

# RESPUESTA DE SOJA A LA FERTILIZACIÓN CON MACRO Y MICRONUTRIENTES

Núñez, A.<sup>1\*</sup>; García Lamothe, A.<sup>1</sup>; Sawchik, J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA)

\* anunez@inia.org.uy

## PALABRAS CLAVE

Brecha nutricional; eficiencia del fertilizante; extracción de nutrientes

## INTRODUCCIÓN

Con un área de siembra superior al millón de hectáreas, la soja es el cultivo dominante en los sistemas agrícolas del país. Por este motivo, incrementar la productividad y estabilidad de sus rendimientos es fundamental para asegurar la rentabilidad y contribuir al logro de sistemas sustentables por un mejor uso de los recursos. Para esto es necesario identificar cuáles son los principales factores limitantes del rendimiento y cuantificar la respuesta a mejores prácticas de manejo. De acuerdo con van Ittersum y Rabbinge (1997) los factores limitantes del rendimiento son el agua y los nutrientes, ya que en condiciones de suministro limitado causan una disminución en la tasa de crecimiento de las plantas. Si la disponibilidad de estos factores es menor a la requerida por el cultivo el rendimiento alcanzado será menor al potencial para esas condiciones de producción, generándose una brecha de rendimiento. La brecha de producción debida a los factores limitantes es una combinación de la brecha nutricional y la brecha por deficiencias de agua (Salvagiotti, 2013). A nivel nacional, si bien en cultivos estivales la disponibilidad hídrica es el principal factor limitante de los rendimientos (Sawchik y Ceretta, 2005) trabajos recientes muestran que en algunas situaciones podría existir una brecha nutricional en los rendimientos (Bordoli et al., 2012; García Lamothe, 2011).

En un relevamiento de 178 chacras comerciales de soja, Bordoli et al. (2012) tomaron muestras de plantas en estado R1-R2 encontrando situaciones donde las concentraciones de nutrientes estaban por debajo de los niveles críticos sugeridos en la literatura. Los nutrientes con mayor probabilidad de estar limitando el rendimiento fueron fósforo, potasio y nitrógeno, con concentraciones por debajo del nivel crítico en el 42, 39 y 13 % de las situaciones evaluadas respectivamente. Otros nutrientes como azufre, magnesio, calcio y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) presentaron concentraciones iguales o mayores a los niveles críticos considerados, por lo que su deficiencia no fue evidente en el análisis de hoja (Bordoli et al., 2012). García Lamothe (2012) sí encontró respuesta a la fertilización con hierro en condiciones de suelos con pH alto (7,6) y presencia de carbonato. A partir de esta información, parece claro que en algunas condiciones de producción la nutrición del cultivo debe ser mejorada. Si bien existe información nacional sobre los niveles críticos de los macronutrientes principales (Barbazán et al., 2011; García Lamothe, 2011; Morón, 2005) el conocimiento sobre la importancia relativa de cada nutriente en el rendimiento es aún insuficiente.

Nuestra hipótesis de trabajo es que en las situaciones donde la nutrición de los cultivos está limitando los rendimientos un mejor manejo de la fertilización lograría cubrir esa brecha nutricional. Los objetivos fueron identificar situaciones donde la nutrición está siendo un factor limitante del rendimiento y estimar la importancia relativa de cada nutriente. En este trabajo se presentan resultados preliminares de dos años de investigación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Durante los años 2012 y 2013 se instalaron 15 experimentos de respuesta a macro y micronutrientes en chacras comerciales de los departamentos de Soriano, Río Negro y Colonia, además de dos sitios en la zona este durante el 2013. Las medidas de manejo general del cultivo fueron las realizadas por cada productor para toda la chacra. En la tabla 1 se presentan las principales características de los sitios experimentales. De los sitios estudiados, tres correspondieron a cultivos de soja de segunda (Sitios 5, 7 y 14) mientras que el resto fueron todos sojas de primera. Los sitios 16 y 17 corresponden a experimentos contiguos que se diferenciaron

en el uso del agua, el experimento del sitio 16 se regó mientras que el sitio 17 fue un experimento de secano.

