



Estrategias para la nutrición de soja. Aplicaciones al suelo y por vía foliar.

Soybean nutrition with soil and foliar application.

INTA EEA PERGAMINO
CAMPAÑA 2021/22.

Ing. Agr. (MSc) Gustavo N. Ferraris.

1. INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4,5 (B2700WAA) Pergamino
ferraris.gustavo@inta.gob.ar

Introducción:

En Argentina, La soja desarrolla día a día una mejora continua en su proceso de producción. Mejores variedades, biotecnología con creciente diversidad en la tolerancia a insectos y herbicidas, y mecanización de excelencia caracterizan los sistemas actuales.

Un aspecto que podría brindar un salto notable en los rendimientos, sería el ajuste de la fertilización. Carencias crónicas de fósforo, acidificación, y deficiencias moderadas de una diversidad de elementos poco considerados hasta el momento, permitirían la plena expresión del potencial productivo. También se han incorporado nuevos insumos, que ocupan un lugar intermedio entre nutrición y fisiología. Una posible medida de mitigación de efectos adversos provocados por agentes bióticos -enfermedades, insectos- o abióticos -herbicidas, estrés ambiental-, es el uso de bioestimulantes. El término hace referencia a un agrupamiento funcional, más que bioquímico. Reúne moléculas de características muy diversas, pero que en todos los casos incentivan el crecimiento de las plantas y ayudan a sobrellevar una etapa donde el cultivo sufre restricciones. Su acción depende de la etapa de desarrollo y la tasa a la que esté creciendo la planta, presencia de estímulos externos y la porción del vegetal alcanzada por la aplicación. Entre los componentes más habituales de los bioestimulantes son las hormonas de crecimiento, auxinas, giberelinas y citocininas. Estas tienen la capacidad para promover el crecimiento radicular, aéreo y reproductivo, respectivamente. Bajo este término se suelen incluir además otras moléculas como aminoácidos, quitosanos, vitaminas y enzimas.

El efecto favorable de los bioestimulantes sobre el crecimiento puede ser complementado y potenciado por el agregado de nutrientes. En particular, la vía foliar es especialmente apta para la provisión de microelementos. Son requeridos en pequeñas cantidades por los cultivos, por lo tanto la cantidad aportada en una solución foliar podría ser suficiente para cubrir sus requerimientos.

El objetivo de esta investigación fue evaluar sistemas de fertilización que combinan tratamientos al suelo con aplicaciones foliares. Hipotetizamos que 1. Sistemas intensificados de nutrición, que incluyen nuevas tecnologías, optimizan los cultivos y su rendimiento, y 2. Es posible identificar combinaciones mejor performance agronómica.

Palabras clave: Soja, fitohormonas, fisiología, fertilización, tratamientos foliares, micronutrientes.

Materiales y métodos:

Durante la campaña 2021/22, se realizó un experimento de campo destinado a evaluar estrategias integradas de nutrición. El ensayo se implantó en la EEA INTA Pergamino, sobre un suelo Serie Pergamino, Argiudol típico, familia mixta, franca, térmica, Clase I-2, IP=85. La siembra se realizó el día 11

de Noviembre, con la variedad DM 46I20 RR STS, en hileras espaciadas a 0,40 m. El antecesor fue soja. Durante el ciclo se aplicaron herbicidas, insecticidas y fungicidas para prevenir el ataque de malezas, oruga bolillera, chinches y enfermedades. Las parcelas se mantuvieron totalmente libres de estas adversidades.



Fotografía 1: Vista del experimento en el estado R4.



Fotografía 2 : Vista del experimento en INTA Pergamino. El arco seña la el frente del experimento que se reporta en el presente informe. Campaña 2021/22.



Fotografía 3: Vista aérea de los experimentos de nutrición de soja en la EEA INTA Pergamino. El arco seña el final del experimento. Campaña 2021/22.

El diseño de los ensayos correspondió a bloques aleatorizadas con cuatro repeticiones. Los detalles de los tratamientos evaluados se describen en la Tabla 1. Por su parte, el análisis de suelo se presenta en la Tabla 2.

Tabla 1: Tratamientos de fertilización al suelo y por vía foliar en Soja, INTA Pergamino. Campaña 2021/22.

