

TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS, FERTILIZACIÓN Y BIOESTIMULACIÓN SOBRE AREA FOLIAR DE MAÍZ

BIOLOGICAL INPUTS, FERTILIZATION AND FOLIAR BIOSTIMULATION IN MAIZE

INTA EEA PERGAMINO
CAMPAÑA 2024/25

Ings. Agrs. Gustavo N. Ferraris⁽¹⁾ & Manuel Suárez⁽²⁾

1.INTA EEA Pergamino.Av Frondizi km 4,5 (B2700WAA) Pergamino. 2.Agauxine LATAM

ferraris.gustavo@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

Los tratamientos biológicos foliares en maíz consisten en la aplicación de microorganismos benéficos, metabolitos secundarios o extractos vegetales sobre el follaje con el objetivo de mejorar el desarrollo del cultivo y su resistencia a factores bióticos y abióticos. Entre los organismos más utilizados se encuentran bacterias promotoras del crecimiento (PGPR), así como hongos antagonistas como *Trichoderma spp.* Estos tratamientos pueden inducir respuestas sistémicas en la planta, mejorando la absorción de nutrientes, estimulando la síntesis de fitohormonas y fortaleciendo los mecanismos de defensa contra patógenos.

Los efectos beneficiosos de estas aplicaciones se traducen en un incremento del rendimiento y la calidad del grano, además de una mayor tolerancia al estrés hídrico y térmico. Se ha observado que la utilización de bioinsumos foliares puede reducir la incidencia de enfermedades fúngicas y bacterianas al competir por espacio y nutrientes con los patógenos, así como activar compuestos antimicrobianos en el tejido vegetal.

Por otra parte, los bioestimulantes son sustancias que, cuando se aplican a plantas o microorganismos, promueven el crecimiento, el desarrollo y la tolerancia al estrés. Los extractos de algas, derivados de varias especies, contienen una amplia variedad de compuestos bioactivos que exhiben diversos efectos fisiológicos. Engloban una amplia gama de sustancias, como ácidos húmicos y fúlvicos, aminoácidos, péptidos, extractos de algas y productos basados en microorganismos. A ello se pueden agregar microelementos de importancia regional, como zinc (Zn), boro (B), hierro (Fe), entre otros.

Esta investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de fijadores biológicos, Zn nanoparticulado, fertilizantes foliares complejos y bioestimulantes sobre el rendimiento de maíz. Hipotetizamos que 1. Los tratamientos aplicados incrementan los rendimientos mediante la promoción de crecimiento, mejora en la absorción de N y la determinación de los componentes numéricos. 2. Es posible identificar la fuente, combinación y momento de aplicación de mejor comportamiento agronómico.

Palabras clave: maíz, microbiología, fijación de nitrógeno, nanopartículas, zinc foliar, bioestimulación, fisiología, interacciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el ciclo 2024/25 se condujo un experimento de campo en la localidad de Colón, sobre un suelo Serie Rojas, Clase I, Argiudol típico, familia fina, illítica, térmica (USDA- Soil Taxonomy V. 2006). El ensayo se sembró en fecha de siembra tardía, el día 25 de Noviembre. Fue espaciado a 0,525 m entre hileras, logrando una densidad de 65000 pl ha⁻¹. El cultivar sembrado fue Dk 7210 Pro4.

El experimento se sembró en fecha de siembra temprana. Todos los sitios fueron fertilizados con 100 kg MAP ha⁻¹ localizado a la siembra y 100 kg sulfato de calcio ha⁻¹ en cobertura total a la siembra. El cultivo se mantuvo libre de malezas, plagas y enfermedades. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con 4 repeticiones. La descripción de los tratamientos en la Tabla 1, y el análisis de suelo de los sitios en la Tabla 2.

Tabla 1: *Tratamientos de nutrición sobre canopeo de maíz. INTA Pergamino, campaña 2024/25.*

Tratamiento	Fertilización de base	Tratamientos	Dosis (ml o g ha ⁻¹)	Estado
T1	Urea 200 kg	Testigo		
T2		Folimax	2000	foliar V6
T3		Folimax + Ácido Giberélico	2000 + 5	foliar V6
T4		NitroSmart + Folimax	500 + 1000	foliar V6
T5		MultiNano	500	foliar V6
T6		Nano Zn	200	foliar V6
T7		Algas	500	foliar V6
T8		Algas	1000	foliar V6
T9	Urea 120 kg	Testigo	100	foliar V6
T10		Multinano	500	foliar V6
T11		Mist N	3000	foliar V6
T12		NitroSmart + Folimax	500 + 1000	foliar V6
T13		Gluconacetobacter	500	foliar V6
T14		Utrisha-N	333	foliar V6

