



NUEVAS TECNOLOGÍAS de nutrición sobre semilla y de aplicación foliar en MAÍZ.

*NOVEL Technologies for
Maize Nutrition.*

INTA EEA Pergamino
Campaña 2022/23

Ing. Agr. (MSc) Gustavo N. Ferraris
1.INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4,5 (B2700WAA) Pergamino
ferraris.gustavo@inta.gob.ar

Introducción:

El cultivo de maíz es el “paraíso” de la innovación, para el cual se desarrollan y prueban la mayor parte de las tecnologías emergentes con impacto en los rendimientos. Existe una variedad de nuevas herramientas para la fertilización, con el objetivo de mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, reducir el impacto ambiental y optimizar la productividad. La adopción de estas tecnologías requiere una comprensión precisa de las necesidades nutricionales, la adaptación a las condiciones locales y la consideración de aspectos económicos y ambientales. Estas tecnologías incluyen tratamientos para contrarrestar pérdidas y mejorar la eficiencia de absorción de fósforo (P) y nitrógeno (N), bioestimulantes, micronutrientes e insumos biológicos. Nutrición, promoción de crecimiento, tolerancia a estrés biótico y contribución a la tolerancia de residuos en suelo son algunas de las vías de mejora de estos modernos acompañantes de los insumos tradicionales. Sin embargo, restan muchos aspectos por dilucidar. Entre ellos, la selección de formulaciones, alternativas y dosis de aplicación, y la interacción con la especie cultivada.

Esta investigación tiene como objetivo evaluar diferentes tecnologías emergentes para tratamientos sobre semilla y de aplicación foliar en el cultivo de maíz de siembra tardía, bajo estrés hídrico severo. Hipotetizamos que 1. Es posible lograr incrementos en los rendimientos mediante la aplicación de tecnologías que promueven el crecimiento y aportan nutrientes en forma directa y fácilmente asimilable. 2. Es factible identificar la combinación de insumo, forma y dosis de aplicación de mejor comportamiento agronómico.

Palabras clave: maíz, nutrición, bioestimulación, fisiología, nitrógeno, fósforo, zinc, estrés hídrico.

Materiales y métodos:

Durante el ciclo 2022/23 se condujo un experimento de campo en la EEA INTA Pergamino, sobre un suelo Serie Pergamino, Clase I-2, Argiudol típico, familia fina, illítica, térmica (USDA- Soil Taxonomy V. 2006). El experimento se sembró en fecha de siembra intermedia, el día 9 de Noviembre. Fue espaciado a 0,70 m entre hileras, logrando una densidad de 70000 pl ha⁻¹. El cultivar elegido fue Syngenta NK 979 Vip3. La fertilización de base fue parte de los tratamientos. El cultivo se mantuvo libre de malezas, plagas y enfermedades. En los experimentos, se utilizó un diseño en bloques completos al azar con 4 repeticiones. El detalle de los tratamientos se explicita en la Tabla 1. Por su parte, en la Tabla 2 se presentan los datos de suelo en el sitio experimental.



Fotografía 1: MAP 100 + Mist P (siembra) + Urea (T5).
INTA Pergamino, Campaña 2022/23.



Fotografía 2: MAP 100 + Mist VG como tratamiento sobre semilla (T3). INTA Pergamino, Campaña 2022/23.

Tabla 1: Tecnologías modernas para la nutrición y estimulación de maíz Campaña 2022/23.