Tratam.	Tratamiento de siembra	Tratamientos foliares V5	Tratamientos foliares R2
1	Testigo		
2	SPT 70 % + SPS 30 % 100 kg ha ⁻¹		
3	SPT 70 % + SPS 30 % 100 kg ha ⁻¹	Mist B 600 ml ha ⁻¹	Mist BLC 1500 ml ha ⁻¹
4	SPT 70 % + SPS 30 % 100 kg ha ⁻¹	Mist BLC 1500 ml ha ⁻¹	Mist BLC 1500 ml ha ⁻¹
5	SPT 70 % + SPS 30 % 100 kg ha ⁻¹	Mist BLC 1500 ml ha ⁻¹	Mist B 600 ml ha ⁻¹

Tabla 2: Análisis de suelo al momento de la siembra, promedio de cuatro repeticiones. Pergamino, campaña 2021/22.

Prof	pH	MO	N total	Fósforo disponible	Calcio	Magnesio	Potasio	S-Sulfatos	Zn
	agua 1:2,5	%	%	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	ppm	mg kg ⁻¹
Perga 1ra 0-20	5,5	3,36	0,168	7,3	1332	212	469	8,5	0,65
	LIG ÁCIDO	MEDIO	MEDIO	MUY BAJO	ALTO	ALTO	MUY ALTO	MEDIO	MUY BAJO

Las aplicaciones foliares fueron realizadas con mochila manual eléctrica de presión constante. La misma cuenta con un botalón aplicador de 200 cm provisto de 4 picos a 50 cm y pastillas de cono hueco 80015 que a una presión de 3 kg permiten asperjar 100 l ha⁻¹. Los detalles de la aplicación se presentan en el Anexo (Tablas 5 y 6). Los tratamientos se hicieron en conjunto con un fungicida químico.

Se cuantificó biomasa acumulada en R4. En el mismo estado se determinó el NDVI utilizando el sensor Green seeker, la cobertura mediante procesamiento con software específico de imágenes digitales. Asimismo, se estimó el contenido de N con el medidor de clorofila Minolta Spad 502, y se calificó el vigor en función del estado general de la parcela, su uniformidad y sanidad. La recolección se realizó con una cosechadora experimental automotriz, el día 19 de abril. Sobre una muestra de cosecha se determinaron los componentes del rendimiento, Nº de nudos, vainas, NG y PG. Los resultados fueron analizados por partición de la varianza, comparaciones de medias y análisis de regresión.

Resultados y discusión.

Condiciones ambientales durante la campaña.

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones determinadas en el sitio experimental, en comparación con los valores históricos y los de las tres últimas campañas. Las lluvias del verano fueron escasas, especialmente hasta mediados de enero. Se registraron dos períodos con sequía severa, en diciembre-enero, y un segundo entre fines de enero y mitad de febrero. En la segunda parte del verano, los acumulados superaron la media histórica (Figura 1). Sumado a esto, las temperaturas alcanzaron registros muy elevados en la región (Figura 3). La condición descripta determinó una reducción en las reservas, durante la formación de vainas (Figura 2). Sin embargo, se registró una recuperación de las lluvias en el llenado de los granos (Figuras 1 y 2). Esta reversión de las lluvias resultaría clave para los rendimientos finales.