Tabla 2: *Datos de suelo al momento de la siembra.*

Prof	Materia Orgánica	N total	Fósforo extractable	pH	N-Nitratos suelo 0-60 (diciembre)	S-Sulfatos suelo	Agua en suelo
	%	%	mg kg ⁻¹	agua 1:2,5	kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	150 cm - siembra
Pergam	3,1	0,155	14,6	5,8	88,18	11,1	105 mm
0-20 cm	alto	alto	bajo	ácido	muy alto	alto	bajo
Prof	Potasio	Calcio	Magnesio	Zinc	Boro	Mn	Hierro
				mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
Pergam	537	2152	287	0,98	0,47	61,2	138,1
0-20 cm	muy alto	muy alto	alto	medio	medio	muy alto	muy alto

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 boquillas a 50 cm y pastillas de cono hueco 80015 que a una presión de 3 kg permiten asperjar 100 l ha⁻¹.

Para monitorear el efecto de los tratamientos, en V9 se midió el NDVI por Green seeker y el contenido de N mediante una lectura adimensional no destructiva con el medidor de clorofila Minolta Spad 502. En antesis (R1) se cuantificó biomasa aérea, la interceptación de radiación mediante un radiómetro lineal. Se calificó el vigor y determinó la altura final de plantas.

A cosecha de determinaron el número de plantas sin espigas y los componentes del rendimiento, número de espigas m⁻² (NE), granos espiga⁻¹ (GE), número granos m⁻² (NG) y peso (PGx1000) de los granos. 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, comparaciones de medias y análisis de regresión.

RESULTADOS

A) Condiciones ambientales de la campaña.

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones del sitio experimental durante el ciclo de cultivo. En la Figura 2 se describen las temperaturas máximas y mínimas con relación a la media histórica. A la siembra del experimento, el almacenaje inicial fue escaso (102 mm), mayormente localizada en el metro superior. El retorno de un episodio La Niña significó una vuelta a condiciones de sequía muy pronunciada en diciembre y enero, retornando las precipitaciones recién en febrero (Figura 1). El cultivo ya estaba en floración, pero las lluvias desde febrero fueron muy abundantes permitiendo un cambio muy grande en el balance hídrico. La humedad alcanzó para obtener un normal número de granos, pero se observó un incremento rotundo en el peso (Figura 1). Las temperaturas fueron muy elevadas hacia finales de enero (Figura 2), aunque no se

observaron fallas de granazón ni efectos de golpe de calor. Retomadas las lluvias, se mantuvieron en un rango de normalidad. El balance hídrico refleja de manera ajustada esta dinámica (Figura 3).

