

VARIANTES PARA LA FERTILIZACIÓN FOSFORADA DE TRIGO. EVALUACIÓN DE FUENTES, DOSIS Y ESTRATEGIAS DE APLICACIÓN PHOSPHORUS WHEAT FERTILIZATION. ASSESSMENT OF SOURCES AND RATES

INTA EEA Pergamino
CAMPAÑA 2019

Ings. Agrs. Gustavo N. Ferraris¹ y Fernando Sanchez

1.INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4,5 (B2700WAA) Pergamino 2.Rizobacter Argentina SA.
ferraris.gustavo@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

El trigo es un cultivo tradicional de la Región Pampeana Argentina, y el principal cereal de invierno que ocupa nuestra superficie agrícola. Además de su valor económico, la importancia en las rotaciones se ha incrementado hasta tornarse un participante indispensable de los sistemas agrícolas. Amplia y durable cobertura de residuos, gran capacidad de competencia con las malezas y consumo hídrico que permite disminuir napas y evitar encharcamiento son algunas de las causas por las que su presencia en los campos argentinos se ha revalorizado. Junto con la cebada, son las únicas especies que desarrollan una estratégica capacidad de crecimiento al final de la primavera, etapa clave para el normal progreso de los cultivos de verano. Es en esta época del año donde se incuban procesos de enmalezamiento y ascenso freático que limitan luego la productividad de soja y maíz.

El cultivo atraviesa durante su crecimiento una estación fría y seca, estando sometido en ocasiones a restricciones en la oferta de recursos, o condiciones poco favorables para la acumulación de biomasa. De este modo, un rápido y vigoroso crecimiento inicial resulta clave, para explorar el suelo, lograr cobertura y posibilitar la adquisición de recursos.

La producción de fertilizantes es una industria tradicional que incorporó escasas innovaciones durante muchos años. Sin embargo en el último tiempo la producción de nuevas fuentes así como tratamientos sobre aquellas de amplia difusión ha adquirido una dinámica particular. Así, es posible encontrar modificaciones en las formas químicas –algo común en las fuentes nitrogenadas- como en sus características físicas. Los fertilizantes fosforados microgranulados se cuentan en esta tendencia. La variación más importante consiste en el incremento en el número de gránulos por plántula, aumentando los puntos de captación y la superficie específica expuesta del fertilizante. La integración de varios nutrientes en el gránulo asegura una nutrición balanceada, puesta a disposición de manera uniforme e igualitaria para cada una de las plantas. Como la información disponible en fuentes tradicionales es muy difícil de extrapolar a estos nuevos fertilizantes, es necesario desarrollar información específica, como el ajuste de dosis, formas de aplicación y la complementariedad con las tradicionales.

Los objetivos del presente experimento son 1. Comparar dos fuentes microgranulas en trigo. 2. Ajustar dosis de aplicación. 3. Testear su eficiencia con las fuentes tradicionales y 4. Evaluar su complementariedad con aplicaciones de base en cobertura.

Hipotetizamos que 1. El uso de fertilizantes microgranulados permite obtener respuestas de magnitud similar a las fuentes tradicionales, ajustando la dosis y forma de aplicación y 2. Es posible proponer una combinación de fuente, dosis y alternativa de aplicación que optimice rendimiento.

Palabras clave: trigo, fuentes, fósforo, microelementos, tecnología de formulación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el año 2019, 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 28 de Junio se sembró la variedad Bioceres Guayavo, cultivar de ciclo intermedio largo y alto potencial de rendimiento. Se aplicaron 215 kg ha⁻¹ de Urea incorporados inmediatamente antes de la siembra. En el experimento, se utilizó un diseño en bloques completos al azar con 4 repeticiones. Se realizó una aplicación de fungicida en los estadíos Zadoks 32 y 41, para permitir un normal tránsito por el período crítico y llenado de los granos.

El diseño estadístico fue en bloques completos al azar con 4 repeticiones. Se evaluaron estrategias para la fertilización con fósforo (P), azufre (S) y microelementos, los cuales se presentan en la Tabla 1. Por su parte, el análisis de suelo del sitio se detalla en la Tabla 2.

