

Estrategias combinadas de nutrición en trigo.

Nitrogen nutrition in wheat.

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

Introducción:

El nitrógeno (N) es el elemento más importante para la nutrición de las gramíneas. Sus carencias afectan el crecimiento, la expansión foliar y la eficiencia fotosintética. La calidad industrial y panadera de las harinas se ve fuertemente afectada. Este elemento presenta una fuerte interacción con la condición hídrica.

Un estrés hídrico perjudica la adquisición y transformación del N. Por un lado, los menores rendimientos determinan una menor demanda. Así, el nutriente sigue vías alternativas a la absorción por parte de las plantas, permaneciendo en el suelo o saliendo a la atmósfera. Las pérdidas se suelen incrementar, principalmente por volatilización. La incorporación el uso de fuentes más eficientes o el tratamiento con inhibidores permite disminuir la intensidad de las salidas de N al ambiente, al permanecer bajo formas químicas menos susceptibles.

Una alternativa en condición de sequía es la aplicación foliar de N. Al agotarse la disponibilidad de agua en solución, la absorción radicular se ve interrumpida. El órgano alternativo de asimilación es el canopeo del cultivo. La desventaja suele residir en que la superficie foliar es limitada, y en la reducida concentración de las fuentes. Sin embargo, la urea de aplicación foliar reducida en biuret suele ser una opción viable, ya que su concentración, costo, solubilidad y tolerancia por parte del área foliar permiten aplicar dosis elevadas por parte del cultivo. La función principal del Zinc (Zn) es la de activador enzimático, catalizando innumerables reacciones en procesos metabólicos como la respiración, la síntesis de clorofila y proteínas. Es además precursor del triptófano y el ácido indol acético. La deficiencia de Zn es un problema que se manifiesta a nivel mundial en casi todos los cultivos. Casi el 50% de los suelos

utilizados para la producción de cereales presentan bajos niveles de disponibilidad de Zn, que no solo reduce los rendimientos de los cultivos sino también su valor nutricional. La literatura internacional menciona umbrales críticos en un rango de 0,5 a 1 mg kg⁻¹, según autor y región. En Argentina se postula un límite crítico de 1 mg ka⁻¹, extraído por DTPA en 0-20 cm. Por debajo de este rango puede considerarse que la disponibilidad es baja y viceversa

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de diferentes estrategias de fertilización, alternado fuentes sólidas combinadas con bioestimulantes y tratamientos foliares, sobre el rendimiento de trigo. Hipotetizamos que, 1. Es posible identificar combinaciones fuentes, dosis y momentos de aplicación de mayor eficiencia agronómica, y de uso de nitrógeno (N), y 2. las estrategias combinadas reducen las pérdidas ambientales de N e incrementan su eficiencia de uso (EUN), logrando un efecto positivo sobre los rendimientos bajo condiciones de estrés hídrico severo.

Palabras clave: trigo, nitrógeno, zinc, foliares, eficiencia mejorada, pérdidas de nitrógeno, sequía, ambiente.

Materiales y métodos:

Durante el año 2022, 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 día 18 de Junio se sembró el cultivar Don Mario Aromo, de ciclo corto, buena sanidad y alto potencial de rendimiento. Se evaluaron tratamientos de fertilización al suelo y por vía foliar. Los fertilizantes fueron aplicados en diferentes momentos del ciclo. Dada la ausencia de enfermedades, no se aplicaron fungicidas foliares. Los tratamientos evaluados se describen en la Tabla 1. Por su parte, el análisis de suelo del sitio se detalla en la Tabla 2.

Tabla 1: Tratamientos de fertilización evaluados en el experimento. INTA Pergamino, Campaña 2022.