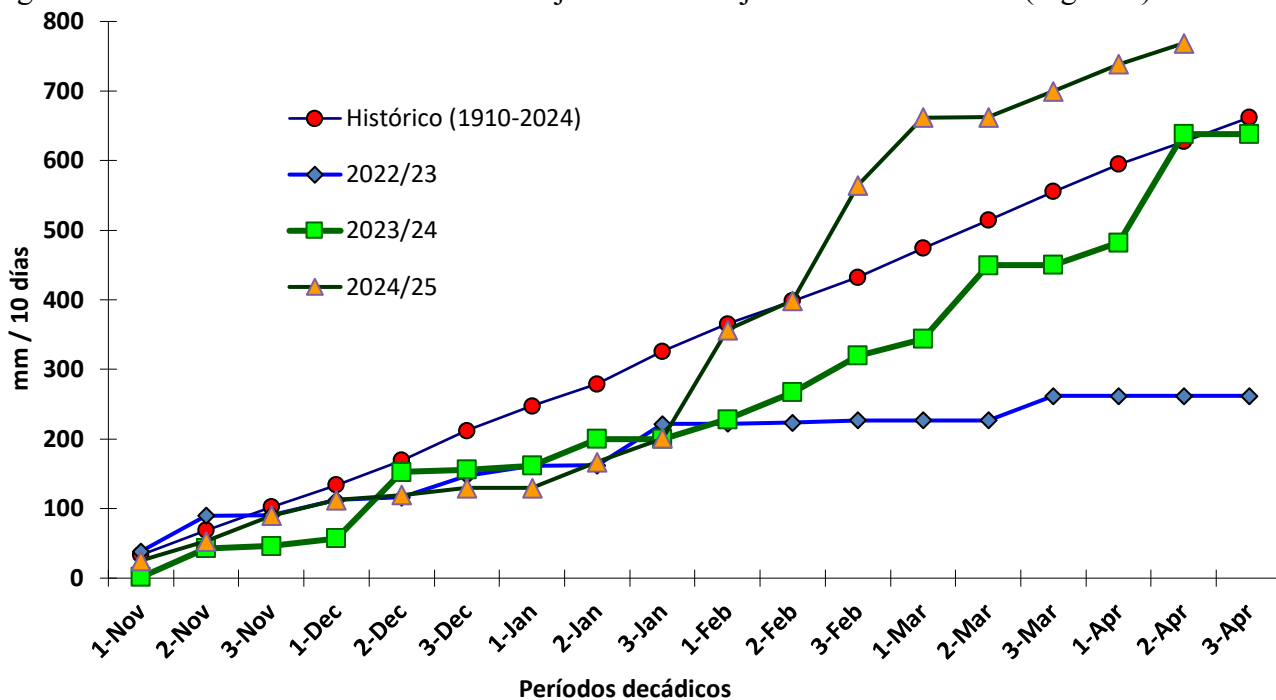


Figura 1: Precipitaciones decádicas del ciclo 2024-25 en comparación con las dos campañas previas y la media histórica. Soja, EEA INTA Pergamino. Agua útil inicial (150 cm) 102 mm. Precipitaciones totales durante el ciclo 769 mm.

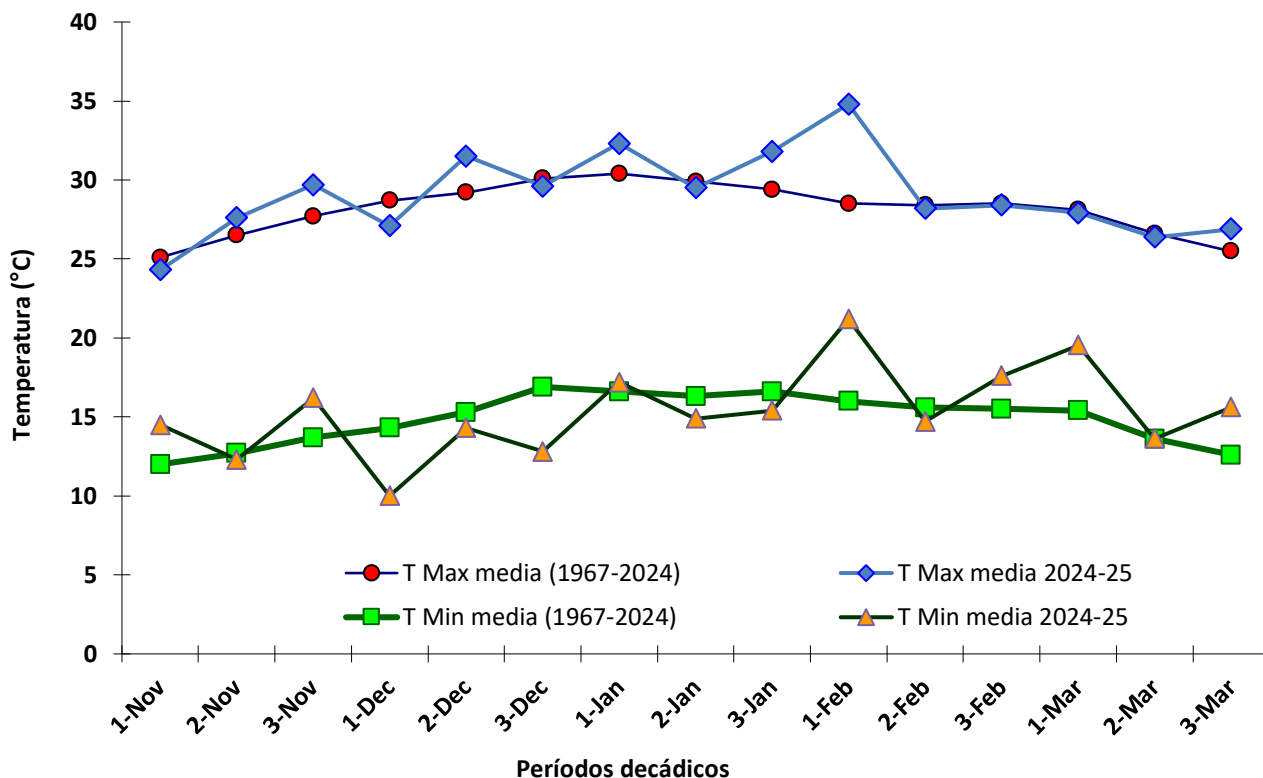


Figura 2: Temperaturas decádicas del ciclo 2024/25, comparadas al valor histórico 1967-2024. La temperatura máxima media fue superior a la histórica en 0,6 °C, y la mínima media superior en 0,4 °C, determinando mayor amplitud térmica. Datos de la EEA INTA Pergamino.