Tabla 1: *Tratamientos de estimulación fisiológica y fertilización con Nutrition Grow. Campaña 2019.*

	Alternativa de aplicación	Dosis	Estado de aplicación
T1	Control absoluto		
T2	Microstar PZ (MPZ)	30 kg ha ⁻¹	Siembra
T3	Microstar PZ	40 kg ha ⁻¹	Siembra
T4	Microstar CMB (MCMB)	30 kg ha ⁻¹	Siembra
T5	Microstar CMB	40 kg ha ⁻¹	Siembra
T6	Fosfato monoamónico (MAP)	90 kg ha ⁻¹	Siembra
T7	Fosfato monoamónico Microstar PZ	60 kg ha ⁻¹ 20 kg ha ⁻¹	Voleo 15 d.a.s. Siembra

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

Profundidad	pH	Materia Orgánica	P-disp.	N-Nitratos 0-20 cm	N-Nitratos suelo 0-60 cm	S-Sulfatos suelo 0-20 cm	Zn
cm	agua 1:2,5	%	ppm	ppm	kg ha ⁻¹	ppm	ppm
0-20 cm	5,6	2,26	15,2	9,7	45,1	8,0	0,86
20-40 cm	5,9	1,67	13,8	5,1		7,2	
40-60 cm				2,6			

Se realizó un recuento de plantas emergidas 15 días después de emergencia, y en Z32 se determinó la biomasa acumulada por el cultivo. En Z65 se cuantificó cobertura, NDVI por Green seeker, y el vigor, índice verde por Spad y altura de planta.

La cosecha se realizó en forma mecánica, recolectando la totalidad de la parcela. Sobre una muestra de cosecha 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

Típico cereal de invierno, el trigo con frecuencia debe atravesar agudos procesos de estrés. La campaña 2019 no ha sido ajena a este escenario. El cultivo comenzó su ciclo con una buena recarga inicial, algo superior a la precedente. Sin embargo, esta aparente abundancia dio paso a un duro invierno, con bajas precipitaciones que se prolongaron hasta muy entrada la primavera (Figura 1). En esta etapa, se intercalaron algunas heladas severas con baja humedad relativa, siendo agresivas para el área foliar. Las más destacadas se registraron entre el 3 y 5 de septiembre (Figura 2). La acumulación de biomasa se vio reducida, y el aporte externo de nutrientes resultó crítico por la baja mineralización. La prolongación del clima invernal provocó una cosecha anticipada, que sin embargo no afectó de manera crucial los rendimientos, los cuales podrían considerarse aceptables. Por último, el cociente fototermal fue favorable (Figura 3), el máximo desde 2013 (Tabla 3) dado el escaso número de días nublados y/o con precipitaciones.