Tabla 1. Características generales de los experimentos

Sitio	UM <sup>1</sup>	CONCAT	Antecesor	Variación	Siembra	C org	pH	P disp <sup>2</sup>	S-SO <sub>4</sub>	CIC	K int <sup>3</sup>
						%		---- mg kg <sup>-1</sup> ----		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	
2012											
1	LC-Ri	10.12	Sj 2 <sup>a</sup>	5909	04/11/2012	1,69	7,1	9,2		28,4	0,51
2	FB	11.6	Sj 2 <sup>a</sup>	DM 6.2	25/10/2012	2,72	5,6	6,1		22,9	0,53
3	FB	11.1	Sj 2 <sup>a</sup>	N 5909	17/11/2012	3,35	7,6	10,0	9,3	23,8	0,82
4	Bq	11.6	Sj 2 <sup>a</sup>	5909	12/11/2012	3,30	5,6	5,9	9,3	33,1	0,70
5	Bq	11.6	Tr			2,78	6,0	7,4	3,3	26,5	0,72
2013											
6	Cn N	10.12				2,25	6,4	12,0	7,1	28,0	0,36
7	Cn N	11.7	Tr			2,18	5,7	19,2	1,9	27,9	0,40
8	FB	11.1	Sj 2 <sup>a</sup>	DM 5.9i	16/11/2013	3,19	6,9	20,6	3,5	20,2	0,61
9	FB	11.1	Sg 2 <sup>a</sup>	DM 6.2i	16/11/2013	2,70	6,1	16,8	5,5	21,4	0,65
10	FB	11.6	Sj 1 <sup>a</sup>	N4990	16/11/2013	2,74	5,9	11,3	3,5	19,3	0,63
11	LC-R	11	Sj 1 <sup>a</sup>	DM 6.8	25/10/2013	4,08	7,0	33,9	3,6	28,2	1,39
12	LC-Ri	11.5	Mz 1 <sup>a</sup>		22/11/2013	3,28	5,7	17,0	4,7	28,5	0,49
13	CC	10.2				3,08	5,7	25,4	4,1		
14	Bq	11.6	Tr	N4990	11/12/2013	3,42	5,8	10,8	1,3	35,3	0,59
15	EP LB	10.6b	Mz 2 <sup>a</sup>	DM 6.2	14/11/2013	3,21	6,5	87,3	12,6	21,4	2,23
16-17	Ve	4.1	Sj 1 <sup>a</sup>	DM 5.9i	18/11/2013	2,24	5,3	5,8	5,2	10,9	0,21
18	RR	3.51	Ar	NA 5909	03/12/2013	1,34	5,5	5,8		--	0,15

<sup>1</sup> Asociación de suelos a escala 1:1 000 000 según Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay

<sup>2</sup> P disponible determinado por el método Bray I en los sitios 1 a 17 y por Mehlich 1 en el sitio 18

<sup>3</sup> K intercambiable determinado con acetato de amonio 1 N a pH 7 en los sitios 1 a 17 y por Mehlich 1 en el sitio 18

La mayoría de los sitios fueron fertilizados por los productores con anticipación a la siembra, en el primer año los sitios 1 a 4 fueron fertilizados con 100 a 130 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante SPS (0-20/21-0 + 12 S) en julio de 2012. En el 2013 los sitios 8 a 10 fueron fertilizados con 130 a 170 kg ha<sup>-1</sup> de 0-33-0 + 6 S a fines de setiembre, el sitio 11 con 200 kg ha<sup>-1</sup> de SPS más 100 kg ha<sup>-1</sup> de KCl en agosto, en el sitio 12 se utilizaron 250 kg ha<sup>-1</sup> de SPS más 100 kg ha<sup>-1</sup> de KCl y 60 kg ha<sup>-1</sup> de 10-50-0 en octubre. Los sitios 15 a 18 fueron fertilizados al momento de la siembra, el sitio 15 con 100 kg ha<sup>-1</sup> de SPS, los sitios 16 y 17 con 100 kg ha<sup>-1</sup> de 9-25/25-25 + 3 S y 50 kg ha<sup>-1</sup> de KCl y el sitio 18 con 240 kg ha<sup>-1</sup> de 9-25/25-25 + 3 S y 100 kg ha<sup>-1</sup> de KCl, siendo el muestreo de suelos de los sitios 16 a 18 previo a la fertilización. Los altos resultados de P Bray en el sitio 15 probablemente sean consecuencia del escaso tiempo entre fertilización y muestreo.