T	Tratamientos	Fert. siembra (dosis kg ha ⁻¹)	Fert. Zadoks13 (dosis l ha ⁻¹)	Fert. Zadoks 30 (dosis l kg ha ⁻¹)	Fert. Zadoks 30 (dosis l kg ha ⁻¹)
1	Testigo absoluto				
2	Testigo productor	MAP 100 / Urea 100		Urea 100	
3	N + Zn	MAP 100 / Urea 100	Mist Zn 1 l	Urea 100	
4	N + N foliar Z30	MAP 100 / Urea 100		Mist N 6 l	
4	N + N foliar Z30 + Z39	MAP 100 / Urea 100		Mist N 4 l	Mist N 4 l
4	N + N foliar Z30 + Kuma Z39	MAP 100 / Urea 100		Mist N 4 l	Mist Kuma 4 l

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	2,73	0,14	13,4	5,6	45,7	6,7	89 mm
0-20 cm	bajo	bajo	bajo	lig. ácido	bajo	bajo	bajo
Prof	Potasio	Calcio	Magnesio	Zinc	Boro	Mn	Cobre
				mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
Pergam	359	1245	154	0,50	0,50	39,4	0,94
0-20 cm	MOD. ALTO	ALTO	MOD. ALTO	MUY BAJO	BAJO	ALTO	MEDIO

Las aplicaciones de Solum fueron realizadas con mochila manual eléctrica de presión constante, y pastillas apropiadas para el chorreado de fertilizantes. La misma aplica 100 l ha⁻¹ por pasada, la dosis se obtuvo regulando el número de pasadas y la dilución del fertilizante. Los tratamientos con Fronda fueron realizadas con mochila manual eléctrica de presión constante. La misma cuenta con un botallón aplicador de 200 cm provisto de 4 picos a 50 cm y pastillas de cono hueco 80015. Las condiciones de aplicación se describen en las Tablas 4 y 5.

En Z41 se determinó cobertura, NDVI por Green seeker, vigor, índice verde por Spad y en anthesis (Z65) la altura de planta y materia seca acumulada. La cosecha se realizó en forma mecánica, recolectando la totalidad de la parcela. Se recontaron espigas, y sobre una muestra de grano se evaluaron los componentes del rendimiento -número (NG) y peso (PG) de los granos-. Los resultados se analizaron mediante partición de varianza y análisis de correlación.

Resultados

a) Condiciones ambientales de la campaña.

A la siembra, el perfil se encontraba con un bajo nivel de almacenaje (89 mm, 40 % de agua útil a 150 cm). Las precipitaciones fueron prácticamente nulas hasta octubre (Figura 1), aún inferiores a las ya limitadas campañas 2020 y 2021, agotando las reservas a lo largo del ciclo. El cultivo alcanzaría y transitó durante su ciclo un contenido de agua cercano al punto de marchitez permanente (Figura 2). Se registraron sólo 92,8 mm entre siembra y cosecha, con apenas 10,7 mm hasta el 10 de octubre (Figura 1). Sin moderación por humedad, aumentó la amplitud térmica. Las máximas fueron superiores a la media, y las mínimas inferiores (Figura 3). El hecho climático más significativo de la campaña fue la intensa helada acontecida en la madrugada del 9 de octubre. La temperatura mínima a la intemperie alcanzó a -3,2°C. Este fue un hecho disruptivo para la región, aunque en el experimento se observó un daño acotado.