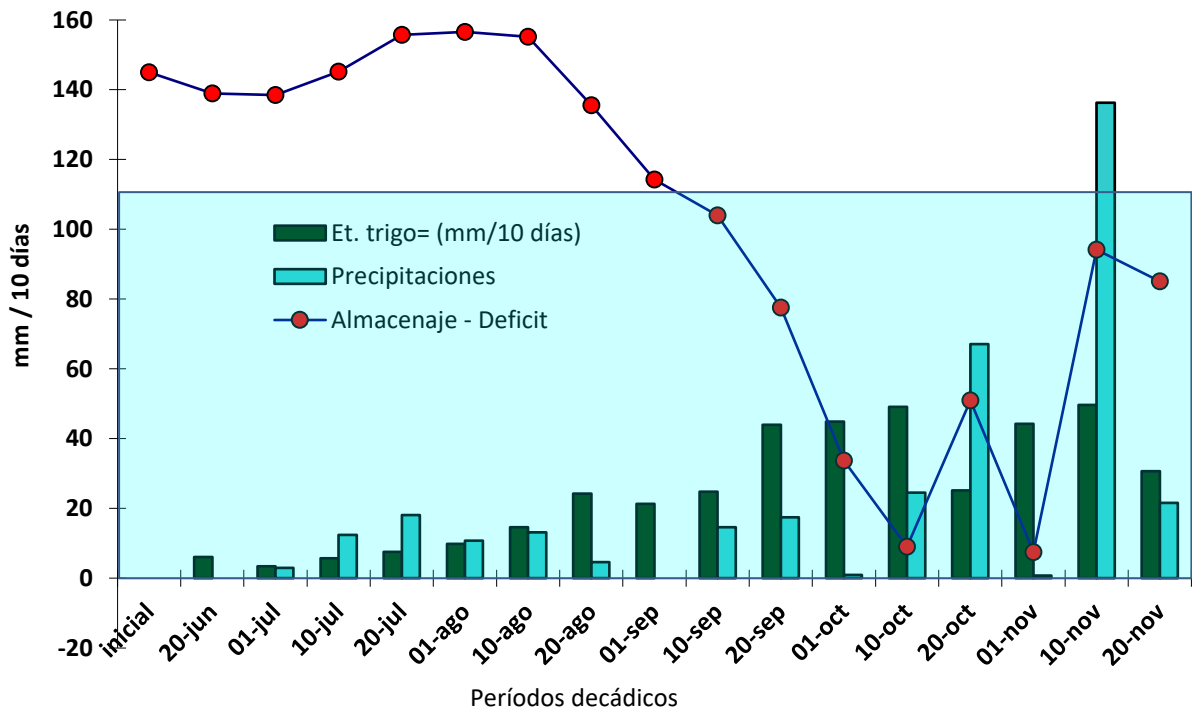


Figura 1: Precipitaciones, evapotranspiración y agua útil remanente (mm). Cuando el almacenaje cae dentro del área celeste, la demanda del cultivo podría no ser abastecida completamente, generando un déficit de evapotranspiración. Valores acumulados cada 10 días en mm. Trigo, EEA Pergamino, año 2019. Agua útil inicial (150 cm) 145 mm. Precipitaciones totales durante el ciclo 345,5 mm.

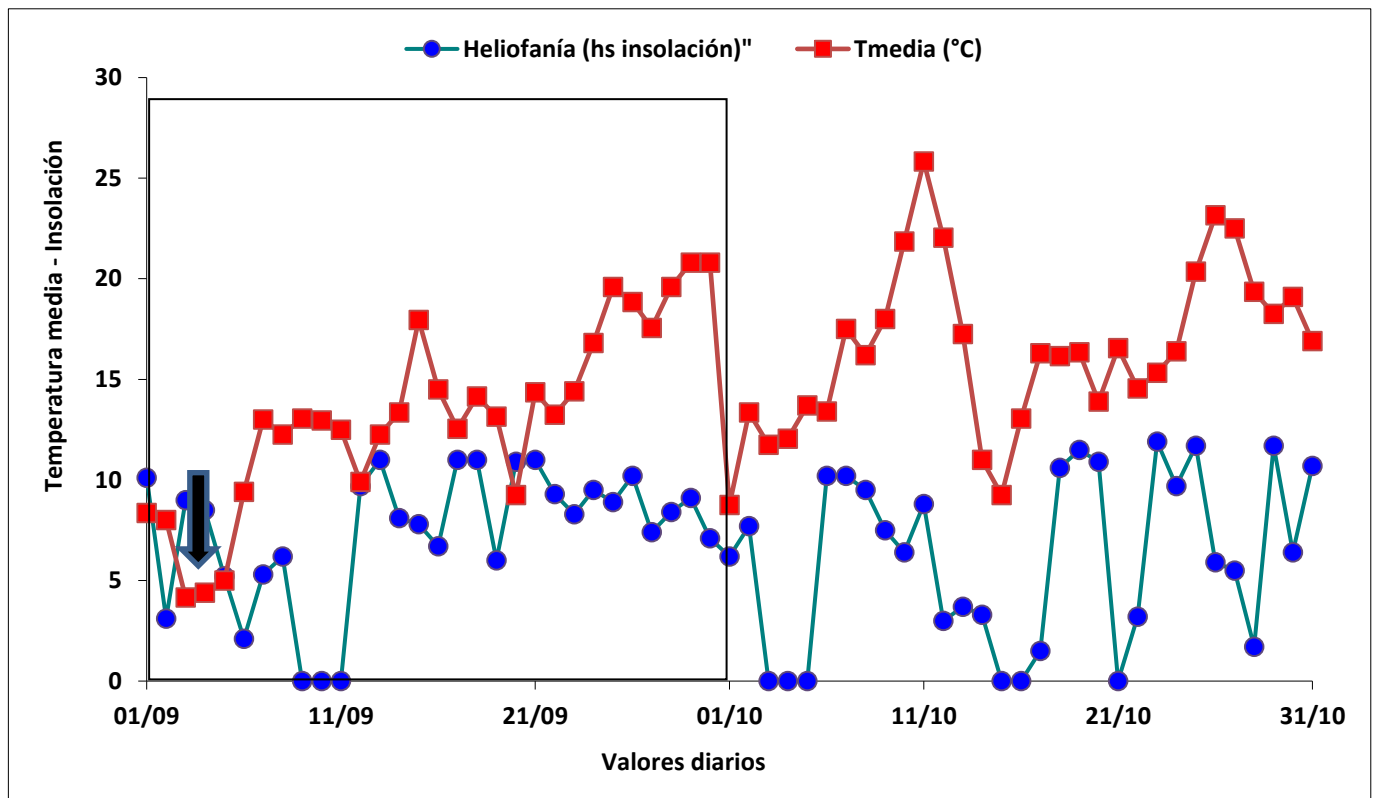


Figura 2: Horas diarias de insolación y temperaturas medias diarias en el período comprendido entre 1 de Setiembre y 31 de Octubre de 2019. Datos estación meteorológica INTA Pergamino. La flecha negra señala la ocurrencia de heladas durante las madrugadas del 3, 4 y 5 de Setiembre.