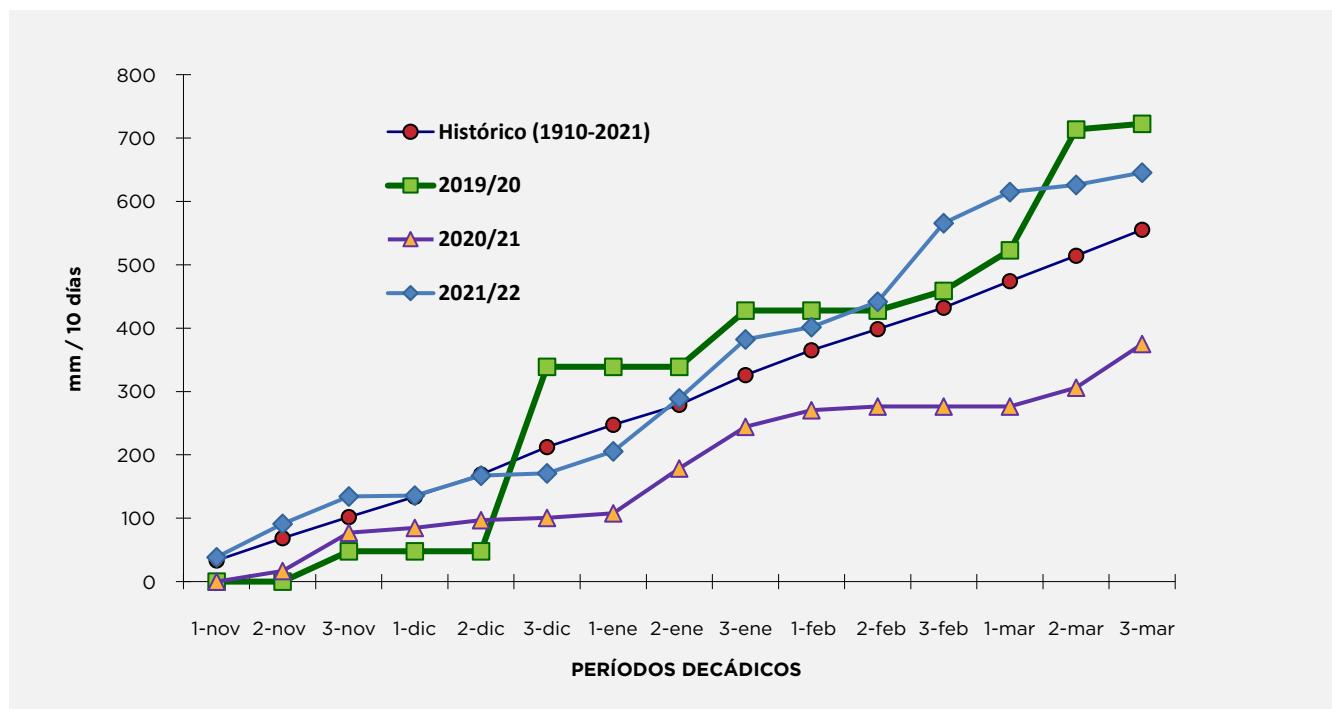


Figura 1: Precipitaciones decádicas del ciclo 2021-22 en comparación con las dos campañas previas y la media histórica. Soja, EEA INTA Pergamino. Agua útil inicial (150 cm) 130 mm. Precipitaciones totales durante el ciclo 645,5 mm.