Tratam.	Semilla	Siembra	V2-V3	V6
1	-	-	-	-
2	-	MAP 100 kg ha ⁻¹	UREA 100 kg ha ⁻¹	UREA 100 kg ha ⁻¹
3	VG 5 cm ³ kg semilla ⁻¹	MAP 100 kg ha ⁻¹	UREA 100 kg ha ⁻¹	UREA 100 kg ha ⁻¹
4	-	MAP 100 kg ha ⁻¹	UREA 100 kg ha ⁻¹ + MIST ZN 600 ml ha ⁻¹	UREA 100 kg ha ⁻¹
5	-	MAP 100 kg ha ⁻¹ + MIST P 4 l ha ⁻¹	UREA 100 kg ha ⁻¹	UREA 100 kg ha ⁻¹
6	-	MAP 100 kg ha ⁻¹	UREA 100 kg ha ⁻¹	MIST N 4 l ha ⁻¹
7	-	MAP 100 kg ha ⁻¹ + MIST P 4 l ha ⁻¹	UREA 100 kg ha ⁻¹	MIST N 4 l ha ⁻¹
8	-	MAP 100 kg ha ⁻¹	UREA 100 kg ha ⁻¹	MIST N 6 l ha ⁻¹
9	-	MIST TPS 4 l ha ⁻¹	-	-
10	-	MIST TPS 4 l ha ⁻¹ + MIST P 4 l ha ⁻¹	-	-

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	Aqua en suelo
	%	%	mg kg ⁻¹	agua 1:2,5	kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	150 cm - siembra
Pergam	3,43	0,172	11,5	5,2	120,1	7,8	75 mm
0-20	medio	medio	bajo	ácido	alto	medio	muy bajo
Prof	Potasio	Calcio	Magnesio	Zinc	Boro	Mn	Hierro
				mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
Pergam	485	1407	184	0,5	0,25	60,3	78,9
0-20 cm	muy alto	muy alto	alto	bajo	bajo	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. Los detalles de la aplicación se presentan en el Anexo (Tablas 4 y 5). Para monitorear el efecto de los tratamientos, se determinó la materia seca acumulada en V9. En el mismo estado 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 se cuantificó la intercepción de radiación mediante un radiómetro lineal. Se calificó el vigor y determinó la altura de plantas.

A cosecha se 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. Se determinó el número de plantas débiles o sin espiga, sobre 20 plantas por parcela. La cosecha se realizó en forma manual, el día 29 de marzo, 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 detalla un balance hídrico con datos de la localidad de Pergamino. Por último, en la Figura 3 se describen las temperaturas máximas y mínimas con relación a la media histórica. A la siembra del experimento, el almacenaje inicial fue escaso (112 mm), a causa de un otoño, invierno y primavera muy secos. La escasez de precipitaciones se agravó durante el ciclo del cultivo (Figura 1), agotando la humedad de los suelos (Figura 2). El clima extremo en cuanto a temperatura y falta de lluvias abarcó el período crítico de la floración, y terminaron por condicionar los rendimientos.