Se instalaron dos tipos de experimentos, uno para explorar la respuesta a la fertilización con macronutrientes y otro para el estudio de micronutrientes. En los experimentos de macronutrientes los tratamientos evaluados fueron: PKS, PK, PS, KS y NPKS, utilizando dosis de 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, 94 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> y 19 kg S ha<sup>-1</sup>. La fertilización nitrogenada en el 2012 se realizó en el momento de la instalación de los experimentos a razón de 200 kg N ha<sup>-1</sup>, mientras que en el 2013 se fertilizó con 100 kg N ha<sup>-1</sup> en el estado R3-R4 (Fehr et al., 1971). En los experimentos del 2013 se agregó además un testigo comercial sin fertilización. Los fertilizantes utilizados fueron superfosfato triple (0-46/47-0), cloruro de potasio (0-0-60) y sulfato de calcio (19 S + 23 Ca); para la aplicación de nitrógeno se utilizó urea (46-0-0) en el 2012 y UAN (32-0-0) en el 2013.

Los micronutrientes fueron evaluados sobre la base de fertilización con PKS para evitar deficiencias de otros nutrientes, realizando dos aplicaciones foliares en los estados V6-V7 y R2-R3. Se utilizaron productos comerciales de la empresa Stoller evaluando, en función del año y del sitio: M. Plus (3 L ha<sup>-1</sup>: 10 % N, 4 % P, 6 % K, 1 % S, 1 % Mg, 0,5 % B, 4 % Zn, 2 % Mn, 0,05 %

Mo), Zn (1 L ha<sup>-1</sup>: 7 % Zn, 3 % S), Fe (2 L ha<sup>-1</sup>: 4 % Fe), Mg (1 L ha<sup>-1</sup>: 4 % Mg, 2 % S), Mn (1 L ha<sup>-1</sup>: 7 % Mn, 3 % S), CaCl<sub>2</sub> (103 L ha<sup>-1</sup>), B (1 L ha<sup>-1</sup>: 10 % B) y Co-Mo (0,25 L ha<sup>-1</sup>: 6 % Mo, 1 % Co).

Al momento de la instalación de los experimentos (cultivos en estado V1-V2) se tomaron muestras de suelo de cada sitio a 15 cm de profundidad para su análisis físico-químico. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco repeticiones. Los tratamientos se instalaron en parcelas de 2,5 m de ancho por 8-10 m de largo, cosechando tres o cuatro surcos centrales con cosechadora experimental (ancho operativo 1,5 m). Se evaluó la respuesta a la fertilización en el rendimiento (corregido al 13 % de humedad), vainas por planta, peso de los granos y extracción de nutrientes. Se realizó el análisis de la varianza para cada sitio y para todos los sitios dentro de cada año, calculándose la diferencia mínima significativa ( $p < 0,05$ ) cuando el efecto de los tratamientos fue significativo al 5 %. El efecto de la fertilización nitrogenada se estudió a partir del contraste entre los tratamientos PKS y NPKS.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La fertilización con macronutrientes tuvo efecto significativo sobre el rendimiento del cultivo de soja en siete de los 17 experimentos evaluados (Tabla 2). En dos de los cinco experimentos instalados durante el 2012 existió efecto significativo de la fertilización sobre el rendimiento del cultivo (Sitios 2 y 3). En el sitio 2 el rendimiento del tratamiento PKS fue mayor que el rendimiento del tratamiento KS ( $p < 0,05$ ), lo que demuestra el efecto positivo del P. La deficiencia de P en este sitio era esperable ya que el nivel de P disponible (6,1 mg kg<sup>-1</sup>) era inferior al nivel crítico estimado por Morón (2005) de 10-12 mg kg<sup>-1</sup>. En el sitio 3, si bien el nivel de P Bray estaba dentro del rango recomendado (10 mg kg<sup>-1</sup>) existió una tendencia a que las diferencias entre tratamientos se debieran también al efecto del P ( $p < 0,10$ ). En estos sitios con la fertilización fosforada el rendimiento en grano aumentó aproximadamente 6 %, logrando una eficiencia agronómica de 3-4 kg grano por kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Sin embargo, otros sitios con niveles de P por debajo del nivel crítico recomendado no presentaron respuesta a la fertilización. No hubo efecto significativo de la fertilización potásica en ningún caso, esperable porque los contenidos de K intercambiable estuvieron por encima del nivel crítico de 0,34 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> estimado por Barbazán et al. (2011). El análisis conjunto de los cinco experimentos del año 2012 no mostró un efecto significativo de los tratamientos en el rendimiento del cultivo.