En la Figura 3 se presenta el cociente fototermal (Q) (Fisher, 1985), el cual representa la relación existente entre la radiación efectiva diaria en superficie y la temperatura media diaria, y es una medida del

potencial de crecimiento por unidad de tiempo térmico de desarrollo. En 2019 se verificaron pocos días nublados (Figura 3 y Tabla 3). Fue el máximo observado desde 2013, aunque inferior al año 2009, el más favorable de los últimos 14 ciclos (Tabla 3).

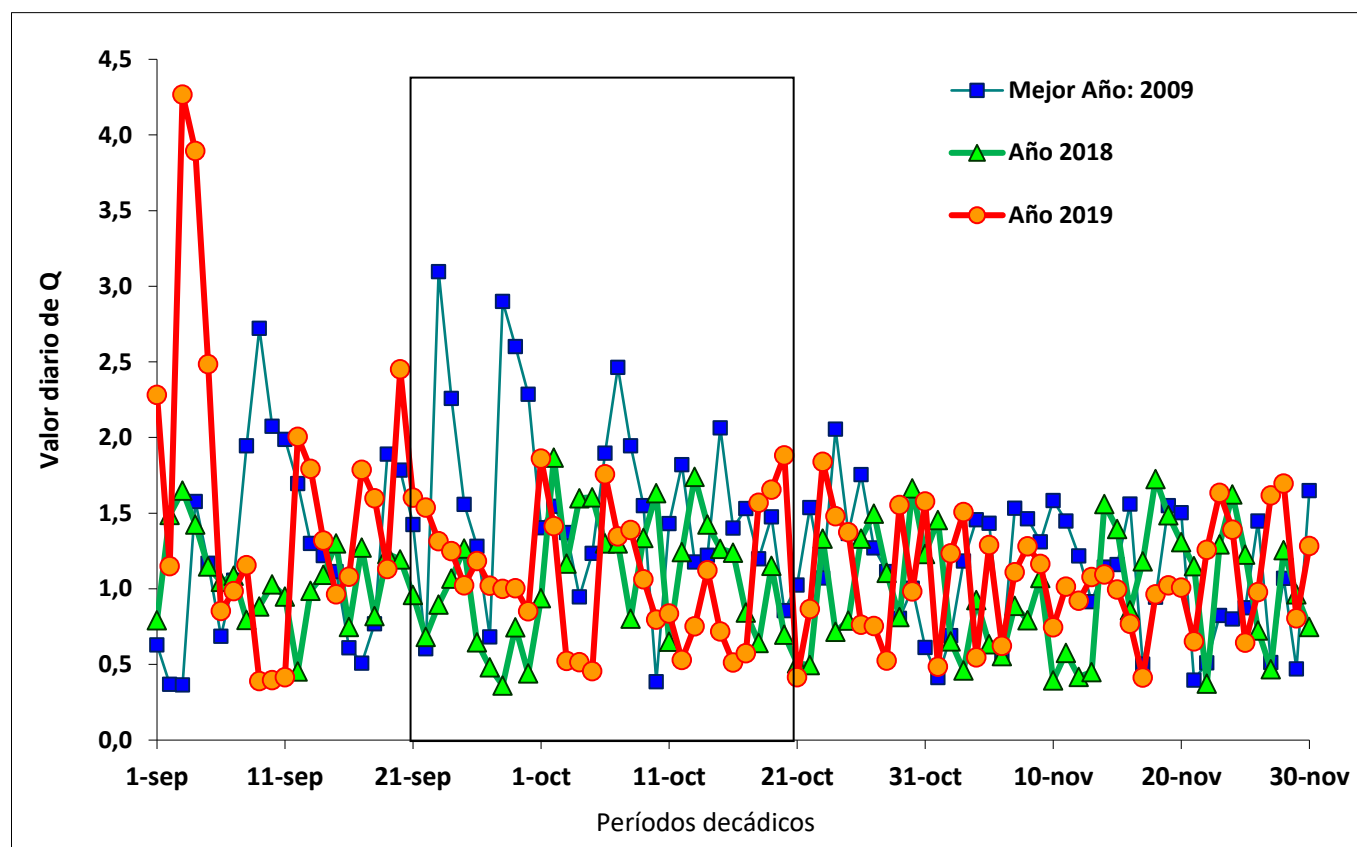


Figura 3: Cociente fototermal (Q) en el período comprendido entre el 1-septiembre y 30-noviembre de 2019, y su comparación con el año anterior y el mejor año de la última década. Datos estación meteorológica INTA Pergamino. Año 2019.