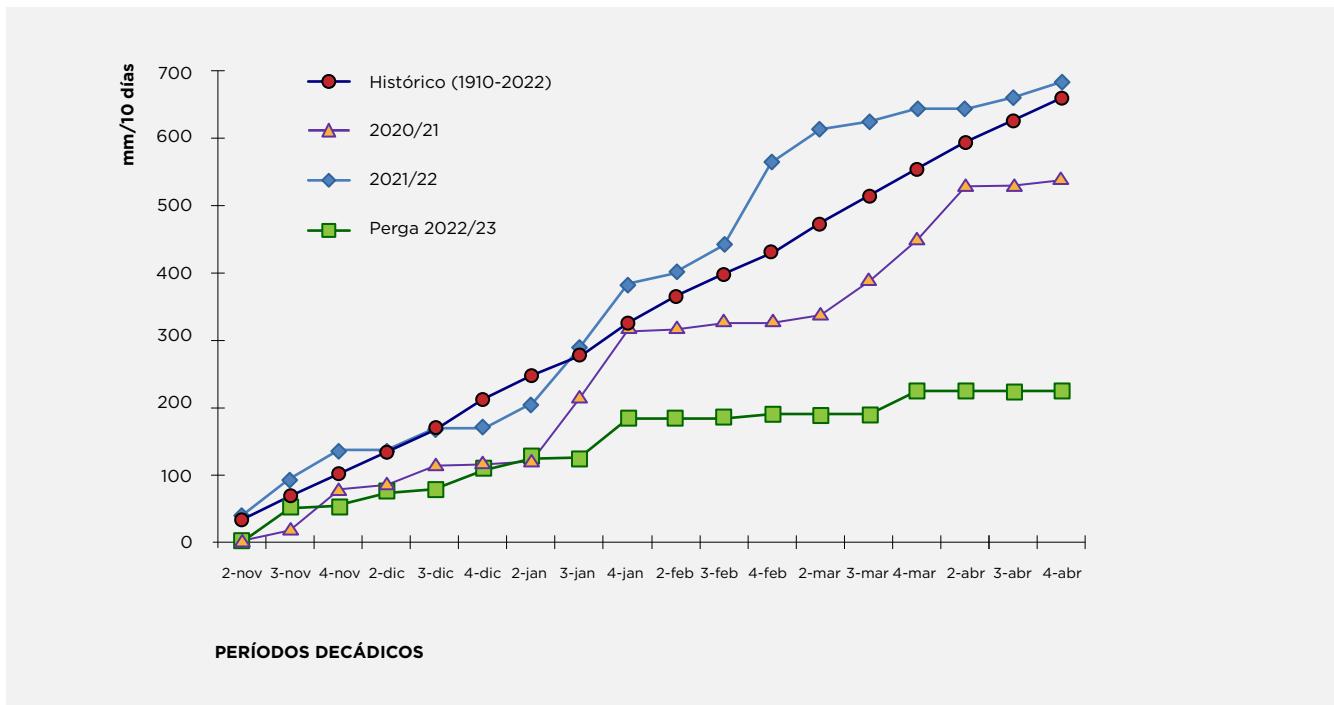


Figura 1: Precipitaciones decádicas del ciclo 2022/23, y su comparación con las dos campañas previas y la media histórica. Maíz, localidad de Pergamino. Agua útil inicial (150 cm) 75 mm. Precipitaciones totales durante el ciclo 233 mm.

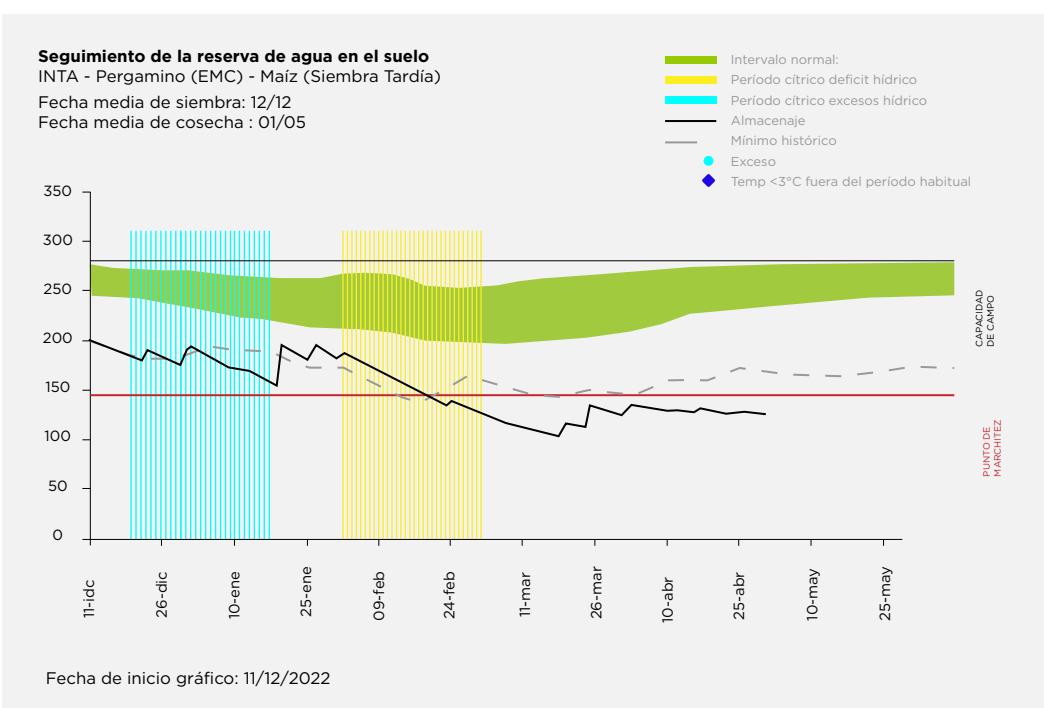


Figura 2: Evolución de la disponibilidad hídrica en el suelo en un cultivo de soja durante la campaña 2021/22. En nivel de almacenaje fue limitado desde el inicio, llegando a valores cercanos al punto de marchite permanente (PMP) a principios de enero. Elaborado por la Oficina de Riesgo Agropecuario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