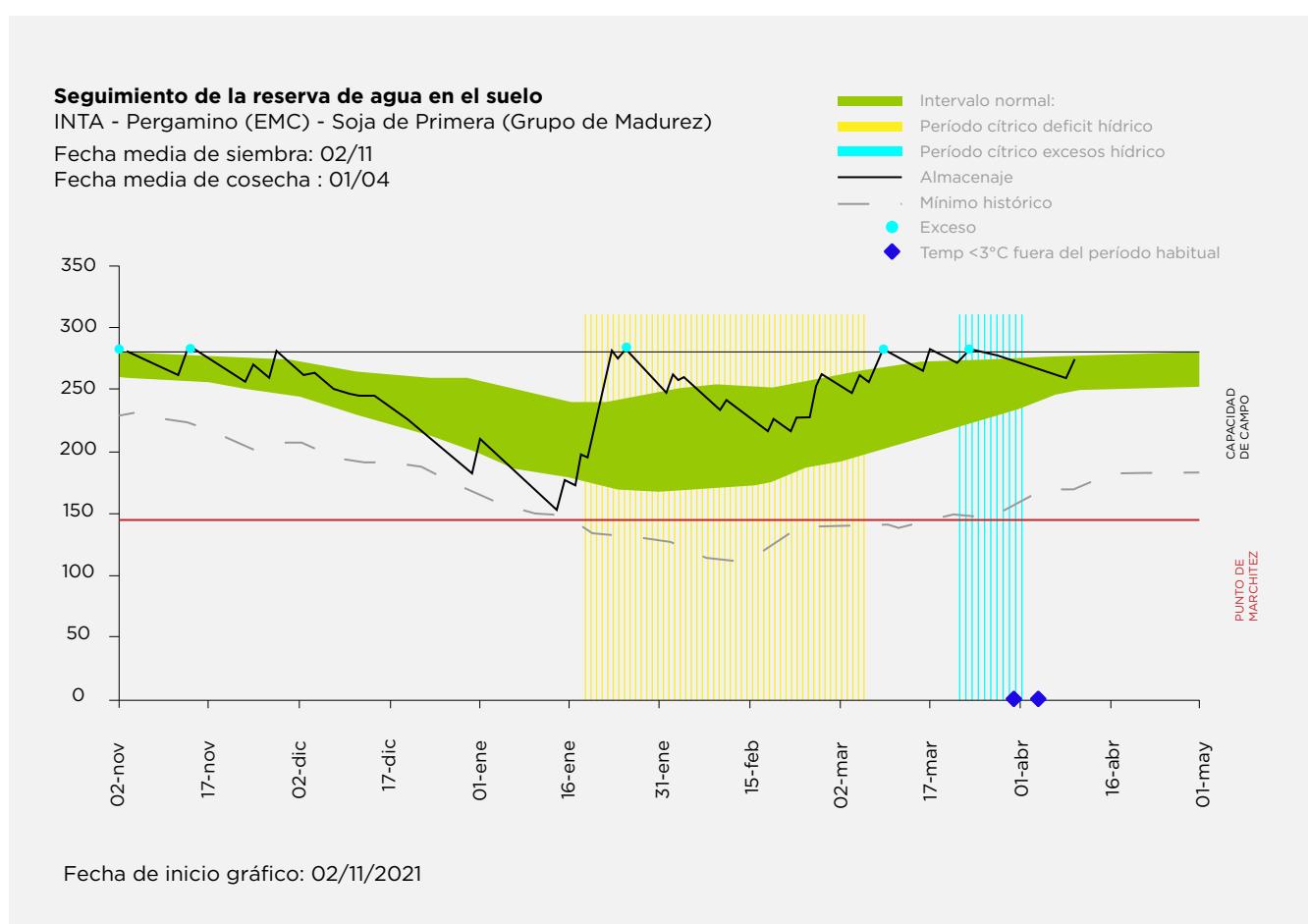


Figura 2: Evolución de la disponibilidad hídrica en el suelo en un cultivo de soja durante la campaña 2021/22. En nivel de almacenaje fue limitado desde el inicio, llegando a valores cercanos al punto de marchite permanente (PMP) a principio de enero. Elaborado por la Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA) a partir de datos de la EEA Pergamino.

