



FACULTAD DE AGRONOMÍA
Universidad Nacional de La Pampa

EFFECTO DE DISTINTAS FUENTES DE FÓSFORO Y SU INTERACCIÓN CON NITRÓGENO SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TRIGO

“Trabajo final de graduación presentado para obtener el título de Ingeniero Agrónomo”

Autor: Martín, Christian Fernando

Directora: Dra. Fernández, Romina
Cátedra de Manejo de suelos FA – UNLPam
INTA

Co-director: Dr. Quiroga, Alberto Raúl
Cátedras de Edafología y Manejo de Suelos FA - UNLPam
INTA

Evaluadores:
Dra. Gaggioli, Carolina
Mg. Saks, Matías

FACULTAD DE AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Santa Rosa (La Pampa)- Argentina 2023

INDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN	5
HIPÓTESIS	7
OBJETIVO	7
MATERIALES Y MÉTODOS	7
Diseño experimental y tratamientos	7
Determinaciones	9
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
1- Respuesta en rendimiento a fósforo con y sin fertilización nitrogenada.	11
2- Respuesta en rendimiento de grano a la fertilización con diferentes fuentes de P manteniendo N constante.	12
CONCLUSIONES	19
BIBLIOGRAFÍA	20

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de distintas fuentes de fósforo y su interacción con nitrógeno, sobre el rendimiento, calidad y extracción de nutrientes del cultivo de trigo. El ensayo fue llevado a cabo sobre un Haplustol éntico, en el cual se establecieron 8 tratamientos (T) de fertilización. El T 1 corresponde al testigo (sin agregado de P), en los T 2, 3, 4 y 5 se aplicó 18,3 kg ha⁻¹ de P. Los T 6, 7 y 8, corresponden a fertilizantes que se recomiendan utilizar a razón de 30 kg ha⁻¹, lo que corresponde a la aplicación de 5,25 kg de P ha⁻¹. En parcelas divididas, se establecieron dos manejos del nitrógeno, sin fertilización y con fertilización. En todos los tratamientos con fósforo el agregado de N presentó diferencias estadísticas significativas en rendimiento. La EUA fue mayor en aquellos T cuyos fertilizantes poseen una formulación balanceada de nutrientes. No se encontraron diferencias significativas en concentración de proteína. Los T 2, 3, 4 y 5 presentaron balance positivo entre el P aplicado con fertilizante y extraído en el grano, los T 6, 7 y 8 tuvieron balance negativo, mientras que el T 1 (testigo) fue la peor situación.

Palabras clave: región semiárida, eficiencia en el uso del agua, balance de fósforo,

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of different sources of phosphorus and its interaction with nitrogen, on the yield, quality and nutrient extraction of the wheat crop. The field experiment was carried out on an entic Haplustol, in which 8 fertilization treatments (T) were established. T 1 corresponds to the control (without adding P), in T 2, 3, 4 and 5, 18,3 kg ha⁻¹ of P were applied. T 6, 7 and 8 correspond to fertilizers that are recommended to be used at a rate of 30 kg ha⁻¹, which corresponds to the application of 5,25 kg of P ha⁻¹. In divided plots, two nitrogen management procedures were established: without fertilization and with

fertilization. In all the treatments with phosphorus, the addition of N presented statistically significant differences in yield. The WUE was higher in those treatments whose fertilizers have a balanced formulation of nutrients. No significant differences in protein concentration were found. T 2, 3, 4 and 5 presented a positive balance between the P applied with fertilizer and extracted in the grain, T 6, 7 and 8 had a negative balance, while T 1 (control) was the worst situation.

Key words: semiarid region, water use efficiency, phosphorus balance.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de trigo es uno de los principales cereales de invierno en los sistemas de producción a nivel país. Considerando las últimas 10 campañas, la superficie sembrada de este cereal se encuentra en las 5.500.000 ha., con un rendimiento promedio en 2977 kg ha⁻¹. En la provincia de La Pampa, el área sembrada correspondió a poco más del 5% del total nacional (301.543 ha) con un rendimiento promedio por debajo del nacional y que correspondió a 2248 kg ha⁻¹ (MAGYP).