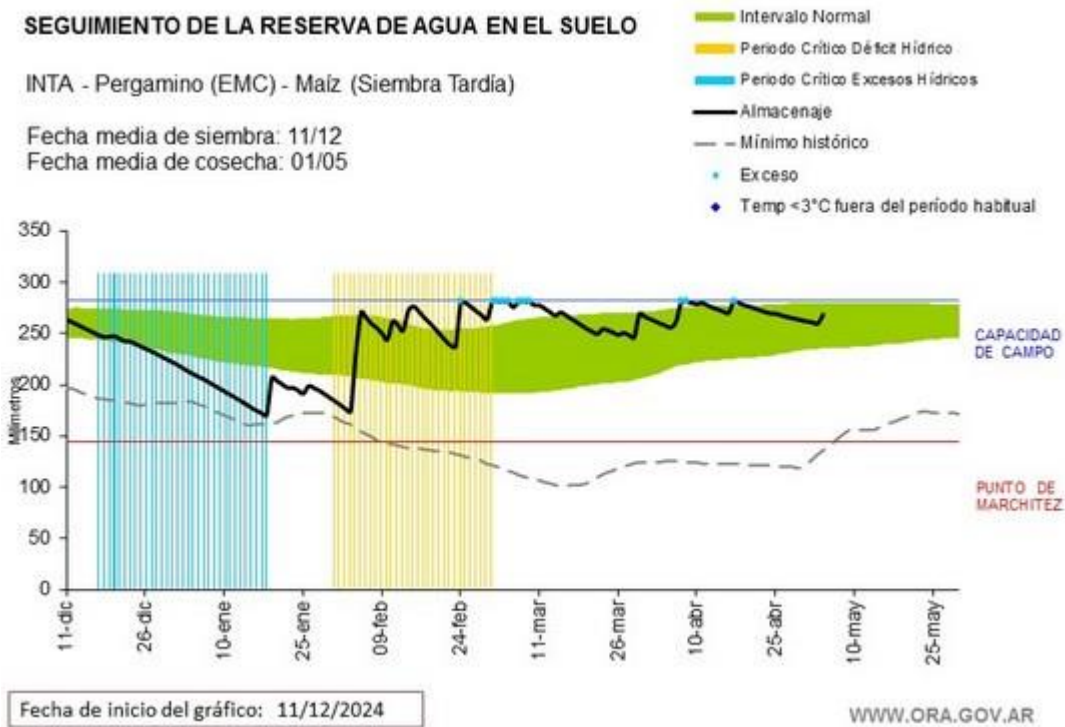


Figura 3: Balance hídrico en el sitio experimental, para maíz de siembra tardía. INTA Pergamino, Campaña 2024/25.

B) Resultados de los experimentos.

En la Tabla 3 se presentan datos de observaciones tomadas durante el ciclo de cultivo, mientras que en la Figura 4 se ilustran los rendimientos de grano agrupados por tratamiento.

Tabla 3: Parámetros morfológicos y componentes de rendimiento: Materia seca en R1, altura final de plantas, calificación de vigor, intensidad de verde determinado mediante Spad y NDVI por Green seeker, intercepción de radiación, fracción de plantas débiles y estériles, rendimiento y sus componentes numéricos: espigas m^{-2} (NE), granos espiga $^{-1}$ (GE), número granos m^{-2} (NG) y peso (PGx1000) de los granos. **Tratamientos de fertilización foliar y bioestimulación en maíz tardío.** Colón, campaña 2024/25.

