

06

Contribución de fósforo, azufre y zinc al crecimiento, nutrición y rendimiento de maíz

**GUSTAVO N. FERRARIS^{1, *},
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

El maíz es un cultivo de alto potencial de rendimiento y exigencia de nutrientes. En nuestros sistemas, fósforo, azufre y zinc son deficitarios en los suelos y determinan una brecha nutricional. Este trabajo estudia la respuesta a su agregado al suelo, a la siembra, mediante mezclas físicas y químicas. La fertilización incrementó la productividad, aun bajo condiciones climáticas muy diferentes.

Palabras clave: Fuentes, Fertilizantes “starters”, Mezclas químicas.

Introducción

La fertilización de base con fuentes arrancadoras o “starters” es una práctica habitual en el cultivo de maíz. El fósforo (P) es un nutriente esencial y su aporte permite mejoras en el crecimiento, la exploración radicular, tolerancia a sequía y bajas temperaturas, entre otros factores. En los últimos años, se ha desarrollado e introducido al mercado fuentes con aporte balanceado de nutrientes en su composición. El azufre (S) genera efectos aditivos a los de P, actuando en la fotosíntesis, la síntesis de proteína. El Zinc (Zn) interviene en la síntesis de

auxinas y es un activador enzimático, cuya respuesta está asociada a la disponibilidad en el suelo.

Los avances en los fertilizantes no incluyen solamente la diversidad y el número de elementos involucrados. También se incorporan tratamientos que facilitan la solubilidad en suelo y retrasan la retención de P por cationes. Las mezclas químicas complejas mejoran la performance gracias a su granulometría pareja y la inclusión de todos los nutrientes en un mismo gránulo. Para la corrección de carencias de P y nitrógeno, tanto las mezclas químicas con los abonos orgánicos han demostrado singular eficacia (Batistti *et al.*, 2023).

Este estudio tiene como objetivo evaluar los efectos sobre el crecimiento, estado nutricional, rendimiento y sus componentes de diferentes fuentes para la fertilización inicial en línea de maíz. Hipotetizamos que 1. La nutrición inicial en línea de siembra impacta positivamente en los rendimientos, y 2. Es posible incrementar los rendimientos mediante el uso de mezclas químicas balanceadas, en comparación con los fertilizantes tradicionales.

Materiales y Métodos

Durante los ciclos 2023/24 se condujeron dos experimentos 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). En 2022/23 se sembró en fecha tardía (5-dic), mientras que en 2023/24 en siembra temprana (28-sep). En ambos casos, las unidades experimentales fueron de 21 m², y el espaciamiento de 0,70 m entre hileras. La densidad fue de 60000

y 70000 pl/ha para el primer y segundo año, respectivamente. Los cultivares fueron NK 870 Vip3 el primer año, y ACA 482 VT3P el segundo. La fertilización de base consistió en la aplicación de urea granulada incorporada en presiembra, y un repaso con urea tratada con B-NBPT en postemergencia. El cultivo se mantuvo libre de malezas, plagas y enfermedades. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con 4 repeticiones. El detalle de los

Tabla 1. Tratamientos de fertilización fosforada en maíz. Campaña 2022 - 23 y 2023 - 24.

Trat.	Tratamiento	UREA	MAP	MAP70 SPS30	Foszinc	N	P	S	Zn	
										Kg/ha
T1	Control N	325				150				
T2	NP	305	90			150	20,1			
T3	NPS	310		115		151	19,8	5,8		
T4	NPSZn	300			105	151	20,3	5,3	1	

tratamientos se explicita en la Tabla 1. Por su parte, en la Tabla 2 se presentan los datos de suelo de los sitios experimentales.

Tabla 2. Datos de suelo al momento de la siembra. Campaña 2022 - 2023

Prof.	Materia Orgánica	N Total	Fósforo extract.	pH	N-Nitratos 0-60 cm	S-Sulfatos Suelo	Zinc	Agua en suelo
cm	%	%	mg/kg	agua 1:2,5	kg/ha	mg/kg	mg/kg	0-150 cm
	3,29	0,165	13,6	5,7	105,3	8,5	1,1	135 mm
	medio	medio	bajo	ácido	alto	medio	medio	bajo

Campaña 2023 - 2024

Prof.	Materia Orgánica	N Total	Fósforo extract.	pH	N-Nitratos 0-60 cm	S-Sulfatos Suelo	Zinc	Agua en suelo
cm	%	%	mg/kg	agua 1:2,5	kg/ha	mg/kg	mg/kg	0-150 cm
	2,70	0,135	14,3	6,0	60,7	8,2	0,75	121 mm
	bajo	bajo	bajo	ácido	medio	medio	bajo	bajo

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones del sitio experimental durante el ciclo de cultivo. Las campañas fueron contrastantes, caracterizada por una sequía extrema en 2022/23 y una normalización hídrica en 2023/24.

