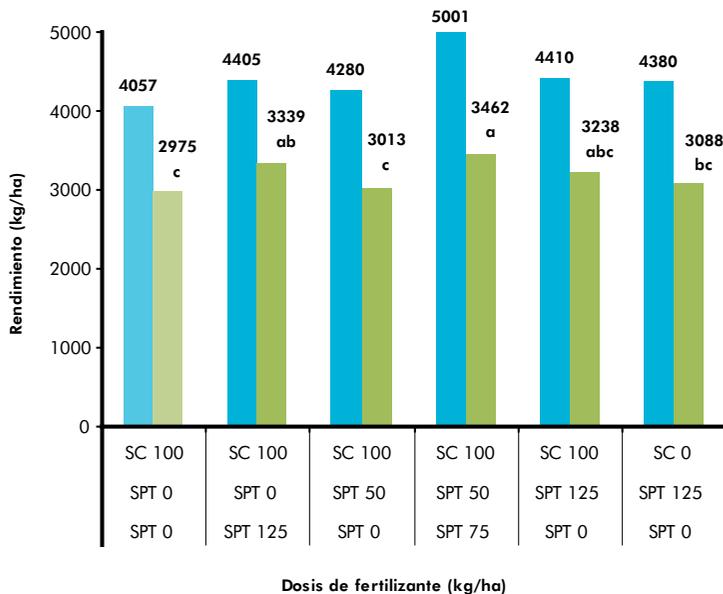


Fig. 5 Nivel final de S en suelo a cosecha (kg ha⁻¹) como resultado de dosis -S0 y S18- aplicadas en Soja. Línea inferior: dosis de SPT (0-20-0) anticipada en Junio. Línea media: dosis de SPT (0-20-0) aplicada a la siembra. Línea superior: Dosis de SC (0-0-0-S18) aportada a la siembra del cultivo. Columnas azules: Campaña 2010/11. Columnas en verde: Campaña 2011/12. Nótese el valor inferior de S-sulfatos en el tratamiento con SC 0, para ambas campañas. La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires.

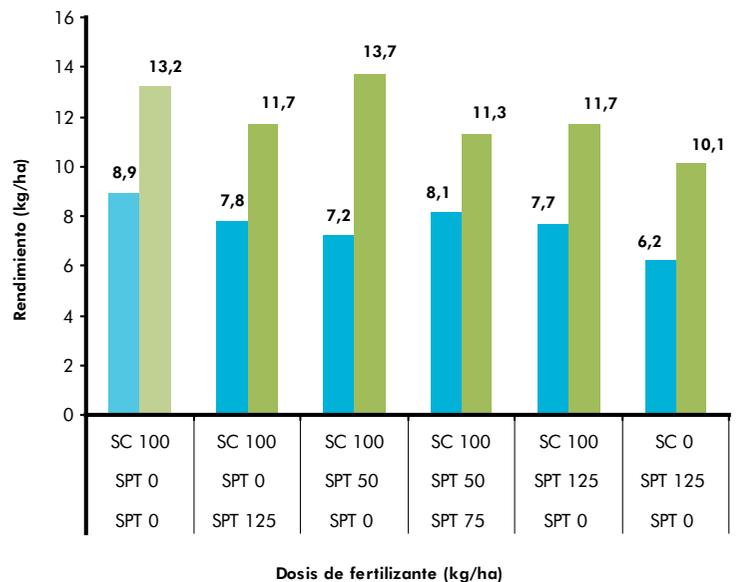
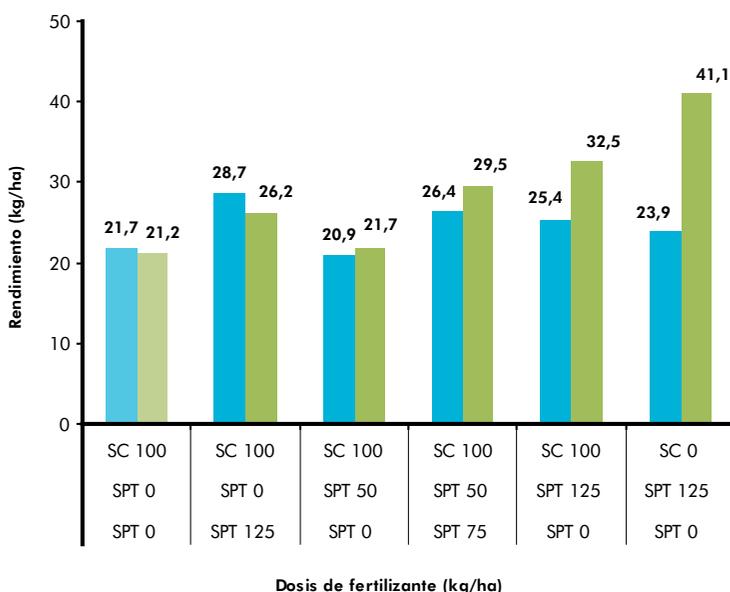