Tabla 3: Insolación efectiva (hs), Temperatura media ($^{\circ}C$) y Cociente fototermal Q (T base $0^{\circ}C$) para el período crítico del cultivo de Trigo en la localidad de Pergamino durante las últimas 14 campañas. 1 al 30 de octubre en 2010, y 15 de setiembre al de 15 de octubre en el resto de los años.

Condiciones ambientales	Año 2005	Año 2006	Año 2007	Año 2008	Año 2009	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016	Año 2017	Año 2018	Año 2019
Insolación Efectiva media (hs)	7,2	7,1	5,9	6,9	8,3	7,45	6,8	5,0	5,6	6,2	5,3	5,4	6,2	7,0	7,0
T media del período $^{\circ}C$	15,1	17,1	15,0	16,4	13,4	14,8	14,8	14,3	13,5	15,1	13,8	15,5	15,8	16,6	15,7
Cociente fototermal (Q) ($Mj\ m^{-2}\ día^{-1}\ ^{\circ}C^{-1}$)	1,24	1,10	1,12	1,10	1,56	1,34	1,19	1,11	1,20	1,11	1,11	0,98	1,05	1,09	1,16

b) Resultados de los experimentos

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

Tabla 4: *Parámetros morfológicos del cultivo: Número de plantas emergidas, materia seca inicial, cobertura e interceptación, vigor, NDVI por Green seeker, lecturas de intensidad de verde en unidades Spad, vigor, altura de plantas (Z65), componentes y rendimiento de grano. Tratamientos de fertilización fosforada en Trigo. Pergamino, año 2019.*

	T	Tratamientos	Plantas m ⁻²	MSeca Z33	Cobertura e Intercept Z65	NDVI GS 45	Spad Z65
Trigo	T1	Control	250	2240	88,3	0,46	49,5
	T2	Microstar PZ 30	252	2775	94,9	0,59	49,4
	T3	Microstar PZ 40	255	3015	96,4	0,60	50,1
	T4	Microstar CMB 30	254	2725	93,8	0,58	48,9
	T5	Microstar CMB 40	259	2820	95,1	0,58	49,3
	T6	MAP 90	241	3160	95,0	0,60	49,2
	T7	MAP 60 (v) + Micstar PZ 20	248	3020	95,3	0,59	49,5
R ² vs rend			0,00	0,88	0,96	0,95	0,02
	T	Tratamientos	Vigor Z65 (1-5)	Altura planta cm	NG m ⁻²	PG	Rendimiento kg ha ⁻¹
Trigo	T1	Control	3,0	80	9501,1	40,6	3857,5
	T2	Microstar PZ 30	3,9	85	11736,4	41,5	4870,6
	T3	Microstar PZ 40	4,1	85	12231,7	41,2	5039,5
	T4	Microstar CMB 30	4,0	84	11479,6	40,9	4695,2
	T5	Microstar CMB 40	4,0	85	11777,1	40,5	4769,7
	T6	MAP 90	4,1	86	12120,5	40,8	4945,2
	T7	MAP 60 (v) + Micstar PZ 20	4,1	85	12584,3	40,3	5071,5
	P=						0,0007
	CV=						6,8
R ² vs rend			0,94	0,91	0,99	0,04	

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.

