

07

Fertilización con fósforo, azufre y zinc en soja. Estructura del cultivo, rendimiento y componentes

GUSTAVO N. FERRARIS¹*,
TRINIDAD REDDEL²
Y MAURO BALZA²

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Manejo de cultivos. (Argentina)

² OCP Group

*ferraris.gustavo@inta.gob.ar

Fosforo, azufre y zinc son nutrientes claves en el cultivo de soja. Este trabajo de dos años, bajo condiciones ambientales divergentes, evalúa la respuesta al agregado de estos nutrientes al suelo, al momento de la siembra. Prevalece la respuesta a fósforo, dada su importancia en el crecimiento de la planta y su baja disponibilidad en suelo.

Palabras clave: Soja, Fertilizantes “starter”, Fertilización balanceada, Reposición de nutrientes.

Introducción

Las fuentes fosforadas son cruciales para el crecimiento y desarrollo de la soja, ya que el fósforo (P) es un nutriente esencial involucrado en la fotosíntesis, la transferencia de energía y la síntesis de ácidos nucleicos. En la agricultura, el fósforo se suministra principalmente a través de fertilizantes fosfóricos, como el superfosfato simple (SSP), el superfosfato triple (TSP) y fosfatos de amonio (MAP y DAP). La disponibilidad de fósforo en el suelo depende de factores como el pH, la textura del suelo y la presencia de microorganismos solubilizadores de fósforo. Estos microorganismos, como ciertas bacterias y hongos micorrícicos, juegan un papel importante en la movilización del fósforo, haciéndolo más accesible para las plantas

de soja. La gestión adecuada del fósforo es fundamental para maximizar el rendimiento y la calidad del cultivo de soja, evitando tanto la deficiencia como el exceso, que pueden ser perjudiciales.

El P, el azufre (S) y el zinc (Zn) son nutrientes esenciales que interactúan de manera compleja en el suelo y las plantas. Estas interacciones pueden influir significativamente en la disponibilidad y la absorción de cada nutriente. Trabajos recientes documentan respuestas sólidas al agregado de P y otros nutrientes en Argentina (Ferraris *et al.*, 2023), Brasil (Vieira *et al.*, 2023) y EEUU (Morales *et al.*, 2023; Omidire *et al.*, 2023). Entre los factores que afectan la respuesta, sobresale en primer lugar la disponibilidad en suelo (Morales *et al.*, 2023), pero también se mencionan la textura (Veloso *et al.*, 2023) y el efecto de la fuente (Ferraris *et al.*, 2023; Omidire *et al.*, 2023; Vieira *et al.*, 2023).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de diferentes fuentes para la fertilización de soja, a igual aporte de P. Hipotetizamos que 1, los fertilizantes incrementan los rendimientos de soja, y 2, mezclas químicas multi-nutrientes permiten incrementar los rendimientos de soja respecto de las tradicionales, a partir de una composición balanceada y formulaciones de mejor calidad que facilitan la absorción por parte del cultivo.

Materiales y Métodos

Durante las campañas 2022/2023 y 2023/2024 se realizaron dos experimentos de campo destinados a evaluar el comportamiento de fertilizantes “arrancadores” o “starters” en soja de primera. Los ensayos se implantaron en la EEA INTA Pergamino, sobre un suelo Serie Pergamino, Argiudol típico, familia mixta, franca, térmica, Clase I-2, IP=85. El primer

año la siembra se realizó el día 18 de noviembre, con la variedad DM 46i20 STS y un espaciamiento de 0,40 m entre hileras. La segunda campaña, el día 15 de Noviembre, con la variedad DM 40E23 STS, en hileras espaciadas a 0,40 m. En ambos casos el antecesor fue maíz tardío. Las parcelas se mantuvieron libres de adversidades bióticas.

Tabla 1. Tratamientos de Soja de primera. Pergamino. Campañas 2022/2023 y 2023/2024.

Trat	Tratamiento	MAP	MAP70 SPS30	Foszinc	N	P	S	Zn
	kg/ha							
T1	Control							
					inoculante			
T2	NP	80			inoculante	18		
T3	NPS		105		inoculante	18	5,2	
T4	NPSZn			92	inoculante	18	4,6	0,9

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

Ciclo	Prof.	PH	MO	Fósforo	S-Sulfatos	Zinc	Boro
		agua 1:2,5	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
2022/23	0-20	5,6	3,16	6,5	8,2	0,40	0,71
	cm	lig ácido	medio	muy bajo	medio	muy bajo	bajo
2023/24	0-20	6,3	2,91	14,5	6,5	1,02	0,54
	cm	neutro	medio	bajo	bajo	medio	medio

Durante el ciclo de cultivo, se midieron diferentes parámetros de crecimiento, nutrición y componentes del rendimiento. La recolección se realizó con una cosechadora experimental automotriz, recolectando

la totalidad de la parcela, de 7 x 1 m. Los resultados fueron analizados por partición de la varianza, comparaciones de medias y análisis de regresión.