Si bien el potencial de rendimiento del trigo y demás cultivos agrícolas ha ido aumentando en las últimas décadas, existe una baja reposición de los nutrientes exportados con las cosechas (Suñer & Galantini, 2012). Según Cruzate & Casas (2017) el porcentaje de reposición de nutrientes totales es de aproximadamente un 34% de lo extraído, con un 34% de reposición de nitrógeno (N), 60% de fósforo (P), 6% de potasio (K) y 35% de azufre (S), situación que conduce a la disminución progresiva en los contenidos de macro y micronutrientes en los suelos. Esta continua extracción ha mostrado una disminución importante en la disponibilidad de P, S y Zn en los suelos en áreas que originalmente se encontraban bien provistas (García, 2003, Cordell et al., 2009).

Con respecto al P, la fertilización mineral es la principal vía de entrada del nutriente al sistema (Vázquez, 2002), y a largo plazo es una práctica válida para disminuir los efectos de la variabilidad climática sobre el rendimiento de los cultivos, especialmente en suelos de menor fertilidad (Manenti et al., 2020). Contribuyendo en respuestas positivas en rendimiento, calidad de grano y tolerancia a sequía (Rubio et al., 2012; Suñer & Galantini, 2012).

Los resultados de estudios de la tecnología de aplicación de fertilizantes con P muestran resultados diferentes (Rillo et al., 2016) debido a que varios factores relacionados al suelo (mineralogía, pH, materia orgánica, raíces, impedancias físicas) regulan la disponibilidad del P

para el cultivo. Además, en los ambientes semiáridos la movilidad de P se reduce aún más por los déficits de agua en el suelo que restringen la difusión (Kang et al., 2014). Pero debido a la baja recuperación de fósforo del fertilizante, generalmente $< 25\%$ en el primer año, el fósforo puede acumularse en el suelo bajo la adición continua de fertilizantes fosforados (Rubio et al., 2007; Ciampitti et al., 2011; Álvarez & Noellemeyer, 2022). Esto afecta positivamente la productividad de los cultivos, la eficiencia en el uso del agua y del resto de los nutrientes (García et al., 2005; Ciampitti et al., 2011; Kang et al., 2014; López et al., 2019) y desencadena en mayores tasas de extracción de nutrientes tales como S y Zn que no son normalmente repuestos en los sistemas de producción.

En la Región Semiárida Pampeana (RSP) hay estudios de rendimiento por utilización de P incorporado vs voleado comparando además distintas fuentes (Bono & Romano, 2010), pero estos datos ya tienen 15-20 años de antigüedad. En este periodo de tiempo, los suelos han perdido importantes cantidades de P, por lo que es necesario validar los resultados encontrados anteriormente.

Actualmente se encuentran en el mercado fertilizantes fosforados tradicionales que solo tienen P en su formulación y además otros tipos de fertilizantes sólidos (granulados o microgranulados) que apuntan a una nutrición más balanceada con el aporte de nitrógeno, azufre, zinc, donde cada microgránulo presenta la misma composición a fin de garantizar distribución uniforme de los nutrientes. Algunas de las fuentes utilizadas contienen baja concentración de P en su formulación, y además se deben utilizar en bajas dosis por recomendación de las empresas que las comercializan.

HIPÓTESIS

La nutrición fosforada junto a nutrientes como nitrógeno, azufre y zinc contribuirán con mayores rendimientos del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) pero también a mayores tasas de extracción de los mismos.

OBJETIVO

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de diferentes fuentes de fósforo y su interacción con nitrógeno sobre el rendimiento, la calidad y la extracción de nutrientes en el grano de trigo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se llevó adelante en el establecimiento “Don Nicolás” ubicado a 10 km de la localidad de Anguil, La Pampa (36°33′57.36″S 64°03′53.78″ O). El suelo fue clasificado como Haplustol entico, de textura arenosa franca. Las características del suelo a 0-20 cm de profundidad se pueden observar en la Tabla 1.