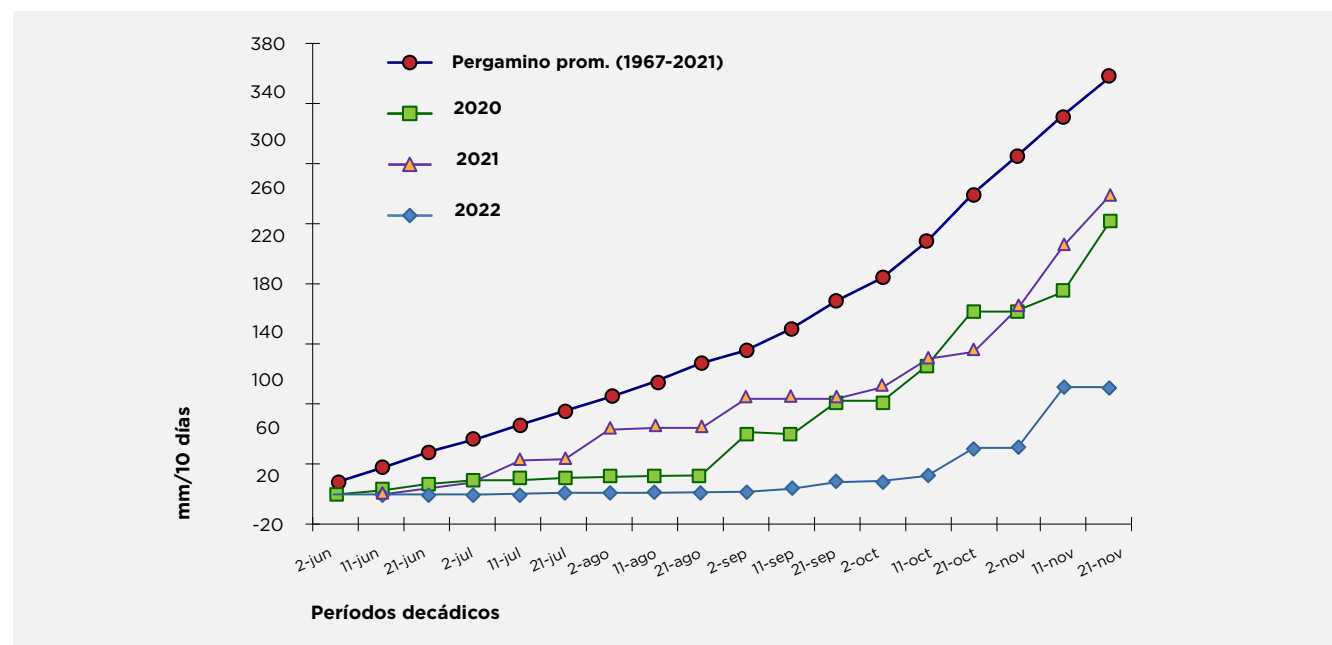


Figura 1: Precipitaciones entre junio y noviembre para la campaña 2022, en comparación con la media histórica y dos ciclos anteriores. Valores acumulados cada 10 días en mm. Nótese la persistencia de un ciclo seco, con lluvias por debajo de la media durante las tres últimas campañas, y muy acentuado durante la última.

Seguimiento de la reserva de agua en el suelo INTA - Pergamino (EMC) -Trigo (Siembra temprana)