Fig. 4 Nivel final de P en suelo a cosecha (kg ha⁻¹) como resultado de estrategias consistentes en diferentes dosis, momentos y formas de localización en Soja. Línea inferior: dosis de SPT (0-20-0) anticipada en Junio. Línea media: dosis de SPT (0-20-0) aplicada a la siembra. Línea superior: Dosis de SC (0-0-0-S18) aportada a la siembra del cultivo. Columnas azules: Campaña 2010/11. Columnas en verde: Campaña 2011/12. La Trinidad, General Arenales, Buenos Aires.



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), tendencia repetida en los dos años que evidencia efectos residuales también en este elemento (Figura 5).

En la Tabla 5 se presentan los aportes, extracción y balance de nutrientes en grano para 2010/11. 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 5), siendo el balance dependiente del nivel de fertilización y la productividad del cultivo.

Tabla 6. Aporte, (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	Aporte P (kg/ha)	Aporte S (kg/ha)	Rend. (kg/ha)	P en grano (%)	S en grano (%)	Extracción P (kg/ha)	Extracción S (kg/ha)	Balance P (kg/ha)	Balance S (kg/ha)
T1	0	18	4057	0,405	0,20	16,4	8,1	-16,4	9,9
T2	25	18	4405	0,408	0,21	18,0	9,0	7,0	9,0
T3	10	18	4280	0,408	0,20	17,4	8,6	-7,4	9,4
T4	25	18	5001	0,413	0,21	20,6	10,4	4,4	7,6
T5	25	18	4410	0,403	0,20	17,8	9,0	7,2	9,0
T6	25	0	4380	0,408	0,20	17,8	8,9	7,2	-8,9

CONCLUSIONES

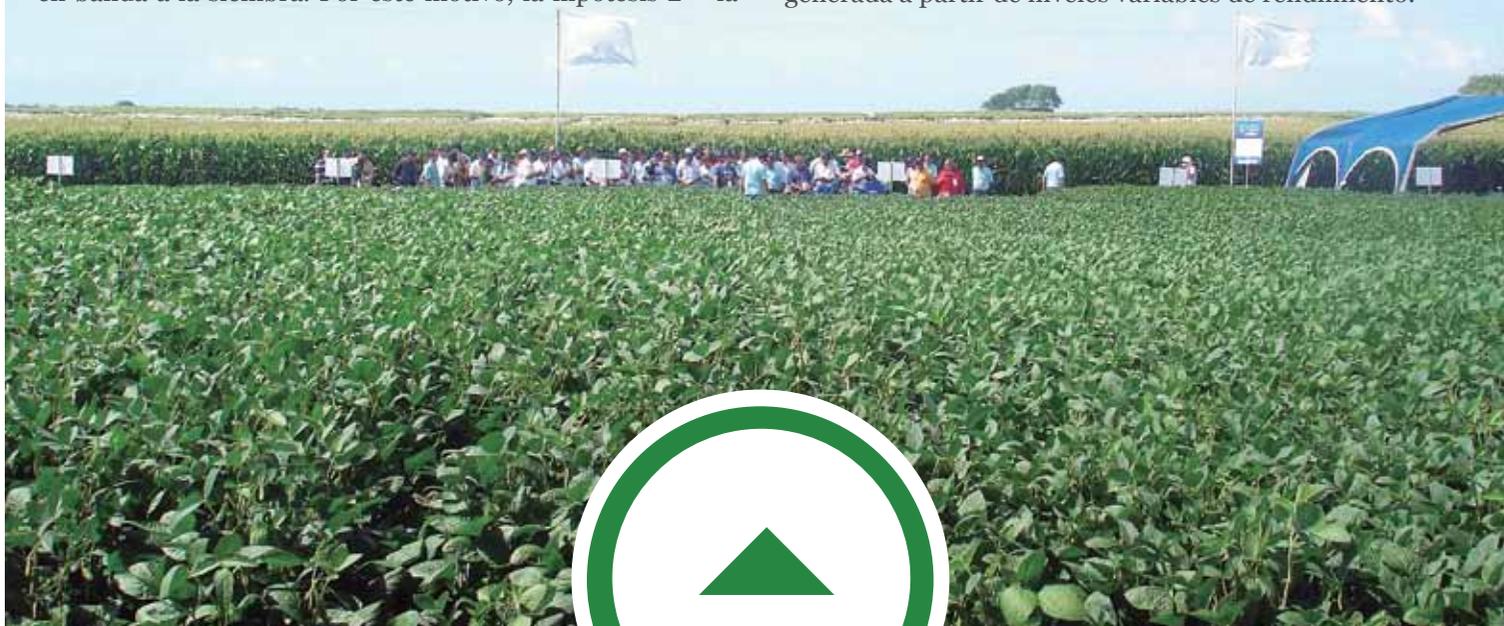
* Bajo buenas condiciones ambientales, la fertilización fosforada incrementó los rendimientos, en un rango de 223 a 994 kg ha⁻¹ (5,5 a 23,3 %) el primer año, y entre 38 y 487 kg ha⁻¹ el segundo. Estos incrementos son explicables a partir de un mayor crecimiento, cobertura, intercepción de radiación, índice de cosecha (especialmente el primer año) y número de granos (el segundo). Las diferencias fueron significativas recién el segundo año, probablemente reflejando efectos acumulativos. De igual modo, el agregado de S aumentó los rendimientos en 145 y 175 kg ha⁻¹ el primero y segundo año diferencia no significativa, pero que tiende a ampliarse al igual que en el caso del P. Por lo analizado, la hipótesis 1 – la soja responde a la fertilización- es 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 durante el primer año, y especialmente por el incremento significativo en los rendimientos del segundo año, de 334 kg ha⁻¹.