Sobre un suelo en siembra directa con barbecho químico el 15/07/2021 se sembró trigo (*Triticum aestivum*) variedad DM Algarrobo a una densidad de 85 kg ha⁻¹ (200 pl ha⁻¹).

Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Textura	MO (%)	P (ppm)	pH	S (ppm)	Zn (ppm)	N (kg ha ⁻¹)
4	19	77	arenosa franca	1,6	8	6,9	6,5	0,45	65

Tabla 1: Características del suelo en 0-20 cm de profundidad. MO: materia orgánica, P: fósforo.

S: azufre, Zn: zinc. N: nitrógeno de nitratos a 0-60 cm

Diseño experimental y tratamientos

El diseño fue en bloques aleatorizados completos con cuatro repeticiones, en cada bloque se establecieron 8 tratamientos, la unidad experimental fue de 350 m² (7 m x 50 m).

Los tratamientos consistieron en distintas fuentes de fertilizante fosforado aplicado a la siembra, en la misma línea, por debajo de la semilla. Algunas fuentes de P utilizadas contienen en su formulación otros nutrientes como nitrógeno, azufre y cinc. En la Tabla 2 se presentan las diferentes fuentes que se detallan con números consecutivos y la cantidad de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y cinc (Zn) correspondiente a la dosis aplicada.

El tratamiento 1 corresponde al testigo (sin agregado de P), en los tratamientos 2, 3, 4 y 5 se aplicó 18,3 kg ha de P y en función de la formulación de cada fertilizante otros nutrientes que se presentan en la Tabla 2. Los tratamientos 6, 7 y 8, son fertilizantes donde la recomendación al productor es utilizarlos a razón de 30 kg ha⁻¹, lo que corresponde a la aplicación de 5,25 kg de P ha⁻¹ y otros nutrientes que se pueden observar en la Tabla 2.

En parcelas divididas, se establecieron dos manejos del nitrógeno, sin fertilización y con fertilización (cN). En el tratamiento 1 se aplicó 60 kg ha⁻¹ de N. En cambio, en los tratamientos 2 a 8, se consideró alcanzar 60 kg ha⁻¹ de N teniendo en cuenta lo aportado por las fuentes fosforadas y el resto en forma de urea granulada que se aplicó en macollaje del cultivo de trigo.

Tabla 2: Fuentes fosforadas y dosis aplicados a siembra del cultivo de trigo. Nutrientes aplicados correspondiente a la dosis presentada. Sin aplicación de fertilizante Tratamiento 1.

Tratamiento	Dosis	N	P	S	Zn
		kg ha ⁻¹			
1	0				
2	80	8,8	18,3		
3	110	7,7	18,3	5,5	0,9
4	105	12,6	18,3	11	1,1
5	105	12,6	18,3	11	1,05
6	30	3	5,25	1,08	0,6
7	30	3	5,25	1,08	0,6
8	30	3	5,25	1,08	0,6

Determinaciones

Para evaluar la dinámica hídrica se analizó la cantidad y distribución de las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo de trigo. A siembra, floración y cosecha de cultivo se determinó humedad cada 20 cm de profundidad hasta los 140 cm mediante el método gravimétrico. Además, en 0-20, 20-60 y 60-100 cm se determinó el contenido de nitratos (acromotrópico) y densidad aparente (método del cilindro)

El cultivo de trigo se cosechó manualmente el 17/12/2021 en una superficie de 0,70 m² por parcela en el estadio de madurez fisiológica. Las muestras luego fueron trilladas con trilladora estacionaria en la EEA INTA Anguil.

A partir de las precipitaciones, los contenidos de humedad y la densidad aparente, se calculó el uso consuntivo (UC) según la siguiente ecuación (López & Arrúe, 1997)

$$UC = ATi + Pp - ATf$$

Dónde: ATi: Agua total inicial a 140 cm de profundidad (mm) Pp: Precipitaciones acumuladas durante el ciclo del cultivo (mm) ATf: Agua total final a 140 cm de profundidad (mm).