Fecha media de siembra: 16/06

Fecha media de cosecha : 07/12

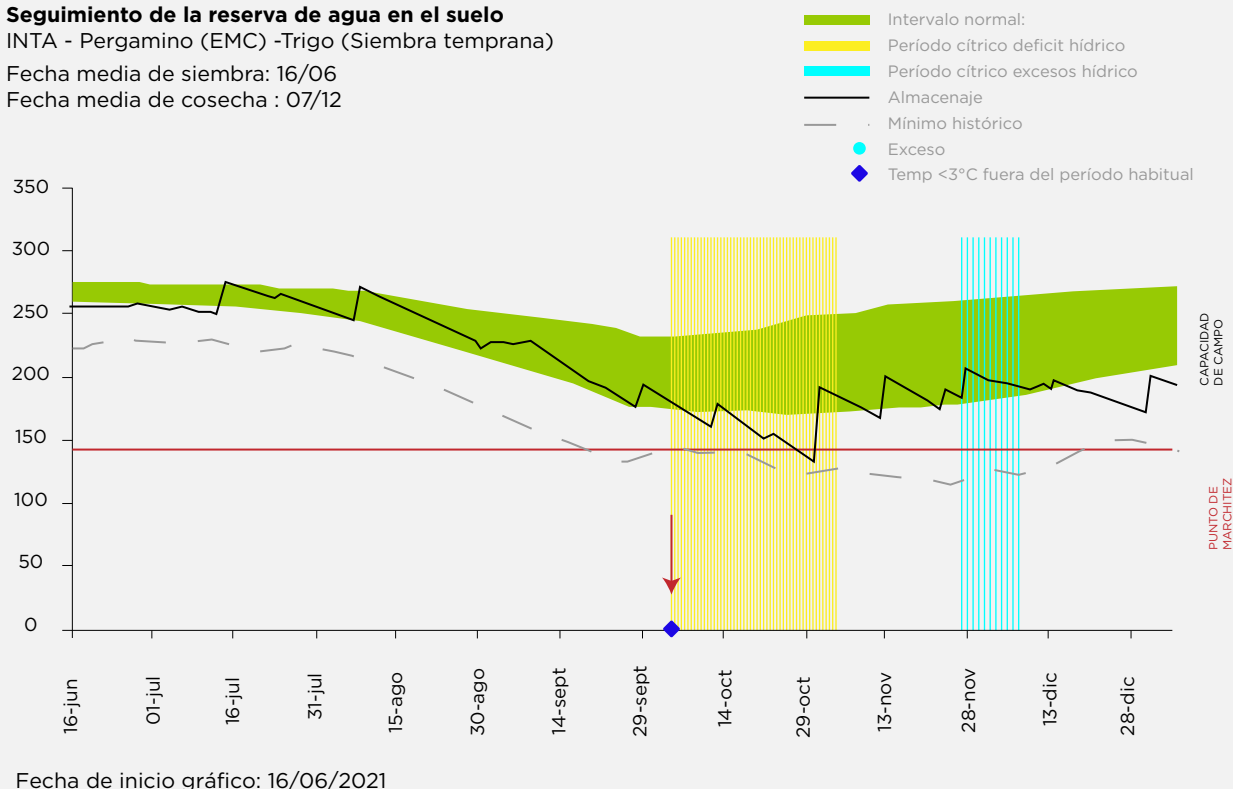


Figura 2: Evolución de la disponibilidad hídrica en el suelo en un cultivo de trigo durante la campaña 2022. La simulación de almacenaje se realizó partiendo de un nivel superior al observado en el experimento. Elaborado por la Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA) a partir de datos de la EEA Pergamino.

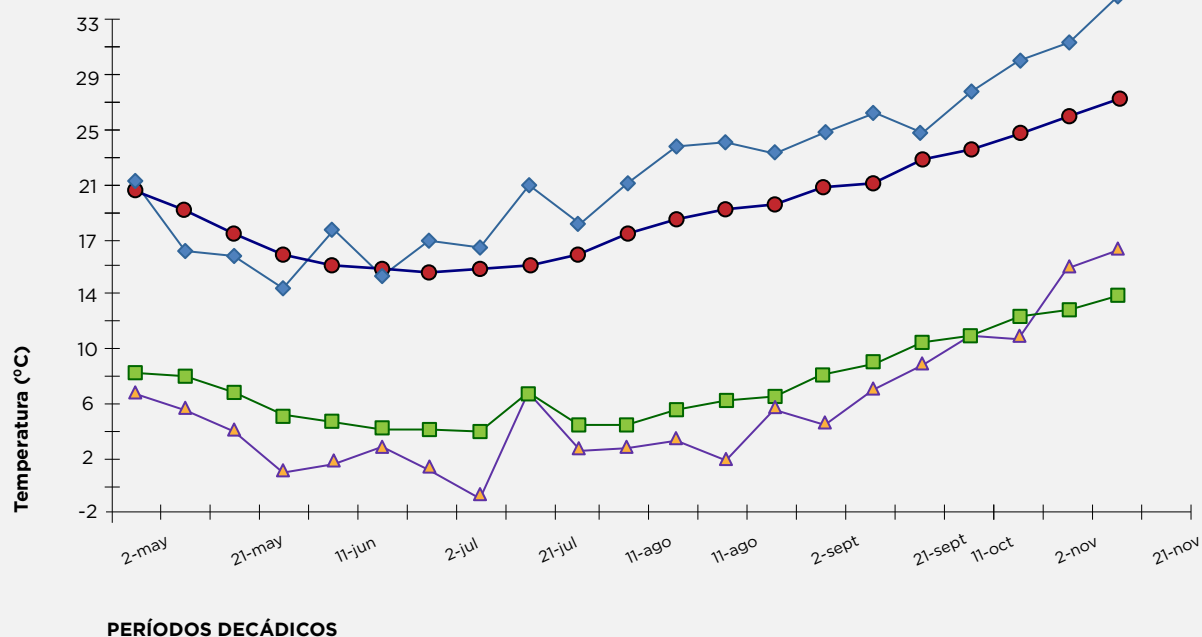


Figura 3: Temperaturas máximas y mínimas medias decádicas entre el 1 de Mayo y el 31 de Noviembre de 2022. Las flechas marcan los períodos con heladas más intensas. Datos estación meteorológica INTA Pergamino.