Tr	Descripción	M Seca R1 (kg há $^{-1}$)	Altura planta (cm)	Vigor R1 (1-5)	Spad R1	NDVI (Green seeker)	Intercepción R1 (%)
T1	U200 Testigo	1199	246	3,3	48,6	0,72	82,8
T2	U200 Folimax	1467	247	3,3	50,5	0,77	87,5
T3	U200 Folimax + AG	1208	252	3,2	50,6	0,77	83,8
T4	U200 NSmart + Fmax	1308	251	3,4	50,7	0,76	87,9
T5	U200 MultiNano	1480	253	3,7	50,5	0,78	88,2
T6	U200 Nano Zn	1242	253	3,5	51,2	0,76	86,2
T7	U200 Algas 500	1600	253	3,3	48,7	0,76	85,8
T8	U200 Algas 1000	1167	254	3,4	49,4	0,78	87,5
T9	U120 - Testigo	1146	253	3,0	49,6	0,76	85,7
T10	U120 Multinano	1270	254	3,5	50,4	0,77	86,3
T11	U120 Mist N	1446	255	3,4	47,4	0,77	86,9
T12	U120 NSmart + Fmax	1543	256	3,7	50,0	0,78	87,3
T13	U120 Gluc cetobacter	1267	254	3,5	49,7	0,77	87,8
T14	U120 Utrisha-N	1316	258	3,7	50,5	0,77	86,5
R² vs rendimiento		0,12	0,01	0,23	0,08	0,05	0,08
Tr	Descripción	Pl. débiles (%)	NE	GE	NG	PGx1000	Rendim (kg ha $^{-1}$)
T1	U200 Testigo	1	6,0	509,3	3250,3	383	12256,4
T2	U200 Folimax	0	5,8	509,4	3019,7	389	12018,8
T3	U200 Folimax + AG	0	5,6	615,7	3232,3	388	12669,5
T4	U200 NSmart + Fmax	0	6,4	526,0	3349,5	391	13655,5
T5	U200 MultiNano	1	5,8	574,0	3443,8	390	13042,1
T6	U200 Nano Zn	0	5,6	535,3	3177,9	386	12211,2
T7	U200 Algas 500	0	6,4	495,9	3135,7	389	12566,4
T8	U200 Algas 1000	0	5,6	583,9	3276,8	389	12713,1
T9	U120 - Testigo	1	6,2	494,3	2928,6	387	11166,9
T10	U120 Multinano	0	6,6	450,1	3208,6	389	12692,1
T11	U120 Mist N	0	6,4	511,8	3070,8	387	12511,0
T12	U120 NSmart + Fmax	0	6,4	568,5	3373,7	390	13816,4
T13	U120 Gluc cetobacter	1	5,8	492,1	2952,5	393	12495,5
T14	U120 Utrisha-N	0	6,2	498,0	3167,7	391	12883,6
R² vs rendimiento		0,12	0,00	0,26	0,74	0,13	
Sign. Est (P=)							0,0002
CV (%)							4,95 %