Resultados y Discusión

En las Tablas 3 y 4 se presenta la evaluación de diferentes variables de crecimiento, nutrición y rendimiento.

Finalmente, en las Figuras 1. A y 1. B se ilustran los rendimientos, con sus desvíos y significancia estadística.

Tabla 3. Materia seca en R2, altura de planta (cm), contenido de N estimado por Spad, NDVI por Green Seeker, intercepción, calificación del vigor, número de nudos y vainas, rendimiento de grano, componentes y respuesta sobre el control. Campaña 2022/2023.

Tr	Tratamiento	Materia seca R2 (kg/ha)	Altura planta (cm)	Spad	Green Seeker R4	Intercepción R4 (%)
T1	Control	1880	76	37,6	0,64	75,5
T2	P	1700	74	46,7	0,67	71,1
T3	PS	1542	80	47,6	0,69	76,7
T4	PS Zn	1762	76	47,0	0,69	79,0
	R ² vs rendimiento	0,20	0,00	0,79	0,78	0,06
Tr	Tratamiento	Vigor	Nudos/planta	Vainas/planta	NG	PG
T1	Control	3,5	11	17	1739	107
T2	P	3,8	12	23	2072	104
T3	PS	3,8	11	18	1995	106
T4	PS Zn	3,7	11	23	2203	104
	R ² vs rendimiento	0,52	0,30	0,66	0,99	0,78

R4 (vaina 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.

Intercepción: evaluado como % de la radiación máxima incidente.

Tabla 4. Materia seca en R2, altura de planta (cm), contenido de N estimado por Spad, NDVI por Green seeker, intercepción, calificación del vigor, número de nudos y vainas, rendimiento de grano, componentes y respuesta sobre el testigo. Campaña 2023/2024.

Tr	Tratamiento	Materia seca R2 (kg/ha)	Altura planta (cm)	Spad	Green Seeker R4	Intercepción R4 (%)
T1	Control	1381	82	40,8	0,82	80,5
T2	P	1450	86	41,0	0,83	89,7
T3	PS	1550	84	40,8	0,83	91,2
T4	PS Zn	1775	87	43,9	0,83	92,3
	R ² vs rendimiento	0,19	0,59	0,03	0,95	0,84
Tr	Tratamiento	Vigor	Nudos/planta	Vainas/planta	NG	PG
T1	Control	3,5	14	32	2807	176,5
T2	P	3,9	15	43	3203	175,5
T3	PS	3,7	18	67	3097	179,0
T4	PS Zn	4,0	18	57	3044	179,5
	R ² vs rendimiento	0,59	0,34	0,45	0,96	0,04

R4 (vaina 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.

Intercepción: evaluado como % de la radiación máxima incidente.

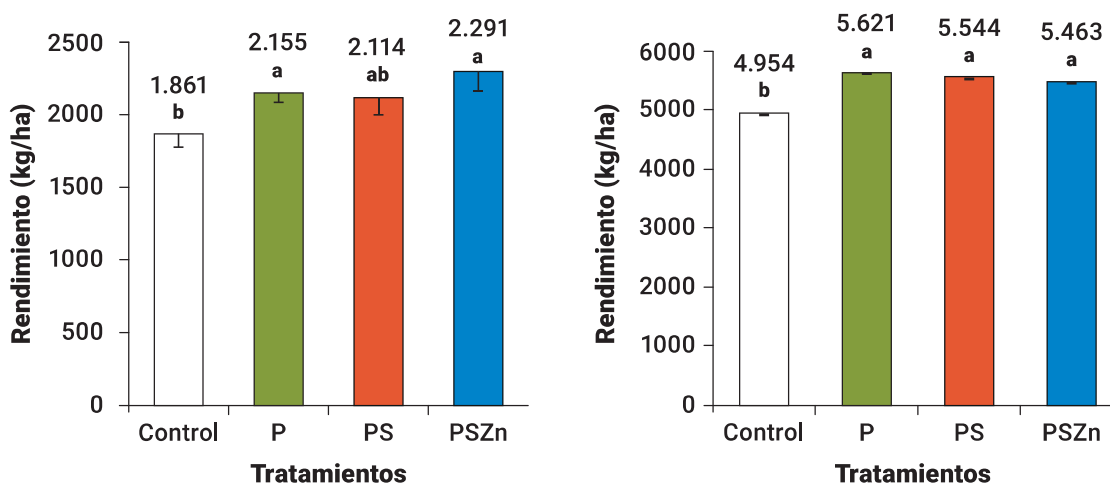


Figura 1. Rendimiento de grano según tratamientos de fertilización en soja, mediante el uso de diferentes mezclas con base fosforada. **A)** Campaña 2022/2023. Letras distintas sobre las columnas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (**LSD** a=0,10, **DMS**=268 kg/ha). **B)** Campaña 2023/2024. Letras distintas sobre las columnas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (**LSD** a=0,10; **DMS**=413 kg/ha). Las barras de error señalan la desviación standard de la media. Localidad de Pergamino.