b) Resultados de los experimentos

En la Tabla 3 se presentan las observaciones tomadas durante el ciclo de cultivo, y en la Figura 1 los rendimientos de grano agrupados por tratamiento.

Tabla 3: Parámetros morfológicos del cultivo: Número final de espigas, materia seca total (Z45), vigor (Z45), cobertura e intercepción (Z45), NDVI por Green seeker (Z45), altura final de plantas (Z65), lecturas de intensidad de verde en unidades Spad (Z45), rendimiento de grano y sus componentes, número (NG) y peso (PG) de los granos. Fertilización con nitrógeno, zinc y bioestimulantes en trigo. Pergamino, año 2022.

T	Tratamientos	Espigas m ⁻²	MSeca Z45 (kg ha ⁻¹)	Vigor Z45 (1-5)	Cobertura e Intercep Z45	NDVI GS 45
Trigo	1 Testigo absoluto	312	5430	2,5	57,4	0,49
	2 Testigo productor	318	6440	3,5	69,1	0,54
	3 N + Zn	325	8235	3,2	64,3	0,56
	4 N + N foliar Z30	354	7360	2,8	63,2	0,55
	5 N + N foliar Z30 + Z39	297	7250	3,0	62,4	0,54
	6 N + N foliar Z30 + Kuma Z39	297	6530	2,8	67,0	0,54
R2 vs Rend		0,13	0,58	0,78	0,44	0,71

T	Tratamientos	Altura (cm)	Spad Z45	NG m ⁻²	PG	Rend kg ha ⁻¹
Trigo	1 Testigo absoluto	57,5	41,2	6293,2	31,4	1976,1
	2 Testigo productor	63,0	45,3	8847,5	30,8	2725,0
	3 N + Zn	64,0	47,4	9003,9	31,2	2809,2
	4 N + N foliar Z30	63,5	43,2	7446,5	33,5	2494,6
	5 N + N foliar Z30 + Z39	61,5	45,1	7345,2	32,8	2409,2
	6 N + N foliar Z30 + Kuma Z39	63,0	43,9	7209,6	31,4	2263,8
R2 vs Rend		0,41	0,29	0,94	0,01	
P=						0,0002
CV=						7,7 %

Índice de Vigor: 1 mínimo 5-máximo. Considera crecimiento, uniformidad, sanidad y aspecto general del cultivo en la parcela evaluada. **NDVI:** Índice verde normalizado, medido por Green seeker.

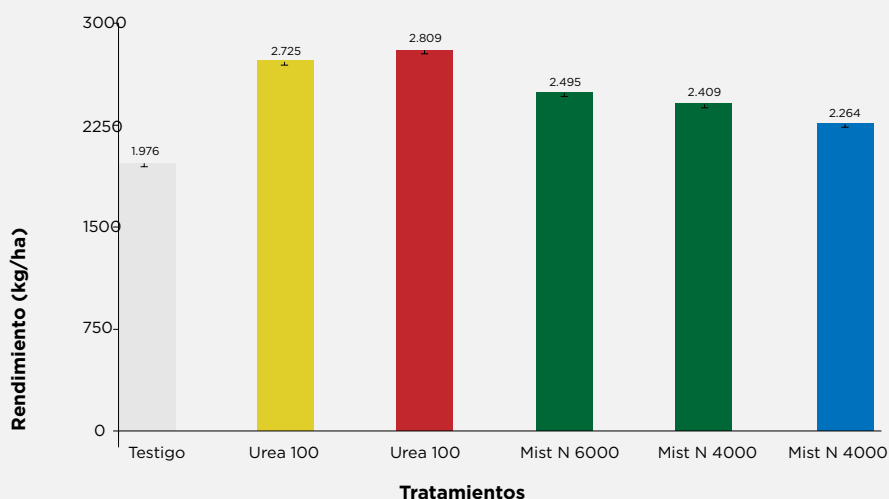


Figura 4: Rendimiento medio de trigo según fuentes, dosis y momentos de aplicación de fertilizantes nitrogenados, zinc y bioestimulantes. Letras distintas sobre las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos (lsd $\alpha=0,0001$, dms 282 kg ha⁻¹). Las barras de error indican la desviación standard de la media. INTA Pergamino, año 2022.