* 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. En 2010, la concentración del nutriente en grano no fue afectada por el nivel de fertilización, dependiendo el balance de PS de los aportes por fertilización y la extracción generada a partir de niveles variables de rendimiento.





EN LA ARGENTINA

CON CADA COSECHA
SE EXPORTAN NUTRIENTES
QUE NO SE REPONEN



REFERENCIAS

- Eje Atlántico
- Conexiones
- Hidrovía
- N.C.A. - Ferrocarril Nuevo Central Argentino
- F.E.P.S.A. - Ferroexpreso Pampeano
- Ferrocarril Gral. Belgrano (Línea de Cargas)

El puerto de San Lorenzo, llamado actualmente Complejo Portuario San Lorenzo - Puerto General San Martín y que abarca la totalidad de las terminales de embarques y muelles existentes entre el Km 435 y 459 del Río Paraná, es la conjunción de terminales privadas.

Este Complejo Portuario es un conglomerado de terminales de embarques y muelles privados que abarca los rubros cereales / subproductos, aceites, combustibles, hidrocarburos, minerales, químicos y petroquímicos, y es sin duda alguna uno de los polos exportadores más importante del país.

Drenan por sus terminales la producción cerealera de un vasto territorio que abarca centro, litoral y noroeste del país. A la actividad cerealera del complejo hay que agregarle la destacada actividad de sus puertos en rubros hidrocarburos y derivados, gas, químicos, petroquímicos y actualmente minerales.