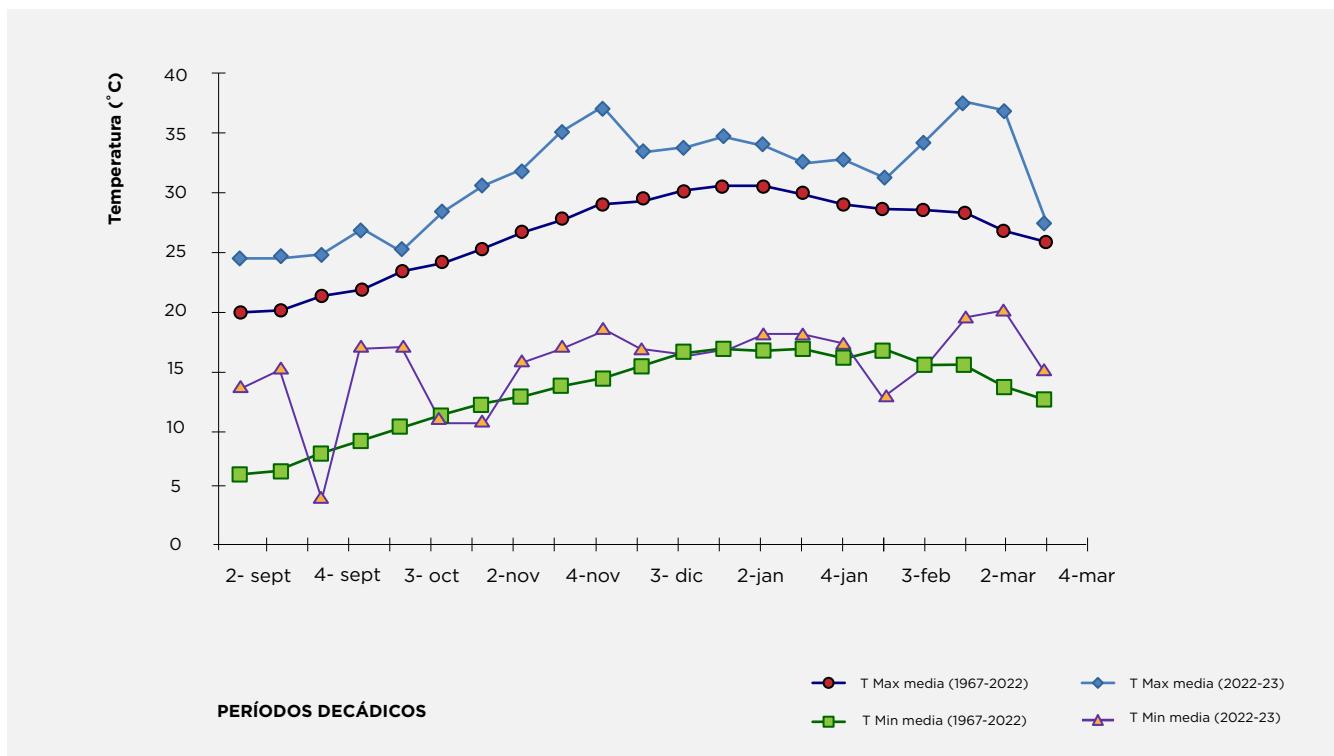


Figura 3: Temperaturas decádicas del ciclo 2022/23, comparadas al valor histórico 1967-2021. La temperatura máxima media fue superior a la histórica en 4,8 °C, y la mínima media superior en 2,3 °C. Estas condiciones muy desfavorables se mantuvieron durante el período crítico alrededor de floración. Datos del observatorio meteorológico de la EEA INTA Pergamino.