Discusión y conclusiones

Los rendimientos alcanzaron a 2446,3 kg ha⁻¹, por debajo de la media histórica de la región norte de Buenos Aires. La eficiencia de uso del agua fue de 26,3 kg grano : mm de lluvia en el ciclo-1, el cual es un valor cercano al de un cultivo normal. Esto permite atribuir los bajos rendimientos de la campaña casi en su totalidad a la falta de precipitaciones, y no a una disminución en la eficiencia o funcionalidad del cultivo.

La fertilidad inicial fue media a baja, destacando especialmente los pobres niveles de materia orgánica (MO), fósforo (P), azufre (S), boro (B) y N-nitratos, y muy bajos en zinc (Zn), caracterizando un ambiente con alta expectativa de respuesta, tanto a N como Zn.

Se determinaron diferencias significativas en los rendimientos ($P=0,0002$; $cv=7,7\%$) (Tabla 3). Esto significa un techo en la respuesta a la fertilización, y a la eficiencia de uso de N, emparejando los rendimientos. En líneas generales, fue necesaria la doble aplicación de urea para obtener la productividad máxima (Figura 4). Cuando esto sucedió, el aporte de Zn significó un salto productivo adicional (Tabla 3 y Figura 4). Sin llegar al nivel de urea, las estrategias de aplicación foliar, especialmente las tempranas, aumentaron los rendimientos en comparación con el testigo.

La mayor parte de las variables del cultivo se vieron afectadas por la fuerte restricción hídrica, a excepción del peso de los granos y el contenido de N registrado por Spad. Basta citar la altura de las plantas, en el orden de 60 - 65 cm, o la intercepción de radiación, alrededor de 60 cm (Tabla 3). Otros parámetros muy perjudicados por la severa condición ambiental fueron aquellos que representan el crecimiento y porte del cultivo fueron la materia seca acumulada o el NDVI. Las parcelas sin N agregado (T1) rápidamente perdieron cobertura, y llegaron a madurez fisiológica prácticamente sin tejidos verdes (Tabla 3).

Buena parte de las variables evaluadas anticiparon los rendimientos, entre ellas biomasa en aristas expuestas ($r^2=0,58$), la calificación del vigor de las plantas ($r^2=0,78$), intercepción de radiación ($r^2=0,44$), NDVI por Green seeker ($r^2=0,71$) y NG ($r^2=0,94$) (Tabla 3).

En una campaña muy seca, la búsqueda de alternativas basadas en el uso de fuentes de eficiencia mejorada, o la distribución del N o Zn a lo largo del ciclo combinando fuentes y formas de aplicación, es una alternativa viable, pero no debería contemplar reducciones demasiado profundas en la fertilización de base al suelo. Los rendimientos limitados significaron un techo a la respuesta, y también al posible incremento en la eficiencia de uso de N de estas nuevas alternativas. Por su parte, el Zn confirma ser un elemento estratégico y relevante para la nutrición de gramíneas.

Apéndice: 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 (%)
Zadoks 13	28-Jul	Z13	10	15
Zadoks 30	29-Ago	Z30	30	40
Zadoks 39	04-Oct	Z39	55	58

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
Zadoks 13	S	SH	14,5	96	SW 14,7	5	0
Zadoks 30	S	SH	15,4	36	NE 10,0	0	0
Zadoks 39	S	S	17,5	45	E 1,1	4	0

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



Fotografía 1: Siembra del experimento. Año 2022. INTA Pergamino, Buenos Aires, Argentina.