Tabla 2. Efecto de la fertilización con macronutrientes en el rendimiento de soja

Año	Sitio	Rendimiento según tratamiento						Estadística		
		PKS	PK	PS	KS	NPKS	Testigo	Tmto	N	DMS <sub>0,05</sub>
		kg ha <sup>-1</sup>						p-valor		kg ha <sup>-1</sup>
2012	1	3700	3880	3824	3926	3748	-	0,67	0,78	--
	2	2664	2614	2652	2510	2460	-	0,03	<0,01	144
	3	3818	3766	3857	3606	3943	-	0,05	0,23	214
	4	3004	3046	3015	3095	3064	-	0,96	0,66	--
	5	2505	2711	2489	2476	2459	-	0,60	0,82	--
	Media	3138	3203	3168	3122	3135	-	0,65	0,96	--
2013	6	3364	3889	3400	3739	3735	3509	0,01	0,04	332
	7	3491	2947	3263	3111	3140	3071	0,60	0,34	--
	8	4106	4314	4318	4052	4523	4233	0,46	0,13	--
	9	3898	4069	4399	4067	2653	4307	<0,01	<0,01	224
	10	2888	2980	3480	2868	3010	3238	0,10	0,61	--
	11	4524	4166	4568	4270	4275	4745	0,28	0,37	--
	12	4208	4296	4137	4184	4479	4034	0,19	0,12	--
	13	3605	3498	3740	3621	3918	3655	0,63	0,21	--
	14	2837	2710	2817	2904	3056	2381	<0,01	0,07	240
	15	3042	2978	3661	3212	3525	1985	0,01	0,19	765
	16	3726	3597	3612	3715	3468	2998	0,04	0,28	483
17	3567	3648	3675	3512	3671	3523	0,71	0,46	--	

El análisis conjunto de todos los sitios del 2013 mostró un efecto significativo de la interacción sitio\*tratamiento ( $p < 0,01$ ) evidenciando que la respuesta a la fertilización fue dependiente del ambiente. El análisis de la varianza individual para cada sitio mostró un efecto significativo de los

tratamientos de fertilización en cinco sitios (sitios 6, 9, 14, 15 y 16). A diferencia de lo ocurrido en el 2012, en estos experimentos no es tan claro cuál fue el nutriente limitante. En el sitio 6 la fertilización con PK aumentó los rendimientos en comparación con el testigo, pero los demás tratamientos (incluido PKS) no se diferenciaron del manejo del productor. El mayor rendimiento del tratamiento PK estuvo explicado principalmente por un mayor peso de granos en comparación con el testigo (Tabla 3). Si bien el contenido de K intercambiable de este sitio fue similar al nivel crítico, la saturación de K de la CIC ( $K/CIC = 1,3\%$ ) fue menor a la recomendada de 2-5 % (Fontanetto et al., 2011) lo que sugiere un posible desbalance entre las bases.