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 acumulada en V9, Altura de plantas, intercepción de radiación, calificación de vigor, intensidad de verde determinado mediante Spad y NDVI por Green seeker, plantas sin espiga (%), rendimiento y sus componentes numéricos: espigas m⁻² (NE), granos espiga⁻¹ (GE), número granos m⁻² (NG) y peso (PGx1000) de los granos. Tecnologías innovadoras para la nutrición y producción de maíz. INTA Pergamino, campaña 2022/23.

T	Tratamientos	Materia seca V9 (kg ha ⁻¹)	Altura de plantas (cm)	Plantas débiles (%)	Vigor R1 (1-5)	Spad R1	NDVI (Green seeker)
T1	Testigo	3011	155,0	30	2,8	40,2	0,65
T2	MAP + Urea	4615	150,0	32	2,9	47,6	0,66
T3	MAP + Mist VG + Urea	4249	151,0	42	3,0	48,3	0,65
T4	MAP + Urea + Mist Zn	3746	160,0	15	3,3	49,0	0,68
T5	MAP + Mist P + Urea	3770	157,0	30	3,5	54,4	0,66
T6	MAP + Urea + Mist N 4I	5846	145,0	35	3,3	43,1	0,63
T7	MAP + MP + Urea + MN	4800	156,0	15	3,6	39,2	0,67
T8	MAP + Urea + Mist N 6I	2960	162,0	15	3,8	47,7	0,67
T9	Mist TPS	3971	162,0	20	3,0	43,7	0,67
T10	Mist TPS + Mist P	3438	164,0	20	3,4	49,4	0,67
R2 vs rendimiento		0,06	0,10	0,03	0,12	0,18	0,00

T	Descripción	Intercep R1 (%)	NE	GE	NG	PG X 10000	Rendim (kg ha ⁻¹)
T1	Testigo	64,7	3,8	369,7	1404,7	307	4312,5
T2	MAP + Urea	66,9	5,2	314,6	1636,1	331	5415,5
T3	MAP + Mist VG + Urea	66,2	4,2	452,7	1901,5	307	5837,5
T4	MAP + Urea + Mist Zn	69,5	4,6	378,4	1740,8	330	5744,5
T5	MAP + Mist P + Urea	63,6	3,6	541,3	1948,7	308	6002,0
T6	MAP + Urea + Mist N 4l	70,8	4,6	362,9	1669,3	303	5058,0
T7	MAP + MP + Urea + MN	66,3	4,8	368,0	1766,6	317	5600,0
T8	MAP + Urea + Mist N 6l	67,5	4,8	357,3	1715,0	310	5316,5
T9	Mist TPS	64,2	5,6	240,7	1348,1	314	4233,0
T10	Mist TPS + Mist P	71,5	4,4	299,9	1319,5	321	4235,5
R2 vs rendimiento		0,02	0,06	0,54	0,94	0,01	
R2 vs rendimiento							
Sign. Est (P=)							<0,0001
CV (%)							9,9 %