Fotografía 2: Experimentos de nutrición durante la fase vegetativa.



Fotografía 3: Vista de las parcelas experimentales, el día de la cosecha. Arriba, de izquierda a derecha, T1, T2 y T3. Debajo, de izquierda a derecha T4, T5 y T6. INTA Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

Bibliografía Consultada

- * Abbas, M., Abdel-Lattif, H., Badawy, R., Abd El-Wahab, M., & Shahba, M. (2022). Compost and Biostimulants versus Mineral Nitrogen on Productivity and Grain Quality of Two Wheat Cultivars. *Agriculture*, 12(5), 699.
- * Cheng, Y., Elrys, A. S., Wang, J., Xu, C., Ni, K., Zhang, J., ... & Pacholski, A. (2022). Application of enhanced-efficiency nitrogen fertilizers reduces mineral nitrogen usage and emissions of both N₂O and NH₃ while sustaining yields in a wheat-rice rotation system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 324, 107720.
- * Dawar, K., Rahman, U., Alam, S. S., Tariq, M., Khan, A., Fahad, S., ... & Noor, M. (2022). Nitrification inhibitor and plant growth regulators improve wheat yield and nitrogen use efficiency. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(1), 216-226.
- * Faran, M., Farooq, M., Rehman, A., Nawaz, A., Saleem, M. K., Ali, N., & Siddique, K. H. (2019). High intrinsic seed Zn concentration improves abiotic stress tolerance in wheat. *Plant and Soil*, 437, 195-213.
- * 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.
- * Jégo, G., Sansoulet, J., Pattey, E., Beaudoin, N., Bélanger, G., Ziadi, N., ... & Justes, E. (2022). Determination of nitrogen dilution curves of corn, canola, and spring wheat in Canada using classical and Bayesian approaches. *European Journal of Agronomy*, 135, 126481.
- * Lan, T., He, X., Wang, Q., Deng, O., Zhou, W., Luo, L., ... & Gao, X. (2022). Synergistic effects of biological nitrification inhibitor, urease inhibitor, and biochar on NH₃ volatilization, N leaching, and nitrogen use efficiency in a calcareous soil-wheat system. *Applied Soil*

Ecology, 174, 104412.

* Mălinaş, A., Vidican, R., Rotar, I., Mălinaş, C., Moldovan, C. M., & Proorocu, M. (2022). Current Status and Future Prospective for Nitrogen Use Efficiency in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plants*, 11(2), 217.

* Owens, J. L., Wang, Z., Hao, X., Hall, L. M., Coles, K., Holzapfel, C., ... & Beres, B. L. (2022, March). Winter wheat response to enhanced efficiency fertilizers in the canadian prairies. In great plains soil fertility conference (p. 104).

* Radzikowska-Kujawska, D., John, P., Piechota, T., Nowicki, M., & Kowalczewski, P. Ł. (2022). Response of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) to Selected Biostimulants under Drought Conditions. *Agriculture*, 13(1), 1-14.

* Školníková, M., Škarpa, P., Ryant, P., Kozáková, Z., & Antošovský, J. (2022). Response of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) to Fertilizers with Nitrogen-Transformation Inhibitors and Timing of Their Application under Field Conditions. *Agronomy*, 12(1), 223.

* Yu, X., Keitel, C., Zhang, Y., Wangeci, A. N., & Dijkstra, F. A. (2022). Global meta-analysis of nitrogen fertilizer use efficiency in rice, wheat and maize. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 338, 108089.

* Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*, 14(6), 415-421.

* Zhang, G., Liu, S., Dong, Y., Liao, Y., & Han, J. (2022). A nitrogen fertilizer strategy for simultaneously increasing wheat grain yield and protein content: Mixed application of controlled-release urea and normal urea. *Field Crops Research*, 277, 108405.

* Zulfiqar, U., Hussain, S., Ishfaq, M., Matloob, A., Ali, N., Ahmad, M., ... & Ahmad, P. (2020). Zinc-induced effects on productivity, zinc use efficiency, and grain biofortification of bread wheat under different tillage permutations. *Agronomy*, 10(10), 1566.



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