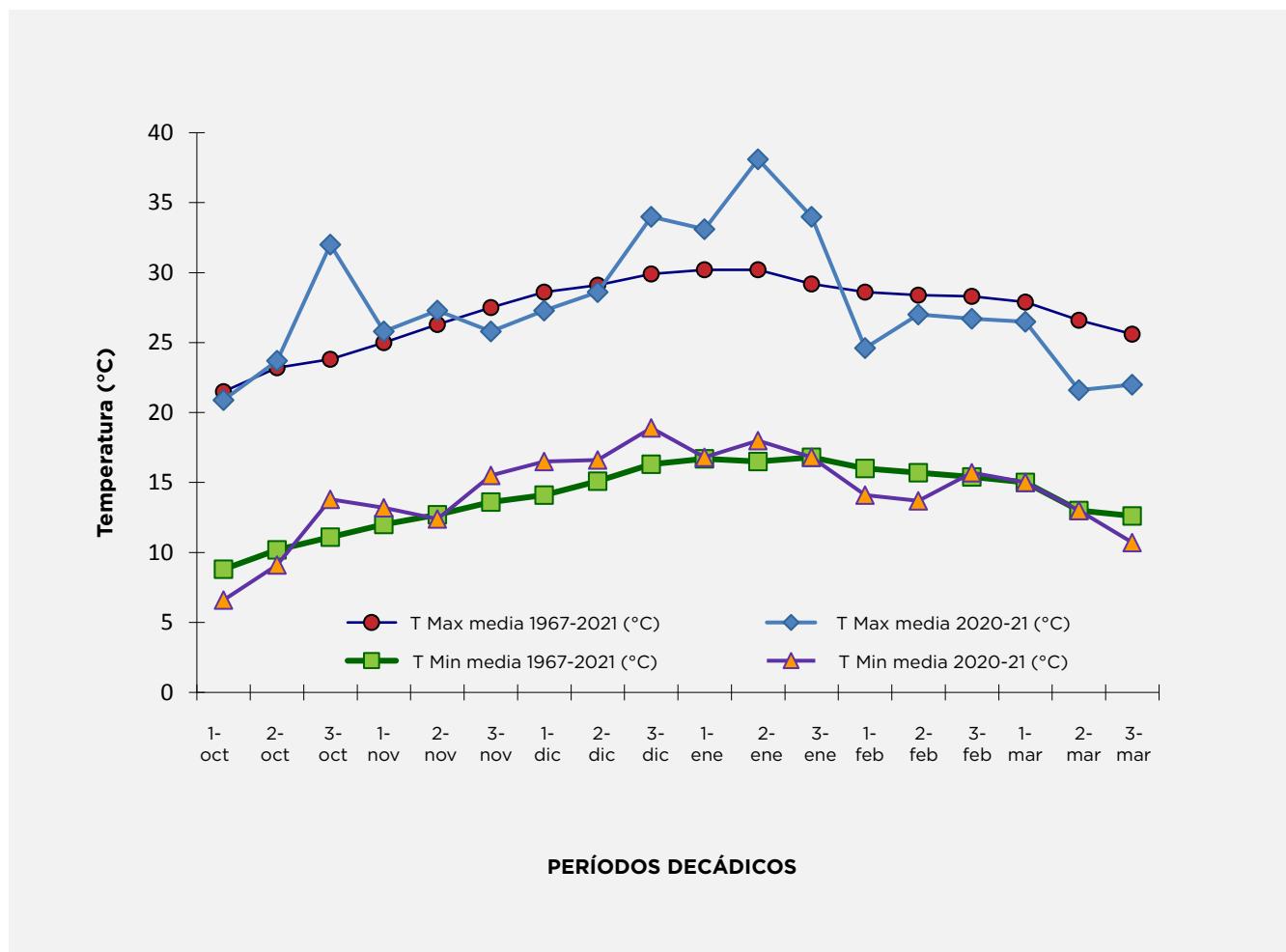


Figura 3: Temperaturas decádicas del ciclo 2021/22, comparadas al valor histórico 1967-2021. La temperatura máxima media fue superior a la histórica en 0,6 °C, y la mínima media inferior en 0,2 °C, determinando mayor amplitud térmica. Datos de la EEA INTA Pergamino.

Resultados de los experimentos

En la Tabla 3 se presenta el rendimiento, sus componentes y otras variables determinadas durante el ciclo de cultivo. Finalmente, en la Figura 4 se ilustran los rendimientos, con sus desvíos y significancia estadística.

Tabla 3: Materia seca en R4, altura de planta (cm), contenido de N estimado por Spad, NDVI por Green seeker, cobertura e intercepción, calificación del vigor, número de nudos y vainas, rendimiento de grano, componentes y respuesta sobre el testigo. Tratamientos de fertilización en soja, al suelo y foliar. Pergamino, campaña 2021/22.

T	Tratamientos	Mseca R4 (kg ha ⁻¹)	Altura de plantas	Spad	Green Seeker R4	Intercepción R4 (%)	Vigor
1	Testigo	3610	108	44,2	0,86	91,3	3,9
2	SPT + SPS	4770	111	42,1	0,87	94,8	4,2
3	SPT + SPS + Mist B	4490	111	41,4	0,85	93,9	4,5
4	SPT + SPS + Mist BLC + Mist BLC	4715	110	43,6	0,87	96,2	4,3
5	SPT + SPS + M BLC + M BLC + M B	4390	107	43,9	0,85	93,8	4,5
R ² vs rend		0,74	0,37	0,41	0,00	0,67	0,68

T	Tratamientos	Nudos planta ⁻¹	Vainas planta ⁻¹	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	NG	PG	Dif vs T1 (kg ha ⁻¹)
1	Testigo	16	44	5197,9	3131,3	166	
2	SPT + SPS	17	53	5765,6	3342,4	173	567,7
3	SPT + SPS + Mist B	18	54	6069,4	3549,4	171	871,5
4	SPT + SPS + Mist BLC + Mist BLC	17	51	5984,5	3551,6	169	786,6
5	SPT + SPS + M BLC + M BLC + M B	17	59	5727,4	3310,7	173	529,5
	R ² vs rend		0,82	0,40		0,93	0,29
	P=				0,02		
	CV(%)				5,7		

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 cómo % de la radiación máxima incidente.