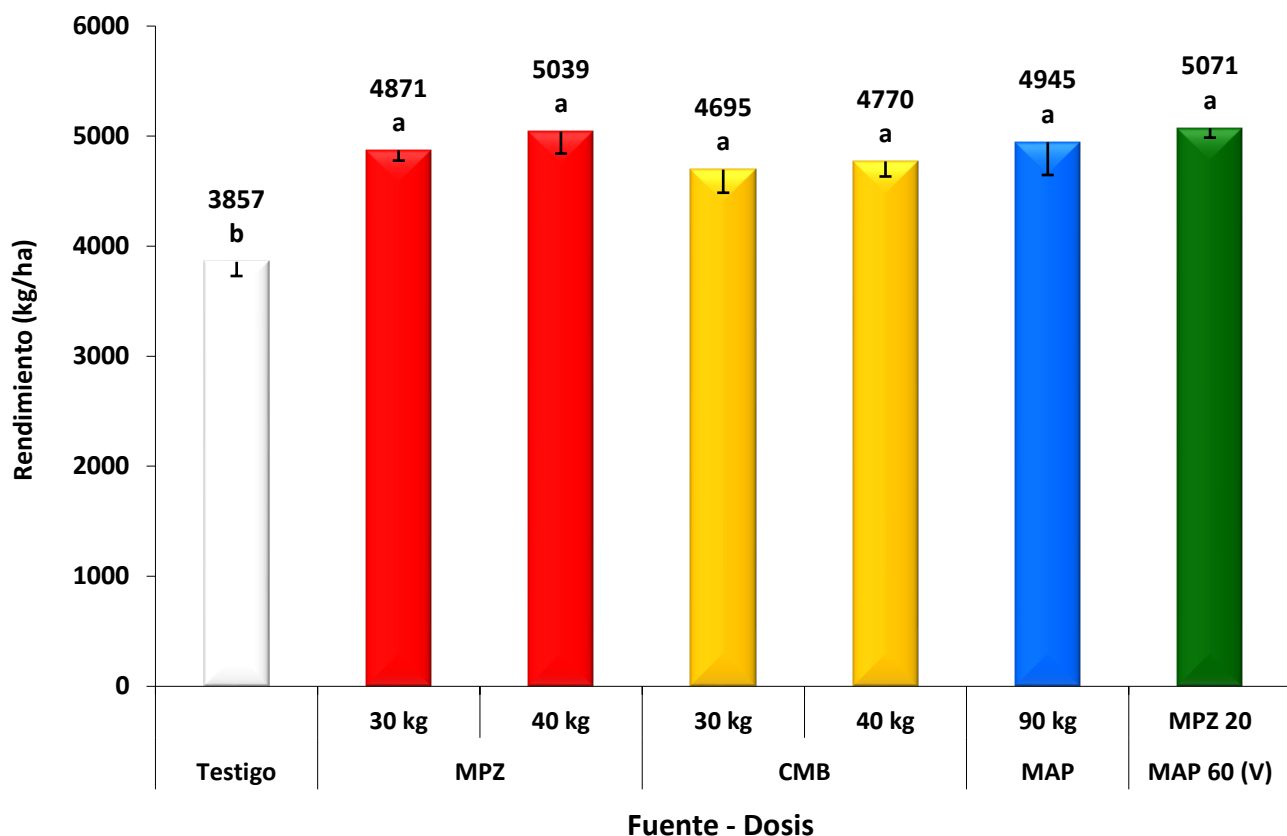


Figura 4: Producción media de grano de trigo según tratamientos de fertilización de base con fósforo, azufre y microelementos. Letras distintas sobre las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos ($LSD \alpha=0,05$; $DMS= 351,4 \text{ kg ha}^{-1}$). Las barras de error indican la desviación standard de la media. Para una descripción completa de los tratamientos ver Tabla 1. INTA Pergamino, año 2019.