Índice de Vigor: 1 mínimo 5-máximo

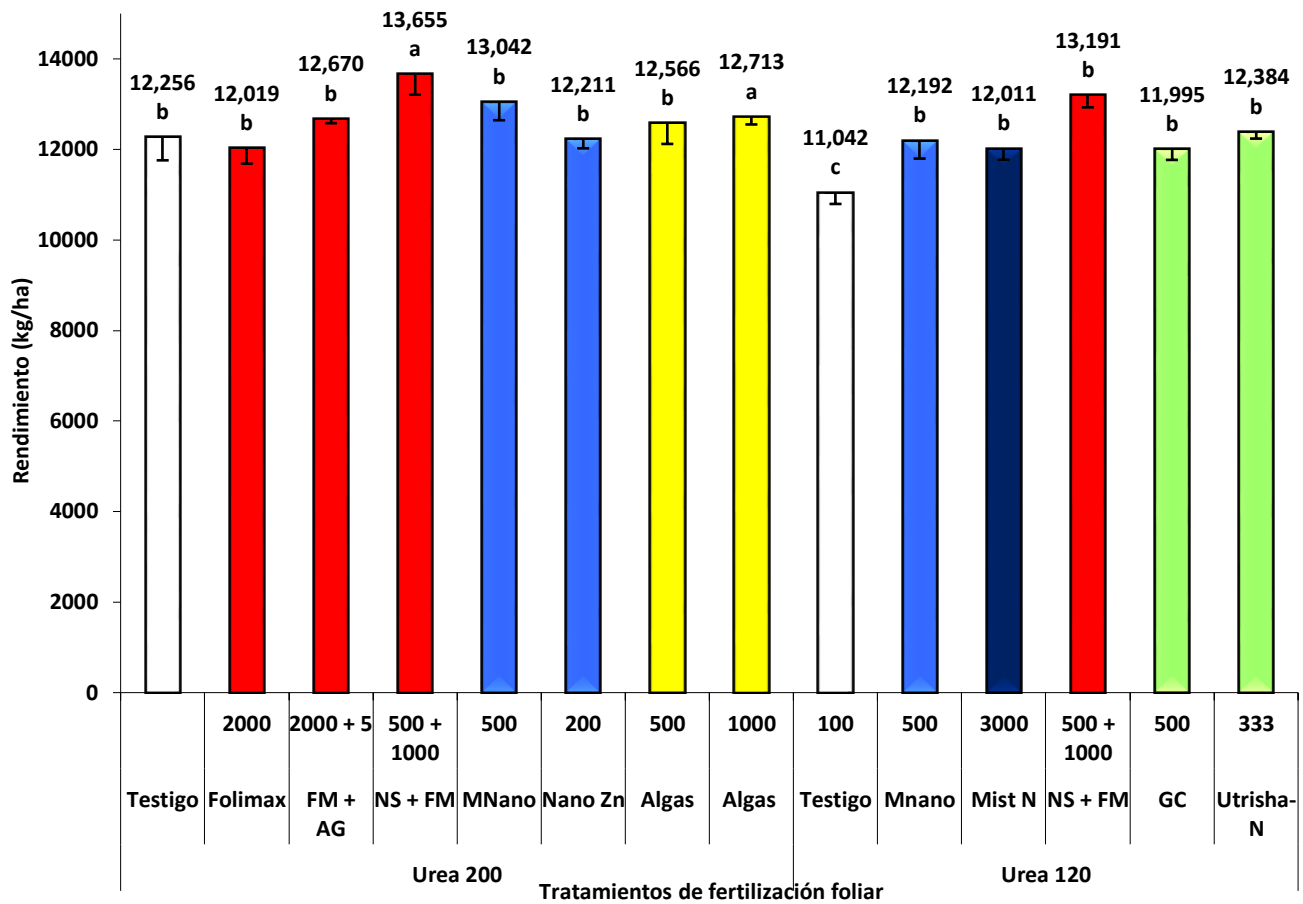


Figura 4: Rendimiento de maíz según tratamientos de fertilización foliar, biológica y bioestimulación sobre canopeo. Localidad de Colón. Letras distintas sobre las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos ($DCG \alpha=0,05$, $dms 939 \text{ kg ha}^{-1}$). Las barras de error indican la desviación standard de la media.

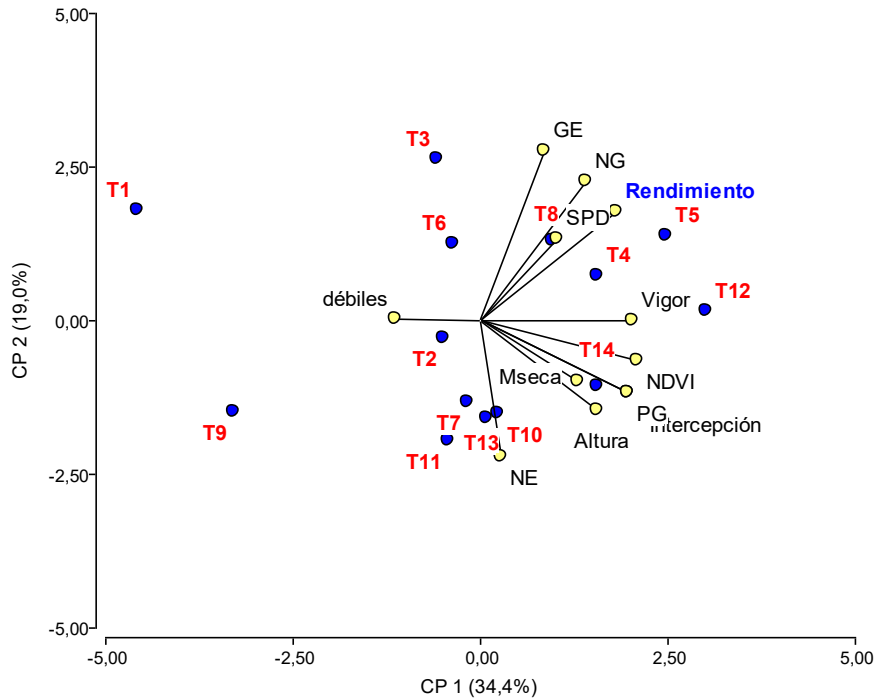


Figura 5: Relación entre variables y tratamientos mediante un análisis gráfico multivariado de componentes principales.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los rendimientos alcanzaron una media de $12424,9 \text{ kg ha}^{-1}$ representando un ambiente favorable, mucho más competitivo que la siembra temprana (Tabla 2). El ciclo comenzó con escasas reservas. El cultivo acusó el impacto de la sequía durante la primera parte del período crítico, con una biomasa y altura contenidas, y espigas medianas. Por el contrario, la granazón completa de la espiga y el peso de los granos

fueron excepcionales. El sitio experimental presentó una fertilidad típica de la zona, con procesos de acidificación, reducción de los niveles de fósforo (P), y valores medios en la disponibilidad de zinc y boro (Tabla 2).