En el sitio 9, con  $0,65 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de K int, los tratamientos con agregado de K rindieron menos que los tratamientos sin este nutriente (PS y testigo). Si bien en cultivos de invierno se han reportado efectos negativos del agregado de K en suelos con alto contenido de K int (García Lamothe y Quincke, 2012) esto ha sido en suelos con valores más altos ( $> 1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ). Además, en nuestro trabajo existieron otros sitios con mayores valores de K int donde no se evidenció un efecto negativo de la fertilización con este nutriente. La relación de bases en este sitio (88 % Ca, 8 % Mg, 3 % K) estuvo dentro de los rangos recomendados por García Lamothe y Quincke (2012) de 75-88 % Ca, 7,5-15 % Mg y 2,5-5 % K. En los sitios restantes (14, 15 y 16) existió un efecto positivo de la fertilización sobre el rendimiento, pero los distintos tratamientos no presentaron diferencias entre sí que permitieran identificar qué nutriente era limitante. Esta respuesta no específica a la fertilización podría deberse a un mejor crecimiento vegetal frente al aumento en la disponibilidad de nutrientes que haya permitido una mejor exploración radicular y mejorado la absorción de otros nutrientes. En el sitio 14, el efecto de la fertilización sobre el rendimiento se explicaría en parte por un mayor peso de granos (tratamientos NPKS y PKS) y por la tendencia ( $p = 0,11$ ) a un menor número de vainas en el tratamiento testigo. En los sitios 15 y 16 no hubo un efecto claro de la fertilización sobre los componentes del rendimiento (Tablas 3 y 4).

Tabla 3. Efecto de la fertilización con macronutrientes sobre el peso de grano en los sitios con respuesta a la fertilización.

Año	Sitio	Peso de grano						Estadística	
		PKS	PK	PS	KS	NPKS	Testigo	Tmto	DMS <sub>0,05</sub>
		mg grano <sup>-1</sup>						p-valor	mg grano <sup>-1</sup>
2012	2	208	205	218	214	207	--	0,16	--
	3	195	200	200	196	199	--	0,15	--
2013	6	163	166	168	162	153	163	0,01	3,7
	9	187	178	181	184	166	186	<0,01	8,9
	10	137	140	138	135	136	138	0,14	--
	14	165	161	153	163	165	156	<0,01	7,7
	15	180	179	183	179	177	180	0,11	3,6
	16	144	144	144	143	140	143	0,98	--

El efecto de la fertilización nitrogenada fue escaso y variable, con efecto sobre el rendimiento en los sitios 2, 6 y 9 y una tendencia en el sitio 14 ( $p = 0,07$ ). La respuesta negativa en el sitio 2 podría deberse al momento de aplicación del N, que generó plantas con mayor crecimiento vegetativo y probablemente haya afectado el establecimiento de la simbiosis. Un escaso aporte de N a partir de la FBN y baja eficiencia de uso del fertilizante tal vez hayan generado una limitante de N durante el período crítico de crecimiento del cultivo. La probabilidad de lograr un efecto positivo de la fertilización nitrogenada sin afectar la actividad de los nódulos sería mayor con aplicaciones tardías de N (Salvagiotti et al., 2008) motivo por el cual se decidió cambiar la estrategia de fertilización en el 2013. En el sitio 6 existió un efecto positivo de la fertilización sobre el rendimiento, con una eficiencia de 3,7 kg de grano por kilogramo de N aplicado, similar a la tendencia encontrada para el sitio 14 (2,2 kg de grano por kilogramo de N). Estos sitios no tuvieron cultivos de alto potencial de rendimiento ( $> 4,5\text{-}5 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) que de acuerdo con (Salvagiotti et al., 2008) serían las condiciones donde la respuesta al N es más esperable. En el sitio 9 la fertilización nitrogenada tuvo un efecto negativo sobre el rendimiento, causado por un menor peso de grano que el resto de los tratamientos evaluados (Tabla 3). En función de los antecedentes revisados no era esperable un efecto negativo del N, y tampoco se observaron diferencias de daño por plagas o enfermedades.

Tabla 4. Efecto de la fertilización con macronutrientes sobre el número de vainas en los sitios con respuesta a la fertilización.

Año	Sitio	Número de vainas						Estadística	
		PKS	PK	PS	KS	NPKS	Testigo	Tmto	DMS <sub>0,05</sub>
		----- vainas m <sup>-2</sup> -----						p-valor	vainas m <sup>-2</sup>
2012	2	1128	1049	1030	1168	1199	--	0,18	--
	3	1102	1127	843	1050	932	--	<0,01	153
2013	6	935	1062	1138	980	1021	1126	<0,01	128
	9	952	885	1273	1181	924	1019	<0,01	109
	10	1022	837	1008	975	945	952	0,09	119
	14	864	777	931	890	856	766	0,11	-
	15	1028	948	995	1053	930	1098	0,33	--