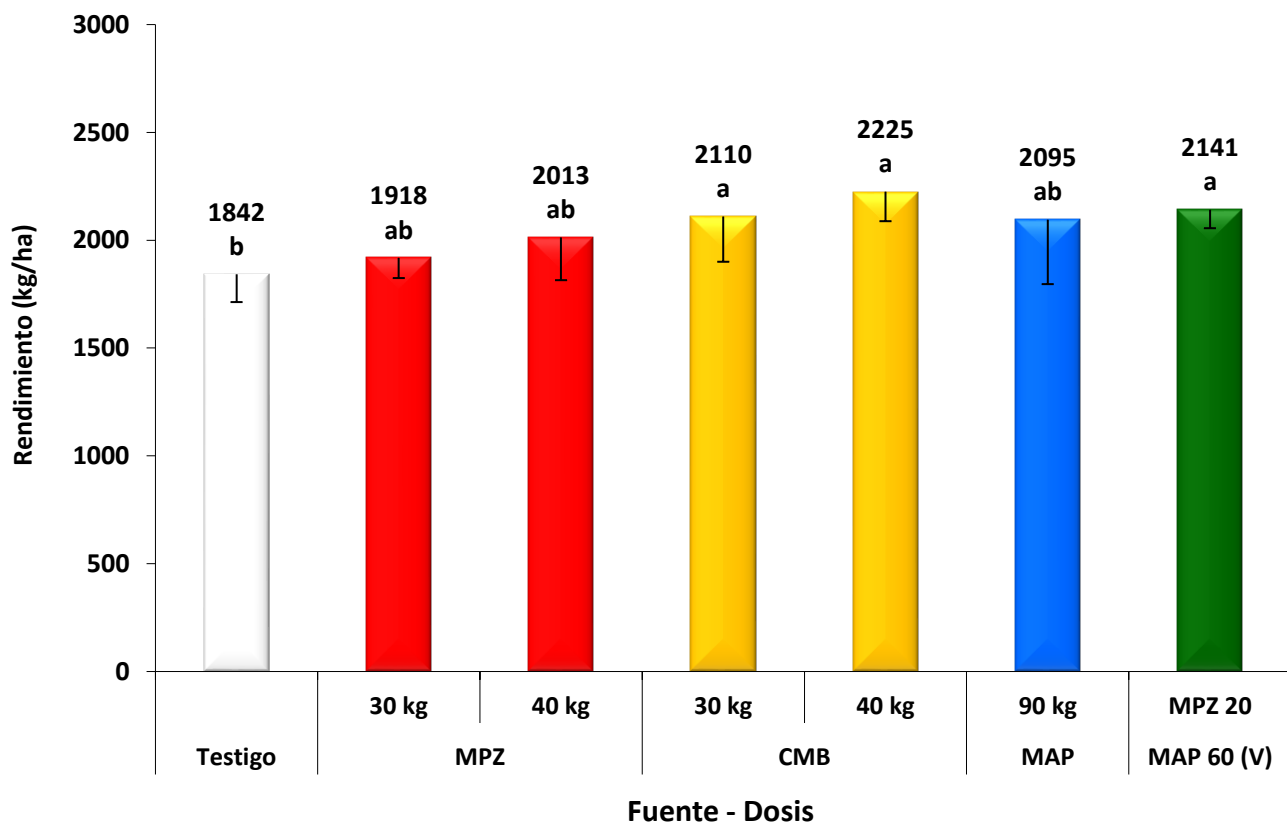


Figura 4: Rendimiento residual de soja de segunda según tratamientos de fertilización aplicados en trigo. Letras distintas sobre las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos ($LSD \alpha=0,10$). Las barras de error indican la

desviación standard de la media. Para una descripción completa de los tratamientos ver Tabla 1. INTA Pergamino, año 2019.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los rendimientos alcanzaron a 4749,9 kg ha⁻¹, lo cuales pueden considerarse muy buenos dadas las condiciones ambientales, y la presencia de un tratamiento sin fertilización fosforada que disminuye el rendimiento medio. Estos rendimientos son comparables con los obtenidos durante la campaña precedente.

El sitio registró una pobre dotación inicial de P, anticipando una condición de respuesta positiva a la fertilización, lo cual habilita la comparación de estrategias (Tabla 2). Se determinaron diferencias estadísticamente significativas en los rendimientos ($P=0,0007$; $cv=6,8\%$). Todos los tratamientos fertilizados superaron ampliamente al Control, el cual sin embargo alcanzó una productividad aceptable (Tabla 4 y Figura 4). Los rendimientos de las estrategias no mostraron diferencias estadísticas (Figura 4). No obstante, se visualizan tendencias que es válido destacar. En promedio, Microstar PZ (MPZ) alcanzó rendimientos de mayor magnitud en comparación a Microstar CMB (MCMB), evidenciando su singular adaptación a gramíneas. Ambos reflejaron efecto de dosis. El nivel más elevado de MPZ alcanzó rendimientos superiores a MAP 90, probablemente a causa de la contribución de S y Zinc (Zn). La estrategia dual, MAP 60 voleo + MPZ 20 en línea maximizó la productividad con un balance adecuado entre oferta y extracción de P. Resta evaluar el comportamiento residual de los tratamientos en soja de segunda, lo cual está previsto en el presente proyecto.

Los tratamientos incrementaron fuertemente la biomasa inicial, cobertura-intercepción y NDVI en período crítico. Lo mismo sucedería con el aspecto visual – cuantificado a través del vigor- altura final y NG. Todas estas variables son asociadas al crecimiento y producción de biomasa, efecto característico de la fertilización fosfatada. MPZ se destaca en cobertura, biomasa inicial y NDVI, sugiriendo un efecto de Zn sobre estos parámetros.

La relación con rendimiento fue robusta en variables intermedias como MS inicial ($r^2=0,88$), intercepción ($r^2=0,96$), NDVI por Green seeker ($r^2=0,95$), la calificación del vigor ($r^2=0,94$) y altura de plantas ($r^2=0,91$). Entre los componentes numéricos del rendimiento, NG ($r^2=0,99$) fue el más relevante ($r^2=0,99$) (Tabla 4). Todas ellas mostraron una tendencia que logró anticipar muy ajustadamente los rendimientos finales.

La soja de segunda expresó diferencias en los rendimientos ($P<0,10$; $cv=6,31\%$) como resultado de los rendimientos aplicados en trigo. En cierta medida, la jerarquía entre las fuentes fue invertida respecto de trigo, ya que Microstar PZ prevaleció en trigo y Microstar CMB en soja de segunda (Figuras 3 y 4). En esta última, se habría manifestado el efecto de nutrientes que resultan de singular importancia para esta especie, como S, boro (B) y Cobalto (Co) – Molibdeno (Mo). También, el uso de MAP 90 en línea y MAP 60 (v) + MPZ 20 expresaron residualidad en soja, aunque probablemente no habrían alcanzado el rendimiento máximo por su escaso aporte de S.