Los rendimientos presentaron diferencias significativas ($P=0,0002$; $cv=4,95$ %) (Tabla 3). Los tratamientos de mejor comportamiento fueron, en ambos niveles de fertilización, la combinación de NitroSmart con Folimax (T4, T12), pero sólo en conjunto con Urea 200 (T4) se alcanzó el rendimiento máximo (Figura 4). La diferencia por nivel de N fue de $1214,5 \text{ kg ha}^{-1}$. En baja fertilización, Mist-N, Gluconacetobacter y Utrisha-N fueron favorables. Multinano nutrientes permitieron incrementos interesantes, cualquiera fuese la fertilización de base.

Un análisis gráfico multivariado de componentes principales muestra que el eje “x” capturó un 34,4 % de la variación estando asociado principalmente a los tratamientos, mientras que el eje “y” determinó 19,0 % discriminando tratamientos y variables (Figura 5). Los puntos amarillos y autovectores representan las variables, y los puntos azules los cultivares. Cuanto más agudo es el ángulo entre 2 vectores, más fuerte es la asociación positiva entre las variables que representan. La longitud del vector está asociada con la desviación standard de la variable: Cuando las longitudes de los vectores son equivalentes el gráfico sugiere contribuciones similares de las variables que representan. Los rendimientos presentaron una asociación positiva bien ajustada con NG, GE, menos robusta con Spad y con menor asociación con vigor. T4 y T5 fueron las variables con mejor correspondencia a este comportamiento, ambos con alta productividad (Figura 5).

Los resultados obtenidos permiten aceptar las hipótesis propuestas. El experimento logró discriminar niveles de producción, asociados a cambios en la fertilización de base y los tratamientos foliares. En algunos casos, la suma de tratamientos mostró resultados muy favorables, como es el caso de NitroSmart + Folimax, y en menor medida Folimax + ácido giberélico. Los bioestimulantes, compuestos biológicos y fertilizantes conteniendo macro y micronutrientes no son compartimentos estancos. En muchos casos cumplen funciones complementarias, y es posible que sumados generen interacciones positivas sobre los cultivos.

Tabla 4: Estado del cultivo al momento de la aplicación.

Momento de aplicación	Fecha de aplicación	Estado del cultivo	Altura (cm)	Cobertura (%)
V6	28-dic	V6	50	78

Tabla 5: Condiciones ambientales durante la aplicación.

hora de aplicación	Humedad de suelo (0-2 cm)	Humedad de suelo (3-18 cm)	Temperatura aire (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad viento (km h^{-1})	Nubosidad	Ppciones 24 hs dda
9,00 hs	S	S	20,5	65	SE 6,9	0	0