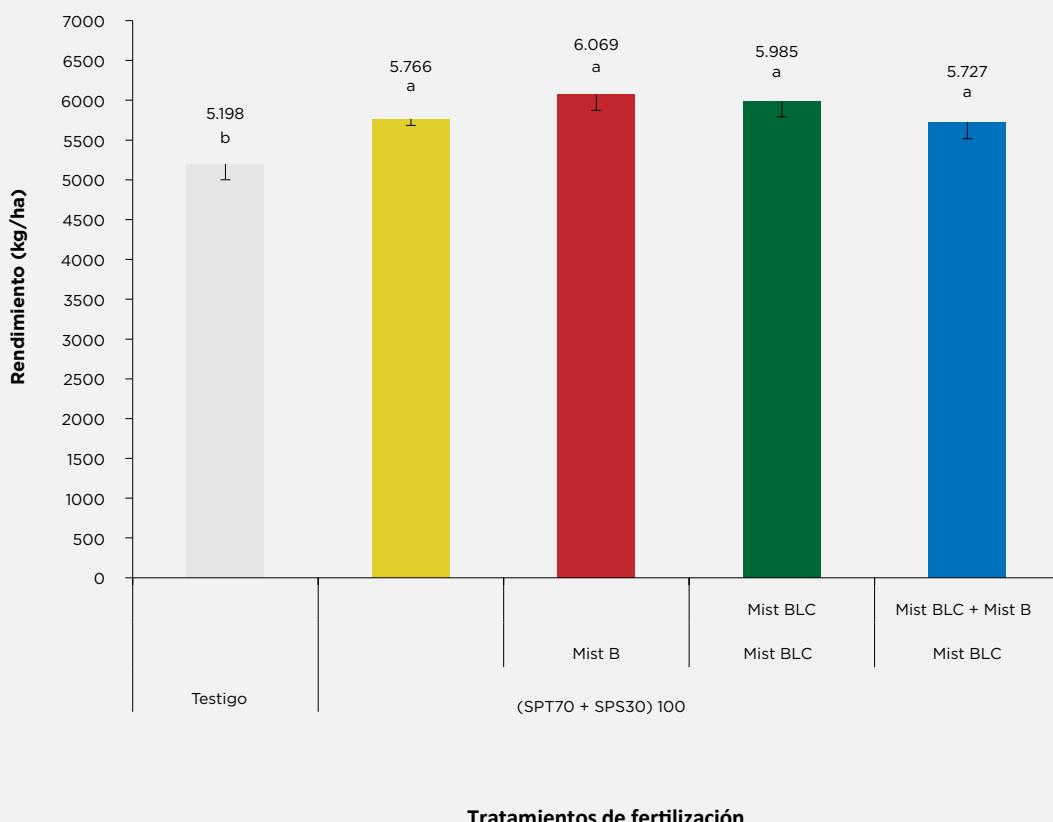


Figura 4: Rendimiento de grano según tratamientos de nutrición al suelo y por vía foliar. Letras distintas sobre las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos (LSD a=0,05, dms=510,8 kg ha⁻¹). Las barras de error señalan la desviación standard de la media. INTA EEA Pergamino, campaña 2021/22.

Discusión y conclusiones:

Las precipitaciones durante la estación de verano 2021/22 fueron escasas, aunque se verificó un período de recomposición de humedad durante la formación de vainas y el llenado de granos, a finales de febrero, y en marzo. Esto permitió una fuerte compensación en los componentes de rendimiento de definición más tardía, como el número de vainas nudo-1, granos vaina-1 y PG. El rendimiento medio del experimento fue muy elevado, alcanzando a 5749 kg ha⁻¹. El potencial de la variedad, el relieve plano y las precipitaciones oportunas explican el rendimiento obtenido (Tabla 3 y Figura 4).

Se determinaron diferencias de rendimiento estadísticamente significativas ($P=0,02$; $cv=5,7\%$) (Tabla 3 y Figura 4). La respuesta obtenida abarcó un rango de 547,6 a 889,6 kg ha⁻¹ (Tabla 3), con un incremento de 218,9 (T4) o 303,8 (T3) kg ha⁻¹ adjudicable a las aplicaciones foliares. El mayor impacto correspondió a la aplicación temprana de boro (T3), un elemento esencial que se podría encontrar en limitada disponibilidad dados los bajos contenidos de materia orgánica del suelo.