Si bien el análisis conjunto de los sitios para cada año mostró un efecto significativo de la fertilización con micronutrientes, la respuesta dentro de cada sitio fue muy poco frecuente (Tabla 5). El efecto significativo de los tratamientos sobre el rendimiento en el año 2012 se explica por un menor rendimiento del tratamiento fertilizado con cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>), lo que estuvo asociado al daño generado en las hojas del cultivo por la aplicación de este producto. Por este motivo, en el año 2013 se decidió probar la fertilización con boro en vez del CaCl<sub>2</sub>. En el año 2013 existió también un efecto significativo de la fertilización con micronutrientes, siendo el tratamiento “completo” (M. Plus) el que logró los mayores rendimientos. El rendimiento del tratamiento fertilizado con manganeso no se diferenció del M. Plus, mientras que el resto de los nutrientes evaluados generaron rendimientos menores que el tratamiento “completo” (pero iguales al Mn). Parte de la respuesta observada a los micronutrientes podría deberse entonces a este nutriente. En los sitios de la zona este (16 a 18) existió una tendencia de respuesta a la fertilización con micronutrientes, aunque sin diferencias claras que permitan concluir sobre cuáles podrían ser los nutrientes limitantes.

Tabla 5. Efecto de la fertilización con micronutrientes en el rendimiento de soja.

Año	Sitio	Tratamiento (kg ha <sup>-1</sup> )						Estadística	
		M.Plus	Zn	Fe	Mg	Mn	CaCl <sub>2</sub>	Tmto	DMS <sub>0,05</sub>
		----- kg ha <sup>-1</sup> -----						p-valor	kg ha <sup>-1</sup>
2012	1	4148	4125	4098	3964	3895	4073	0,68	--
	2	2694	2624	2763	2488	2730	2487	0,27	--
	3	3954	3985	4105	4037	4143	3812	0,13	--
	4	2989	2993	3161	3023	3191	2807	0,26	--
	5	2672	2909	2851	2843	2769	2549	0,14	--
	Media	3292	3327	3395	3271	3345	3146	<0,01	133
		<b>M.Plus</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>Mg</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>		
2013	6	3158	2850	3569	3332	3500	2954	0,04	509
	7	3494	3388	3380	3646	3399	3409	0,69	--
	8	4187	3539	4297	3869	4228	3892	0,19	--
	9	4656	4464	4070	4596	4196	4224	0,26	--
	10	3261	2945	3040	2824	2974	2963	0,51	--
	11	3990	3987	3796	3867	4219	4099	0,49	--
	12	4541	4456	4197	4620	4504	4439	0,77	--
	13	3830	3465	3679	3553	3225	3524	0,38	--
	14	3106	2881	2895	2838	2962	2962	0,90	--
	15	2851	2444	2432	2233	2457	2654	0,31	--
	Media	3707	3442	3536	3538	3566	3512	0,06	156
		<b>M.Plus</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>Mg</b>	<b>Mn</b>	<b>Mo</b>		
	16	3566	3759	3805	3271	3896	3531	0,14	--
	17	3702	3976	4183	3759	3523	3827	0,07	--
	18	3336	2959	3070	2768	2631	2970	0,42	--
	Media	3546	3600	3722	3295	3392	3470	0,08	296

Para estimar la extracción de macronutrientes por el cultivo se analizó el contenido de N, P, K y S en el grano de cuatro de los tratamientos evaluados (PKS, PK, PS y KS). Los resultados preliminares del año 2012 (todavía no se cuenta con los resultados del 2013) mostraron efecto de la fertilización en la concentración de P y de S en grano ( $p < 0,01$ ). En ambos casos, la menor concentración del nutriente en grano correspondió con el tratamiento de omisión de ese nutriente. En la tabla 6 se presentan los valores de extracción por hectárea de cada nutriente en el grano, los cuales coinciden con las extracciones reportadas por García y Correndo (2013) para N y S, siendo un poco menores nuestros datos de extracción de P (-20 %) y K (-16 %).

Tabla 6. Extracción de nutrientes en grano.