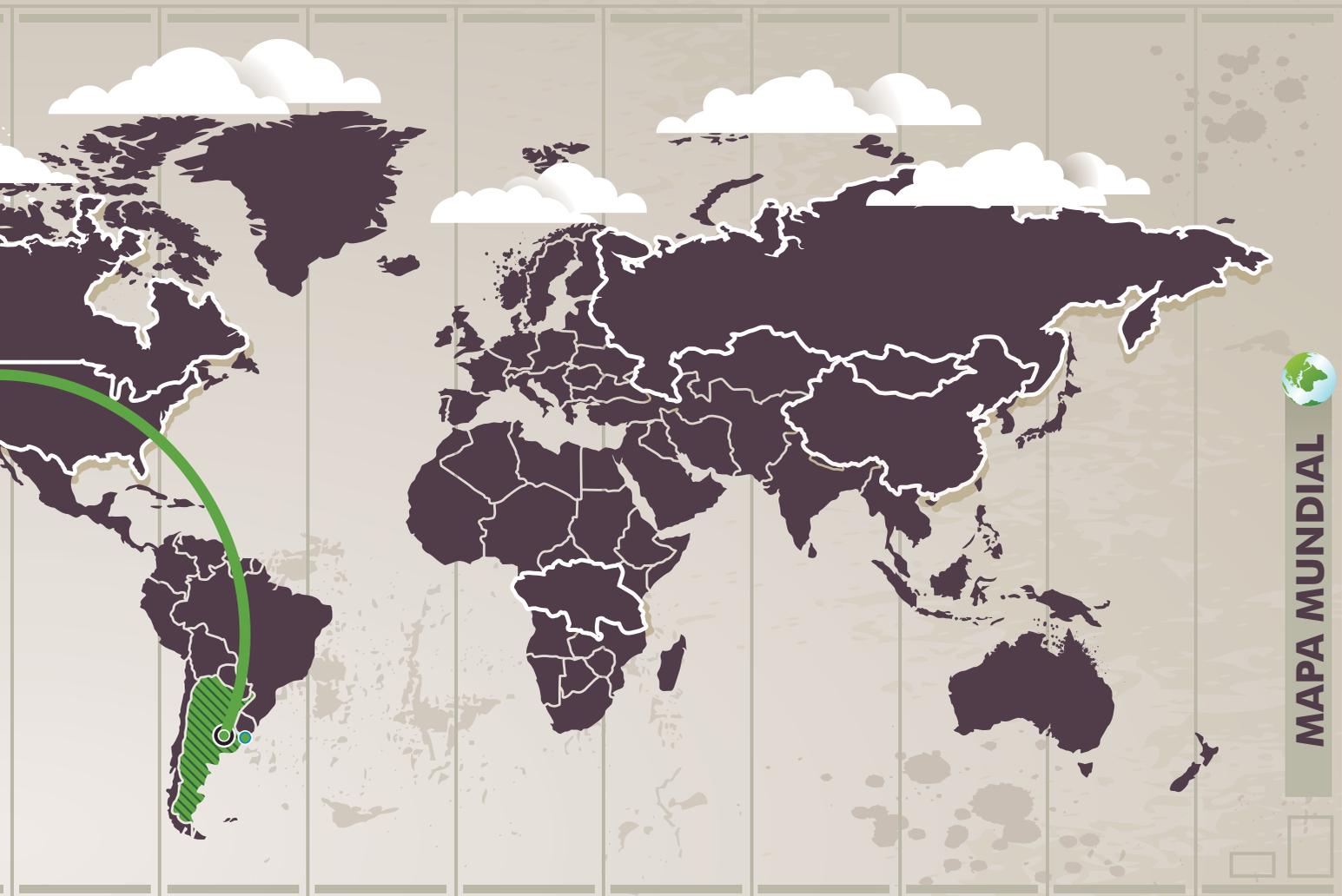


1 SOJA

2 TRIGO

40.000

En un barco cargado con **40.000** toneladas de soja, se exportan **40.000** toneladas de nutrientes; en un barco cargado con trigo, **1.176** toneladas de nutrientes; en un barco cargado con maíz, **966** toneladas de nutrientes, destacando que es la soja la que en mayor cantidad de nutrientes se lleva al extranjero.



MAPA MUNDIAL

” Fertilizar destacó que la reposición de nutrientes es, desde hace décadas, insuficiente, lo que genera un enorme desbalance en el agro-ecosistema.

Principales macronutrientes que se van en un barco cargado con 40.000 toneladas de granos

Nutriente	Toneladas / barco		
	SOJA	MAÍZ	TRIGO
NITRÓGENO	2400	581	792
FÓSFORO	184	120	150
AZUFRE	104	72	45
POTASIO	780	160	129
MAGNESIO	108	34	60

Equivalente en fertilizante de los nutrientes que se van en un barco con 40.000 toneladas de poroto de soja

Nutriente	Contenido (Tm/barco)	Fertilizante considerado	Equivalente	
			Fertilizante (Tm/barco)	Camión/Barco
NITRÓGENO	2400	UREA	5217	
FÓSFORO	184	SPT YESO	920	
AZUFRE	104	CLORURO DE POTASIO	578	
POTASIO	780	POTASIO	1300	
MAGNESIO	108	SULFATO DE MAGNESIO	720	
TOTAL	3576		8735	291



De los nutrientes que se "van" con un barco de 40.000 toneladas de poroto de soja, transformándolos en fertilizantes consumidos, sobre 3.576 toneladas de nutrientes extraídos (nitrógeno, fósforo, azufre, potasio y magnesio) equivalen a 8.735 toneladas de fertilizantes (urea, superfosfato simple, cloruro de potasio y sulfato de magnesio).

Para compensar la cantidad de nutrientes que se exportan en un buque cargado de soja, se deberían devolver al campo unos 300 camiones cargados de fertilizantes.

Sólo se reponen 100 camiones los restantes 200 los aporta el suelo.



000
n 3.576
o cargado
en uno
adas,
que mayor