Índice de Vigor: 1 mínimo 5-máximo

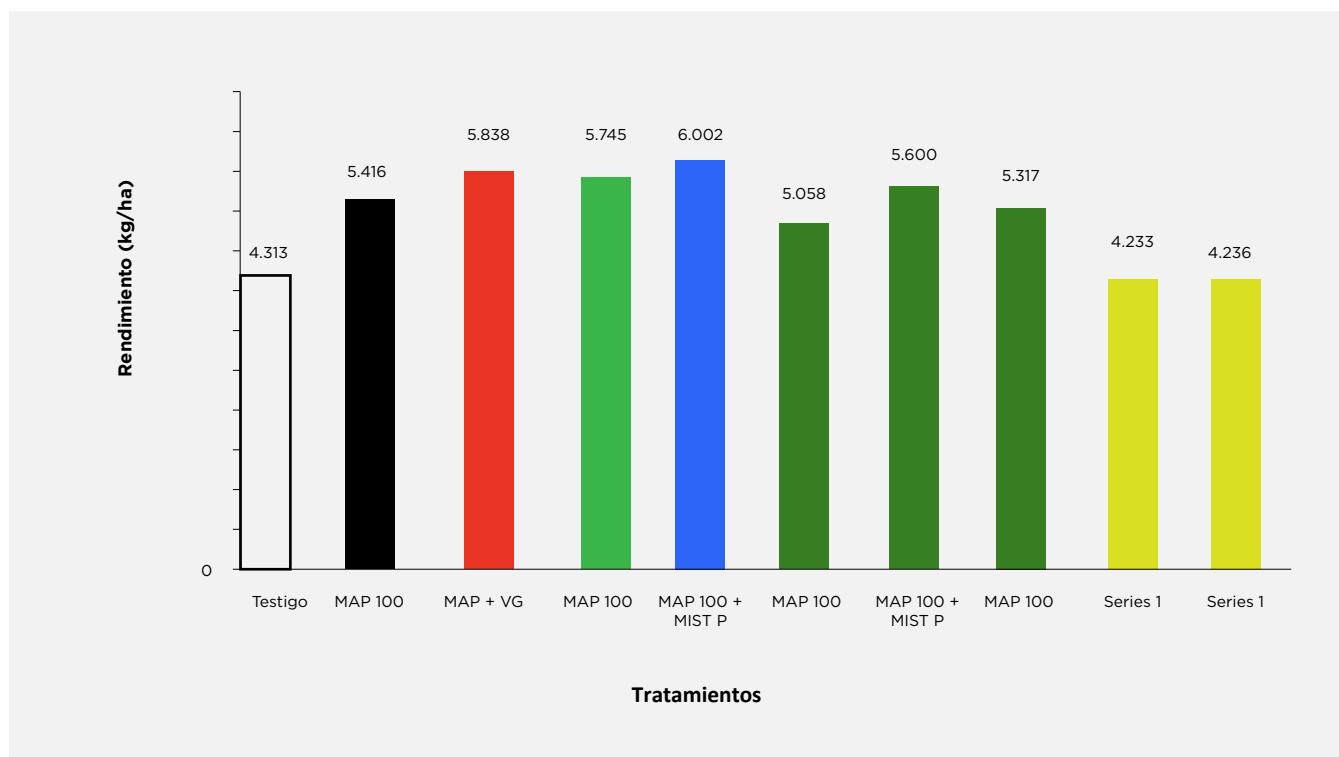


Figura 4: Rendimiento según tecnologías innovadoras sobre semilla, suelo o de aplicación foliar en maíz. Pergamino, campaña 2022/23. Letras distintas sobre las columnas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (LSD a=0,05; dms=750 kg ha⁻¹). Las barras de error indican la desviación standard de la media.

Discusión y conclusiones:

Los rendimientos alcanzaron una media de 5176 kg ha⁻¹, una producción baja para Pergamino, alineada con el año climático. Las siembras tardías acumularon alguna reserva hídrica en el perfil, que le permitió sostener pisos de rendimiento. Las lluvias de fines de enero sincronizaron con el período crítico, mientras que las precipitaciones de fines de marzo tuvieron algún impacto en estabilizar los rendimientos.

Se determinaron diferencias significativas entre tratamientos para rendimiento ($P<0,0001$; $cv=9,9\%$). La gran variación de productividad refleja efecto de tratamiento, pero podría tener un componente de "ruido ambiental" que debe ser considerado en el análisis de los resultados.

El mejor comportamiento se obtuvo con el agregado de Mist P a la siembra (T5). Sin diferencias significativas con este, integraron un grupo de rendimiento superior (letra "a" en la comparación de medias) el tratamiento con Mist VG sobre semilla (T3), Mist Zn en V3 (T4), Mist P + Mist N (T7, T9), y luego el tratamiento convencional (T2). A pesar de los bajos rendimientos, el retiro de los fertilizantes de base deprimió la producción (T9, T10). El buen desempeño de los tratamientos con P y Zn tiene una clara explicación. Son elementos escasos en el sitio (Tabla 2), nutrientes poco móviles en suelo, cuya respuesta está poco asociada a su contenido hídrico ya que se asimilan por difusión.