Como conclusión, el experimento permitió contrastar el uso de microgranulados con el tradicional MAP mostrando un desempeño similar sobre rendimiento, y jerarquizar entre ellos a MPZ por su balance ajustado a los rendimientos de trigo. El incremento de rendimiento por dosis demuestra una probable no-saturación de respuesta dentro del rango evaluado. Los resultados obtenidos permiten aceptar las hipótesis propuestas, ya que el experimento permitió demostrar 1) efectos positivos de los tratamientos de fertilización fosforada, 2) Identificar combinaciones de dosis y fuentes con una tendencia superior. El análisis preliminar realizado en trigo, la jerarquía entre fuentes y dosis se modifica en parte cuando se analiza en conjunto la secuencia trigo – soja de segunda.



Fotografía 1: Vista de los experimentos de la campaña 2019. INTA Pergamino, Argentina.



Fotografía 2: Cosecha de los experimentos de la campaña 2020. INTA Pergamino, Argentina.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- * Abid, M., Shao, Y., Liu, S., Wang, F., Gao, J., Jiang, D., ... & Dai, T. (2017). Pre-drought priming sustains grain development under post-anthesis drought stress by regulating the growth hormones in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Planta*, 1-16.
- * Cakman, I. 2011. Impacts of Mineral Nutrition on Growth of Crop Plants. pp 7-12. En: Actas del Simposio Fertilidad 2011. "La Nutrición del cultivo integrada al Sistema de Producción". IPNI Cono Sur-Fertilizar Asociación Civil. 269 pp.
- * Dona, W. G., King, T., & Schoenau, J. J. (2019, March). Response of black bean, lentil and chick pea to starter nitrogen and phosphorus fertilizers. In *Soils and Crops Workshop*.
- * Gomez-Coronado, F., Poblaciones, M. J., Almeida, A. S., & Cakmak, I. (2017). Combined zinc and nitrogen fertilization in different bread wheat genotypes grown under mediterranean conditions. *Cereal Research Communications*, 45(1), 154-165.
- * Grant, C. A., & Flaten, D. N. (2019). 4R Management of Phosphorus Fertilizer in the Northern Great Plains. *Journal of Environmental Quality*.
- * Hopkins, B. G. (2019). Phosphorus use in high yield cropping systems. *Better crops with plant food*, 103, 46-9.
- * Magney, T. S., Eitel, J. U., & Vierling, L. A. (2017). Mapping wheat nitrogen uptake from RapidEye vegetation indices. *Precision Agriculture*, 18(4), 429-451.
- * Ova, E. A., Kutman, U. B., Ozturk, L., & Cakmak, I. (2015). High phosphorus supply reduced zinc concentration of wheat in native soil but not in autoclaved soil or nutrient solution. *Plant and soil*, 393(1-2), 147-162.
- * Scheid López, A. 2006. Micronutrientes: La experiencia brasilera. Filosofía de aplicación y eficiencia agronómica. pp. 29-78. En: M Vázquez (ed). *Micronutrientes en la agricultura*. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. 207pp.
- * Verardi, J., dos Santos, N. T., Alves, A., Rafain, E. F., & da Rosa, D. P. (2016, September). Nova fonte de fósforo na agricultura: validação no solo e na máquina. In *6º Mostra de Iniciação Científica, Tecnológica e de Inovação*.
- Watts-Williams, S. J., Turney, T. W., Patti, A. F., & Cavagnaro, T. R. (2014). Uptake of zinc and phosphorus by plants is affected by zinc fertiliser material and arbuscular mycorrhizas. *Plant and soil*, 376(1-2), 165-175.
- * Wang, S., Li, M., Liu, K., Tian, X., Li, S., Chen, Y., & Jia, Z. (2017). Effects of Zn, macronutrients, and their interactions through foliar applications on winter wheat grain nutritional quality. *PloS one*, 12(7), e0181276.
- * Zhang, W., Liu, D., Li, C., Cui, Z., Chen, X., Russell, Y., & Zou, C. (2015). Zinc accumulation and remobilization in winter wheat as affected by phosphorus application. *Field Crops Research*, 184, 155-161.
- * Zhu, Y. G., Smith, S. E., & Smith, F. A. (2001). Zinc (Zn)-phosphorus (P) interactions in two cultivars of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) differing in P uptake efficiency. *Annals of Botany*, 88(5), 941-945.