En 2022/23 el rendimiento promedio del sitio alcanzó un promedio de 2105 kg/ha, lo cual representa un valor muy bajo para Pergamino y la región. Las causas se deben buscar únicamente en las precipitaciones y temperatura de la campaña, que alcanzaran valores extremos. Los tratamientos de fertilización lograron estimular algunos parámetros de crecimiento

describiendo con ajuste el efecto de tratamiento. Las de mayor relación estadística fueron contenido de N estimado por Spad ($r^2=0,79$), NDVI ($r^2=0,78$), la calificación del vigor ($r^2=0,52$), vainas/planta ($r^2=0,66$), NG ($r^2=0,99$) y PG ($r^2=0,78$).

Se determinaron diferencias estadísticamente significativas en los rendimientos ($P=0,08$, $cv=9,8\%$). Todos los tratamientos fertilizados superaron al control, sin diferencias estadísticas entre sí (Figura 4). La mayor productividad absoluta correspondió a PSZn, con una respuesta sobre el control de 429,9 kg/ha (Tabla 3 y Figura 1. A). Esta magnitud de respuesta, considerable para el nivel de rendimiento, se explican en la baja fertilidad del sitio, especialmente en P y Zn.

En el ciclo 2023/4, los rendimientos alcanzaron un excelente nivel de 5398 kg/ha, sobresaliente para la productividad del sitio y un ambiente de altas temperaturas y escasas precipitaciones a finales de enero e inicios de febrero. De las variables de cultivo, altura de plantas ($r^2=0,59$), NDVI por Green Seeker ($r^2=0,95$), intercepción ($r^2=0,84$), la calificación del vigor ($r^2=0,59$) y NG ($r^2=0,96$) fueron las variables que en mayor medida expresaron efecto de tratamiento (Tabla 4), presentando claras diferencias entre control y fertilizados.

Se determinaron diferencias estadísticamente significativas en los rendimientos, evidenciando una clara respuesta a la fertilización ($P=0,05$, $cv=5,9\%$). No se determinaron diferencias entre fuentes (Figura 1. B), prevaleciendo la respuesta a P por sobre el resto de los nutrientes. Los incrementos oscilaron entre 509,7 y 667 kg/ha (Tabla 4).

Durante el primer ciclo, el aporte de Zn generó una tendencia positiva en los rendimientos, pero no fue significativa (Figura 1. A). La disponibilidad de Zn fue muy baja (Tabla 2), creando un ambiente deficitario y predisponente a obtener respuesta a la fertilización. El clima riguroso y la baja demanda del cultivo impidieron la normal expresión de este comportamiento. El segundo año los valores en suelo fueron más elevados, explicando la ausencia de respuesta a Zn.



Conclusiones

Los resultados del presente estudio permiten aceptar las hipótesis 1. Se determinó un efecto relevante y significativo de la fertilización, confirmando la prevalencia de P sobre el resto de los nutrientes. Aun bajo sequía extrema, si los niveles en suelos son bajos, el cultivo de soja sostiene su respuesta a la fertilización con nutrientes de baja movilidad en el suelo. En cambio, la hipótesis 2 no puede ser aceptada, al no observar diferencias entre fuentes.

Bibliografía

Ferraris, G. N.; Díaz Zorita, M.; Grasso, A. 2023. *Intensificación productiva: comparación de modelos de fertilización para la región núcleo pampeana*. En: Revista de Tecnología Agropecuaria - RTA 10 (43) : 17-22. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/16657>

Morales, N. A.; Gatiboni, L.; Osmond, D.; Vann, R.; Kulesza, S.; Crozier, C.; Hardy, D. 2023. *Critical soil test values of phosphorus and potassium for soybean and corn in three long-term trials in North Carolina*. En: Soil Science Society of America Journal, 87(2): 278-290.

Omidire, N. S.; Brye, K. R.; English, L.; Kekedy-Nagy, L.; Greenlee, L.; Popp, J.; Roberts, T. L. 2023. *Soybean growth and production as affected by struvite as a phosphorus source in eastern Arkansas*. En: Crop Science 63(1):320-335.

Veloso, F. R.; Marques, D. J.; De Melo, E. I.; Bianchini, H. C.; Maciel, G. M.; De Melo, A. C. 2023. *Different soil textures can interfere with phosphorus availability and acid phosphatase activity in soybean*. En: Soil and Tillage Research 234:105842.

Vieira, N. D.; Moreira, A.; Moraes, L. A. C.; Cabrera, R. A. D.; Marubayashi, R. Y. P. 2023. *Soybean yield, yield components, and phosphorus concentration under different phosphate sources*. En Communications in Soil Science and Plant Analysis 54(9):1239-1249.