La mayor parte de las variables fueron afectadas por la sequía. Se afectó la estructura de la planta, alcanzando menor altura, vigor y una intercepción de radiación que cayó un 30 % (Tabla 3). El NE, GE y NG se vieron severamente afectados, lo mismo que el incremento en plantas estériles (Tabla 3). Las variables que reflejaron efecto de tratamiento fueron materia seca inicial, la calificación del vigor, contenido de N por Spad, GE y NG. En cambio, el contenido de N (Spad, Green seeker) y el PG alcanzaron valores normales. Las variables con mayor relación con rendimiento, reflejando efecto de tratamiento, fueron GE ($r^2=0,54$) y NG ($r^2=0,94$) (Tabla 3).

Los resultados obtenidos permiten aceptar la hipótesis 1. Una serie de tecnologías de creciente adopción lograron incrementar los rendimientos, bajo un ambiente extremo caracterizado por la ausencia de precipitaciones y temperaturas muy elevadas. La hipótesis 2 es aceptada. Se identificaron estrategias de comportamiento superior. Estas suponen mantener la fertilización de base con PN (MAP y UREA), complementadas con aplicaciones estratégicas de elementos claves como P y Zn. Estas interacciones entre nutrición, estímulo sobre la semilla y refuerzo del área foliar son de gran importancia bajo estrés, y representan una estrategia prometedora para permitir la supervivencia y el rendimiento de los cultivos en condiciones de sequía.

Condiciones de aplicación.

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

Momento de aplicación	Fecha de aplicación	Estado del cultivo	Altura (cm)	Cobertura (%)
Pergamino V3	13-dic	V3	40	25
Pergamino V6	26-dic	V6	60	40

Tabla 5: Condiciones ambientales durante la aplicación.

Momento 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
Pergamino V3	S	S	21,2	44	2,9 S	2	0
Pergamino V6	H	S	27,3	67	6,2 N	4	0

Las aplicaciones se realizaron después de precipitaciones, buscando temperaturas más bajas y mayor humedad relativa.

Escala de nubosidad: 0 completamente despejado, 9 completamente cubierto. S: seco. SH: moderadamente seco. H: húmedo. 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.
- 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.
- Ganugi, P., Fiorini, A., Ardentti, F., Caffi, T., Bonini, P., Taskin, E., ... & Lucini, L. (2022). Nitrogen use efficiency, rhizosphere bacterial community, and root metabolome reprogramming due to maize seed treatment with microbial biostimulants. *Physiologia Plantarum*, 174(2), e13679.
- González-Morales, S., Solís-Gaona, S., Valdés-Caballero, M. V., Juárez-Maldonado, A., Loredo-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.
- Harty, M. A., McDonnell, K. P., Whetton, R., Gillespie, G., & Burke, J. I. (2023). Comparison of ammonia-N volatilization losses from untreated granular urea and granular urea treated with NutriSphere-N®. *Soil Use and Management*.
- 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.
- 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.
- Savi, D., Jasper, S. P., Zimmermann, G. G., Kmiecik, L. L., Strapasson Neto, L., Sobenko, L. R., ... & Campos, G. S. D. (2023). Graphite action on the longitudinal distribution of soybean seeds in mechanical and pneumatic feeders. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 45.
- Savi, D., Zimmermann, G. G., Jasper, S. P., & Sobenko, L. R. (2022). Use of graphite in the distribution of rice seeds with constant flow seed metering device. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 27, 64-69.
- 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.
- Torralbo, F., Boardman, D., Houx III, J. H., & Fritschi, F. B. (2022). Distinct enhanced efficiency urea fertilizers differentially influence ammonia volatilization losses and maize yield. *Plant and Soil*, 475(1-2), 551-563.



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