Nutriente	Extracción de nutrientes				Estadística	
	PKS	PK	PS	KS	Tmto	DMS <sub>0,05</sub>
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----				p-valor	kg ha <sup>-1</sup>
Nitrógeno	169	174	175	173	0,64	--
Fósforo	13,6	14,3	14,3	13,3	0,04	0,9
Potasio	44	46	46	45	0,64	--
Azufre	9,9	9,0	10,1	10,3	0,02	0,7
Rendimiento <sup>1</sup>	3057	3194	3189	3167		

<sup>1</sup>Rendimiento promedio de las parcelas muestreadas para análisis de grano, 3 repeticiones por sitio.

## CONCLUSIONES

La fertilización de soja con macronutrientes tuvo un efecto significativo sobre el rendimiento en siete de 17 experimentos evaluados, logrando en seis de esos sitios aumentar los rendimientos. En dos sitios la brecha nutricional se debió a deficiencias de fósforo, en el resto de los sitios no fue posible identificar un nutriente específico como limitante.

La respuesta a la fertilización nitrogenada fue escasa y variable, por lo que no sería una práctica recomendable para este nivel de rendimientos alcanzables. Para las condiciones evaluadas la disponibilidad de micronutrientes no serían una limitante de importancia para los rendimientos del cultivo.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Ignacio Macedo, Jesús Castillo y José Terra por el manejo de los sitios del este y a Wilfredo Mesa, Hector Vergara, Gualberto Zoulier, Damián Yanavel y Emiliano Barolín por la ayuda en los trabajos de campo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Barbazán MM, Boutes C, Beux L, Bordoli JM, Cano JD, Ernst O, García Lamothe A, García FO, Quincke A. 2011. Fertilización potásica en cultivos de secano sin laboreo en Uruguay: rendimiento según análisis de suelos. *Agrociencia*, 15(2): 93-99.
- Bordoli JM, Barbazán MM, Rocha L. 2012. Soil nutritional survey for soybean production in Uruguay. *Agrociencia*, 16(3):76-83.
- Fehr WR, Caviness CE, Burmood DT, Pennington, JS. 1971. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine Max* (L.) Merrill. *Crop Science*, 11: 929-931.
- Fontanetto H, Gambaudo S, Keller O, Albrecht J. 2011. Las mejores prácticas de manejo para los cultivos y sistemas de producción. Avances en la fertilización con calcio, magnesio y potasio en Argentina. En: García F, Correndo A (Eds.) *Simposio Fertilidad 2011 IPNI*. pp.116-120.
- García F, Correndo A. 2013. Cálculo de requerimientos nutricionales de cultivos extensivos. IPNI Cono Sur. Disponible on-line en: <http://lacs.ipni.net/topic/nutrient-requirements>
- García Lamothe A. 2012. Deficiencias de hierro en soja. *Revista INIA Uruguay*. 30: 28-31.
- García Lamothe A, Quincke A. 2012. El potasio en la producción de cultivos de invierno. En: *Jornada Cultivos de Invierno INIA La Estanzuela. Serie Actividades de Difusión N° 677*. INIA Uruguay [presentación oral].
- García Lamothe A. 2011. Recomendaciones de manejo de la fertilización para soja. *Revista INIA Uruguay*. 26: 53-55.
- Morón A. 2005. Informe de resultados de la red de ensayos de fertilización de soja. En: *Jornada Técnica de Cultivos de Verano. Serie Actividades de Difusión N° 417*. INIA Uruguay.
- Salvagiotti F. 2013. ¿Cómo podemos aumentar los rendimientos de soja? La visión desde la nutrición. En: García F, Correndo A (Eds.) *Simposio Fertilidad 2013 IPNI*. pp. 44-50.
- Salvagiotti F, Cassman KG, Specht JE, Walters DT, Weiss A, Dobermann A. 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: a review. *Field Crops Research*. 108: 1-13.
- Sawchik J, Ceretta S. 2005. Consumo de agua por sojas de distintos grupos de madurez en diferentes ambientes de producción (CALMER-AUSID-INIA). En: *Jornada Técnica de Cultivos de Verano. Serie de Actividades de Difusión N° 417*.
- van Ittersum MK, Rabbinge R. 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*. 52: 197-208.