Para monitorear el efecto de los tratamientos, se determinó la materia seca acumulada en V6, y 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 la interceptación de radiación mediante un radiómetro lineal. Se calificó el vigor y determinó la altura final de plantas.

A cosecha se determinaron el número de plantas sin espigas y los componentes del rendimiento, número de espigas/m² (NE), granos/espiga (GE), número

granos/m² (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, recolectando 2,8 m² por

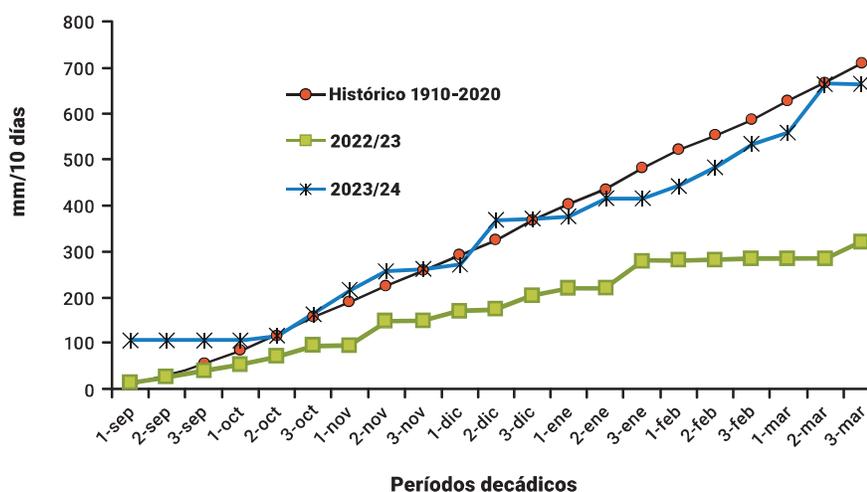


Figura 1. Precipitaciones decádicas de los ciclos 2022/23 y 2023/24, y su comparación con la media histórica. Maíz, localidad de Pergamino. Agua útil inicial (150 cm) 121 mm. Precipitaciones totales durante el ciclo 320 y 665 mm.

parcela, con trilla estacionaria de las muestras. Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza, comparaciones de medias para rendimiento, y análisis de regresión entre rendimiento y el resto de las variables cuantificadas en los experimentos.

Resultados y Discusión

En la Tablas 3 y 4 se presentan datos de observaciones tomadas durante el ciclo de cultivo, así como los rendimientos de grano agrupados por tratamiento.

Tabla 3. Parámetros morfológicos y componentes de rendimiento: Materia seca acumulada en V5, Altura final 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/m² (**NE**), granos/espiga (**GE**), número granos/m² (**NG**) y peso (**PGx1000**) de los granos. Para rendimiento, letras distintas sobre las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos (**LSD a= 0,05, dms= 1090 kg/ha**). INTA Pergamino, campaña 2022/23.

Tr	Descripción	Materia seca V6 (kg/ha)	Altura planta (cm)	Plantas débiles (%)	Vigor R1 (1-5)	Spad R1	NDVI (Green seeker)
T1	Control N	1554	260	55	3,0	51,2	0,65
T2	NP	2484	270	40	4,0	51,9	0,79
T3	NPS	2833	272	50	4,1	53,4	0,79
T4	NPSZn	2816	275	20	4,5	52,8	0,78
R ² vs rendimiento		0,92	0,95	0,52	0,93	0,80	0,71
Tr	Descripción	Interce R1 (%)	NE	GE	NG	PGx1000	Rendim (kg/ha)
T1	Control N	60,9	5,3	373	1959	278	5446 b
T2	NP	81,4	5,1	434	2226	281	6256 ab
T3	NPS	78,3	4,3	570	2421	282	6828 a
T4	NPSZn	82,4	4,5	578	2599	275	7148 a
R ² vs rendimiento		0,74	0,75	0,93	0,99	0,02	
Sign. Est (P=)							0,02
CV (%)							10,6 %

Índice de Vigor: 1 mínimo 5-máximo

Tabla 4. Parámetros morfológicos y componentes de rendimiento: Materia seca acumulada en V6, Altura final 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/m² (**NE**), granos/espiga (**GE**), número granos/m² (**NG**) y peso (**PGx1000**) de los granos. Para rendimiento, letras distintas sobre las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos (**LSD a= 0,05, dms= 1160 kg/ha**). INTA Pergamino, campaña 2023/24.