Escala de nubosidad: 0 completamente despejado, 9 completamente cubierto
dda: después de aplicación.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Abedi, T., Gavanji, S., & Mojiri, A. (2022). Lead and zinc uptake and toxicity in maize and their management. *Plants*, 11(15), 1922.
- Achiri, D. T., Nnode, E. E., Mbeboh, M. N., Ngone, M. A., Ndzeshala, S. D., Ruppel, S., ... & Ngosong, C. (2025). Bio-inoculant consortium and organic amendment comprising plant bioactive extract increased maize yield by improving soil nutrient availability and mitigating pest damage. *Plant and Soil*, 1-16.
- Ariraman, R., Selvakumar, S., Mansingh, M., Karthikeyan, M., & Vasline, Y. A. (2022). Effect of Zinc Application on Growth, Yield Parameters, Nutrient Uptake, Yield and Economics of Maize. *Agricultural Reviews*, 43(1), 104-109.
- Ceccarini, C., Antognoni, F., Biondi, S., Fraternali, A., Verardo, G., Gorassini, A., & Scoccianti, V. (2019). Polyphenol-enriched spelt husk extracts improve growth and stress-related biochemical parameters under moderate salt stress in maize plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 141, 95-104.
- Chiaiese, P., Corrado, G., Colla, G., Kyriacou, M. C., & Roupheal, Y. (2018). Renewable sources of plant biostimulation: microalgae as a sustainable means to improve crop performance. *Frontiers in plant science*, 9, 1782.
- Franzoni, G., Cocetta, G., Prinsi, B., Ferrante, A., & Espen, L. (2022). Biostimulants on Crops: Their Impact under Abiotic Stress Conditions. *Horticulturae*, 8(3), 189.
- Gajula, P., Dhillon, J., Sharma, R. K., Bryant, C., Bheemanahalli, R., Reed, V., & Larson, E. (2025). Evaluating the impact of biostimulants at variable nitrogen rates in corn production. *European Journal of Agronomy*, 167, 127554.
- García-Sánchez, F., Simón-Grao, S., Navarro-Pérez, V., & Alfosea-Simón, M. (2022). Scientific Advances in Biostimulation Reported in the 5th Biostimulant World Congress. *Horticulturae*, 8(7), 665.
- González-Morales, S., Cárdenas-Atayde, P. A., Garza-Alonso, C. A., Robledo-Olivo, A., & Benavides-Mendoza, A. (2022). Plant biostimulation with nanomaterials: a physiological and molecular standpoint. In *Inorganic Nanopesticides and*

Nanofertilizers: A View from the Mechanisms of Action to Field Applications (pp. 153-185). Cham: Springer International Publishing.

González-Morales, S., Solís-Gaona, S., Valdés-Caballero, M. V., Juárez-Maldonado, A., Loredó-Treviño, A., & Benavides-Mendoza, A. (2021). Transcriptomics of biostimulation of plants under abiotic stress. *Frontiers in Genetics*, 12.

Hafez, E. M., Osman, H. S., Gowayed, S. M., Okasha, S. A., Omara, A. E. D., Sami, R., ... & Abd El-Razek, U. A. (2021). Minimizing the adversely impacts of water deficit and soil salinity on maize growth and productivity in response to the application of plant growth-promoting rhizobacteria and silica nanoparticles. *Agronomy*, 11(4), 676.

Hejazi Mahabadi, S., Shorafa, M., Moteszarezhadeh, B., & Etesami, H. (2025). Mitigating soil compaction and enhancing corn (*Zea mays* L.) growth through biological and non-biological amendments. *BMC Plant Biology*, 25(1), 74.

Liakas, V., Marcinkevičienė, A., Rudinskienė, A., & Steponavičienė, V. (2025). Effects of Different Rates of Nitrogen Fertilisation and Biological Preparations to Increase Nitrogen Use Efficiency on Yield Structure Elements in Maize. *Agronomy*, 15(2), 289.

Liu, L., Nian, H., & Lian, T. (2022). Plants and rhizospheric environment: Affected by zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs). A review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 185, 91-100.

Lozowicka, B., Iwaniuk, P., Konecki, R., Kaczynski, P., Kuldybayev, N., & Dutbayev, Y. (2022). Impact of diversified chemical and biostimulator protection on yield, health status, mycotoxin level, and economic profitability in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivation. *Agronomy*, 12(2), 258.

Noein, B., & Soleymani, A. (2022). Corn (*Zea mays* L.) physiology and yield affected by plant growth regulators under drought stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(2), 672-681.

Nurbek, K., & Elmurod, U. (2024). Formation of the corn root system depending on the norms of mineral fertilizers and biostimulants. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 30(3), 482-485.

Quille, P., Kacprzyk, J., O'Connell, S., & Ng, C. K. (2025). Reducing fertiliser inputs: plant biostimulants as an emerging strategy to improve nutrient use efficiency. *Discover Sustainability*, 6(1), 128.

Stasińska-Jakubas, M., & Hawrylak-Nowak, B. (2022). Protective, biostimulating, and eliciting effects of chitosan and its derivatives on crop plants. *Molecules*, 27(9), 2801.

Ssemugenze, B., Ocwa, A., Kuunya, R., Gumisirriya, C., Bojtor, C., Nagy, J., ... & Illés, Á. (2025). Enhancing Maize Production Through Timely Nutrient Supply: The Role of Foliar Fertiliser Application. *Agronomy*, 15(1), 176.

Teklić, T., Parađiković, N., Špoljarević, M., Zeljković, S., Lončarić, Z., & Lisjak, M. (2021). Linking abiotic stress, plant metabolites, biostimulants and functional food. *Annals of Applied Biology*, 178(2), 169-191.