Una serie de variables reflejaron efecto de tratamiento. Se destacan especialmente los efectos sobre el nivel de biomasa, intercepción, vigor, número de nudos planta-1 y NG. Las variables con más relación con los rendimientos fueron biomasa en R4 ($r^2=0,74$), intercepción ($r^2=0,67$), la calificación del vigor ($r^2=0,68$), nudos planta-1 ($r^2=0,82$) y NG ($r^2=0,93$).

Los resultados del presente estudio permiten aceptar las hipótesis propuestas. Se determinó un efecto contundente y significativo de la fertilización de base. Los tratamientos foliares complementaron el esquema de fertilización. La aplicación de B en V5 resultaría la de mejor performance. Un tratamiento temprano habría encontrado membranas permeables para su absorción, todos los componentes del rendimiento por definir y preparado a la planta para las altas temperaturas y estrés ambiental que debería afrontar.

APÉNDICE: CONDICIONES DE APLICACIÓN. APÉNDICE: CONDICIONES DE APLICACIÓN.

Tabla 5: Estado del cultivo al momento de la aplicación.

Momento de aplicación	Fecha de aplicación	Estado del cultivo	Altura (cm)	Cobertura (%)
Pergamino V5	23-DIC	V6	60	68
Pergamino R2	07-ENE	R3	95	95

Tabla 6: Condiciones ambientales durante la aplicación.

Momento de aplicación	Humedad de suelo (3-18)	Temperatura aire (°C)	Humedad realtiva (%)	Velocidad viento (km h ⁻¹)	Nubosidad	Ppciones 24 hs dd
Pergamino V5	S	S	27,4	55	6,2 NE	0
Pergamino R2	S	SH	18,8	64	5,0 NE	0

Escala de nubosidad: 0 completamente despejado, 9 completamente cubierto. S: seco. SH: moderadamente seco. H: húmedo. dda: después de aplicación.

Literatura consultada:

- Albrecht, L. P., Albrecht, A. J. P., Braccini, A. L., Lorenzetti, J. B., Danilussi, M. T. Y., & Ávila, M. R. (2020). Avaliação econômica e financeira do uso de biorregulador em soja. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, 13(2), 487-504.
- Boero, L., Calcha, J., Martins, L., Marzetti, M., & Bosco, C. (2019). Evaluación de la respuesta productiva en el cultivo de soja de la utilización de fertilizantes foliares y fitorreguladores en la localidad de Gálvez, Santa Fe. Campaña 2018-2019. Información técnica de cultivos de verano, 36.
- Comiran, A. G., Pereira, C. S., Fiorini, I. V. A., Galdino, P. L. F., Moraga, F. G., & Silva, A. A. (2020). Modes of application with Cobalt and Molybdenum fertilizations in different stages of soybean development and yield of soybean. Scientific Electronic Archives, 13(3), 31-37.