Tr	Descripción	Materia seca V6 (kg/ha)	Altura planta (cm)	Plantas débiles (%)	Vigor R1 (1-5)	Spad R1	NDVI (Green seeker)
T1	Control N	2131	223	5	3,0	47,5	0,70
T2	NP	2367	245	2	4,0	46,2	0,72
T3	NPS	3241	240	1	4,2	48,3	0,73
T4	NPSZn	2544	239	0	4,2	48,1	0,72
R ² vs rendimiento		0,44	0,44	0,96	0,83	0,25	0,66

Tr	Descripción	Interce R1 (%)	NE	GE	NG	PGx1000	Rendim (kg/ha)
T1	Control N	79,5	6,6	581	3837	278	10666 c
T2	NP	89,3	6,8	607	4121	281	11580 bc
T3	NPS	92,5	7,1	614	4385	282	12365 ab
T4	NPSZn	93,1	6,8	686	4657	275	12807 a
R ² vs rendimiento		0,91	0,39	0,75	0,98	0,03	
Sign. Est (P=)							0,01
CV (%)							6,1 %

Índice de Vigor: 1 mínimo 5-máximo

En 2022/23, los rendimientos alcanzaron una media de 6419 kg/ha, siendo muy limitados para zona núcleo, afectados por el año climático. Una oportuna precipitación de finales de enero (Figura 1) acompañó el período crítico, y sobre estas bases se construyó el rendimiento obtenido. Se determinaron diferencias significativas entre tratamientos para rendimiento ($P=0,02$; $cv=10,6\%$) (Tabla 3). Los diferentes fertilizantes de base no presentaron diferencias significativas entre sí, pero las mezclas NPS y NPS Zn superaron al control (Tabla 3). La disponibilidad de S y Zn fue media a baja (Tabla 2), y aun en un contexto restrictivo, se observa una tendencia incipiente a mejores rendimientos con el aporte de estos nutrientes. Todas las variables fueron afectadas por la sequía. Materia seca inicial, altura de plantas, concentración de N estimada por Spad y PG alcanzaron valores normales. La intercepción de radiación se redujo un 10 a 15 % respecto de los valores habituales. También se observó una disminución en NE, GE y NG. Presentaron asociación positiva con los rendimientos la biomasa inicial ($r^2=0,92$), altura ($r^2=0,95$), la calificación subjetiva del vigor ($r^2=0,93$), NDVI ($r^2=0,71$), intercepción ($r^2=0,74$), NE ($r^2=0,75$), GE ($r^2=0,93$) y NG ($r^2=0,99$) (Tabla 3). Incrementos en materia seca temprana por uso de P fue observado Mäkela *et al.*, (2020), mientras que Chen *et al.*, (2024) menciona cambios en materia seca, intercepción y eficiencia fotosintética

En 2023/24 los rendimientos alcanzaron una media de 11854 kg/ha, retornando a un ambiente de media a alta productividad. Se determinaron diferencias significativas entre tratamientos para rendimiento

($P=0,01$; $cv=6,2\%$) (Tabla 4). El control alcanzó un rendimiento elevado. NPS y NPSZn superaron al control, a la vez que NPSZn alcanzó rendimientos superiores a NP (Tabla 4). Estos incrementos son acordes a la disponibilidad inicial observada en suelo (Tabla 2), que señala valores bajos de oferta inicial. Relaciones entre los rendimientos y la disponibilidad de nutrientes son citadas con frecuencia en la literatura (Grant *et al.*, 2019; Gupta, 2023).

Las variables intermedias reflejaron y anticiparon el efecto de los tratamientos. Algunas en forma muy marcada, como altura de las plantas, vigor, NDVI, intercepción, GE o NG. El mayor contraste siempre fue con el control. La mayor correlación a rendimiento se observó en plantas débiles ($r^2=0,96$), la calificación subjetiva del vigor ($r^2=0,83$), NDVI ($r^2=0,66$), intercepción ($r^2=0,91$), GE ($r^2=0,75$) y NG ($r^2=0,98$) (Tabla 4).

Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten aceptar las hipótesis propuestas. Se determinó respuesta al uso de arrancadores fosforados. Fue necesario el agregado de fuentes NPS o NPS Zn para obtener los rendimientos máximos del sitio. Ante una deficiencia en el suelo, la respuesta se mantuvo aún bajo una intensa sequía como la del ciclo 2022/23.

Bibliografía

Battisti, M.; Moretti, B.; Blandino, M.; Grignani, C.; Zavattaro, L. 2023. *Maize response to nitrogen and phosphorus starter fertilisation in mineral-fertilised or manured systems*. En: *The Crop Journal* 11(3): 922-932.

Chen, X.; Ren, H.; Zhang, J.; Zhao, B.; Ren, B.; Wan, Y.; Liu, P. 2024. *Deep phosphorus fertilizer placement increases maize productivity by improving root-shoot coordination and photosynthetic performance*. En: *Soil and Tillage Research* 235:105915.

Grant, C. A.; Flaten, D. N. 2019. *4R Management of Phosphorus Fertilizer in the Northern Great Plains*. En: *Journal of Environmental Quality*.

Gupta, N. 2023. *Balancing phosphorus fertilization for sustainable maize yield and soil test phosphorus management: A long-term study using machine learning*. En: *Field Crops Research* 304:109169.

Mäkelä, P. S.; Wasonga, D. O.; Solano Hernandez, A.; Santanen, A. 2020. *Seedling growth and phosphorus uptake in response to different phosphorus sources*. En: *Agronomy* 10(8):1089.