- Conceição, G. M., Cunha, V. D. S., Fipke, G. M., Bruning, L. A., Rossato, A. D. C., & Martin, T. N. (2020). Mineral supplementation of soybean seeds with different initial nutrient levels. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 42.
- Cortese, D., Pierozan Junior, C., Walter, J. B., Cortese, D., & Oliveira, S. M. D. (2019). Enrichment, quality, and productivity of soybean seeds with cobalt and molybdenum applications. *Journal of Seed Science*, 41(2), 144-150.
- de Morais, T. B., Menegaes, J. F., Sanchotene, D., Dorneles, S. B., Melo, A. A., & Swarowsky, A. (2022). Biostimulants Increase Soybean Productivity in the Absence and Presence of Water Deficit in Southern Brazil. *Journal of Agricultural Science*, 14(3).
- do Rosário Rosa, V., Dos Santos, A. L. F., da Silva, A. A., Sab, M. P. V., Germino, G. H., Cardoso, F. B., & de Almeida Silva, M. (2021). Increased soybean tolerance to water deficiency through biostimulant based on fulvic acids and *Ascophyllum nodosum* (L.) seaweed extract. *Plant Physiology and Biochemistry*, 158, 228-243.
- dos Santos, L. P., Barbacena, D. R., Gonçalves, R. C., NASCIMENTO, C. A. C., de Castro Carvalho, F. L., França, L. C., & Adorian, G. C. (2020). Aplicação de bioestimulante e complexo de nutrientes no tratamento de sementes de soja. *Agri-environmental sciences*, 6, 8-8.
- Ferrazza, F. L. F., Jacoboski, D. T. K., Figueiro, A. G., Borges, G. T., Udich, A., Samborski, T., & Paraginski, R. T. (2020). Efeitos do tratamento de sementes com micronutrientes em soja de alto e baixo vigor/Effects of treatment of micronutrient seeds in high and low-effect soybean. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 3(1), 218-224.
- Ferreira, L. L., Amaral, U., Turati, G. L., Carvalho, I. R., Silva, R. V., Santos, N. S. C., ... & Curvêlo, C. R. S. (2022). Agronomic performance of soybean genotypes supplemented with micronutrients via leaf. *Agronomy Science and Biotechnology*, 8, 1-14.
- Furtado, E. B., da Rosa Dorneles, K., & Dallagnol, L. J. (2020). Ação curativa e protetora de compostos orgânicos e inorgânicos no controle de *Microsphaera diffusa* em soja. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 19(1), 104-108.
- Galdino, P. L. G., Pereira, C. S., Fiorini, I. V. A., Moraga, F. G., Comiran, A. G., & Silva, A. A. (2020). Cobalt and Molybdenum applied via leaf in the growth vegetative and yield of soybean. *Scientific Electronic Archives*, 13(4), 51-59.
- Hanwate, G. R., Giri, S. N., & Narale, S. (2019). Effect of seed fortification with Mo and foliar application of micronutrients on nutrient uptake by soybean crop. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(1), 1626-1629.
- Klein, C., Ferraz, A., Davi, A. L., & Kafer, J. (2019). Severidade de ódio e ferrugem asiática da soja submetida à fosfato de cobre. *Seminário de Iniciação Científica, Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão e Mostra Universitária*, e21602-e21602.
- Llanes, A., Iparraguirre, J., Masciarelli, O., Maria, N., & Luna, M. V. (2019). Foliar application of phytohormones enhances growth of maize and soybean seedlings. *Ediciones INTA*.
- Meyer, F. R., ORIOLI, V., Bernardes, J. V. S., & COELHO, V. P. D. M. (2021). FOLIAR SPRAYING OF A SEAWEED-BASED BIOSTIMULANT IN SOYBEAN. *Revista Caatinga*, 34, 99-107.
- Passos, M. L. V., Souza, J. B. C., Silva, E. A., Silva, C. A. A. C., Sousa, W. S., & Almeida, E. I. B. (2020). Digital processing of leaf area of soybeans, subjected to different treatments of seeds. *Scientific Electronic Archives*, 13(3), 24-30.
- Rosa, C. P., Kunz, D. W., Leite, J. F., Back, P. I. K., Grellmann, D. K., & Guerra, D. (2019, May). Produtividade da soja conduzida com produtos alternativos no controle de pragas e doenças. In IX SIEPEX-IX Salão Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão.
- Segovia, S. (2021). Creating a blue ocean strategy for a biostimulants company. Doctoral dissertation. Kansas State University. <https://krex.k-state.edu/dspace/>.
- Traspadini, E. I., Wadt, P. G., PRADO, R. D. M., ROQUE, C., WASSOLOWSKI, C., & PEREZ, D. (2022). Efficiency of critical level and compositional nutrient diagnosis methods to evaluate boron nutritional status in soybean. Embrapa report.
- Treter, R. J., Carvalho, I. R., Hutra, D. J., Loro, M. V., Cavinatto, M., Lautenschleger, F., & Sfalcin, I. C. (2022). Symptoms and interrelationships of macro and micronutrients available for soybean. *Agronomy Science and Biotechnology*, 8, 1-15.
- Veneziano, V. M., Rodrigues, C. R., Soffiatti, J. M., Araujo Neto, F. R. D., Alves, G. B., Dias, P. D. C., ... & Trindade, P. R. (2022). Is foliar fertilization essential for high soybean yields?. *Journal of Plant Nutrition*, 45(9), 1322-1335.
- Wozniak, E., Blaszczak, A., Wiatrak, P., & Canady, M. (2020). Biostimulant Mode of Action: Impact of Biostimulant on Whole-Plant Level. *The Chemical Biology of Plant Biostimulants*.



Administración y Ventas:
Centenario Uruguayo 957 Lanús Este,
Provincia de Buenos Aires

Planta Productora:
Parque Industrial Benito Juárez.

Teléfono:
(+54) (11) 4230.2507
(+54) (11) 4058.3319