La eficiencia de uso del agua (EUA) se determinó a partir de la siguiente ecuación (Quiroga et al., 2006)

$$EUA \text{ (kg mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}\text{)} = \text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)} / \text{UC (mm)}.$$

Sobre el grano entero se determinó el contenido de proteína (NIRS), mientras que sobre el grano molido y tamizado por malla de 2 mm de diámetro el contenido de P, S y Zn para cuantificar la extracción de los nutrientes. Para la determinación de P, S y Zn las muestras de granos molidas fueron digeridas usando ácido nítrico pro-análisis Merck en un digestor de microondas MARS-

5, CEM Corporation, USA, según las siguientes normas y procedimientos: Norma SW-3052 ((potencia: 400 W; Presión (máx.): 800 psi; Temperatura (máx): 180 ° C; tiempo: 15 min.). El ácido utilizado fue previamente ultrapurificado (sub-boiled) mediante un destilador Berghof distillacid BSB-939-IR, GmbH, Alemania. Las determinaciones elementales fueron efectuadas con un Espectrómetro de Emisión Atómica por Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES), Shimadzu Simultáneo 9000 según Norma EPA 200.7

Se utilizó el software estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2017), y se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) con la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las precipitaciones durante los meses de barbecho (marzo, abril y mayo de 2021) fueron superiores al promedio comprendido entre 1973-2021. Por el contrario, las precipitaciones en junio, julio y agosto fueron escasas. Durante el mes de septiembre las precipitaciones fueron el doble que las históricas mientras que en los meses de octubre y noviembre fueron similares (Figura 1).

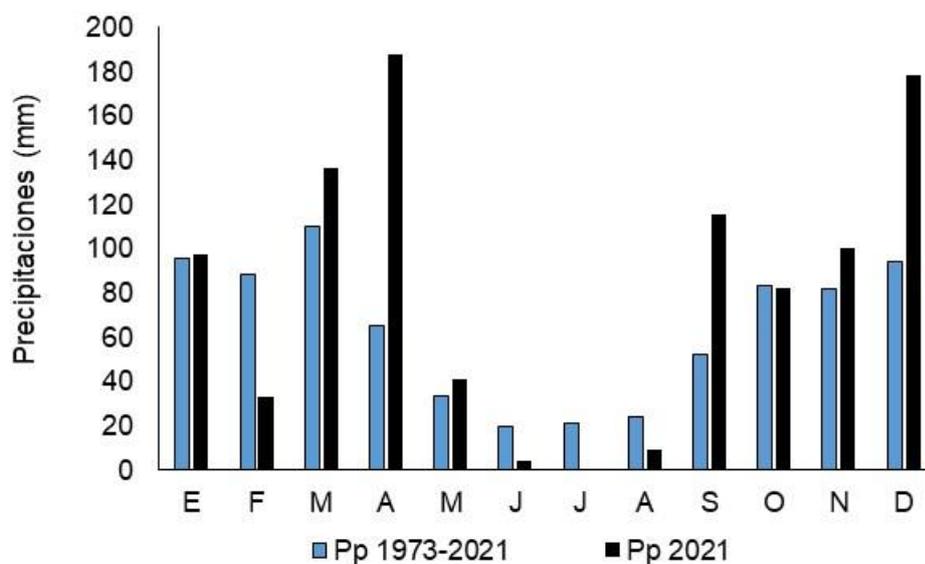


Figura 1: Precipitaciones promedios entre 1973-2021 (Pp 1973-2021) y las ocurridas durante el 2021 (Pp 2021).

1- Respuesta en rendimiento a fósforo con y sin fertilización nitrogenada.

En la Figura 2 se presentan los rendimientos de trigo en los diferentes tratamientos para las distintas fuentes de fósforo con y sin nitrógeno. En todos los tratamientos, el agregado de N presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$). Se observa que, en el tratamiento 1 (testigo) la respuesta al agregado de N fue de 623 kg ha⁻¹. Mientras que, en los tratamientos con aporte de P, la respuesta en el agregado de N fue entre 414 kg ha⁻¹ para la fuente 6 y de 867

kg ha⁻¹ para la fuente 4.

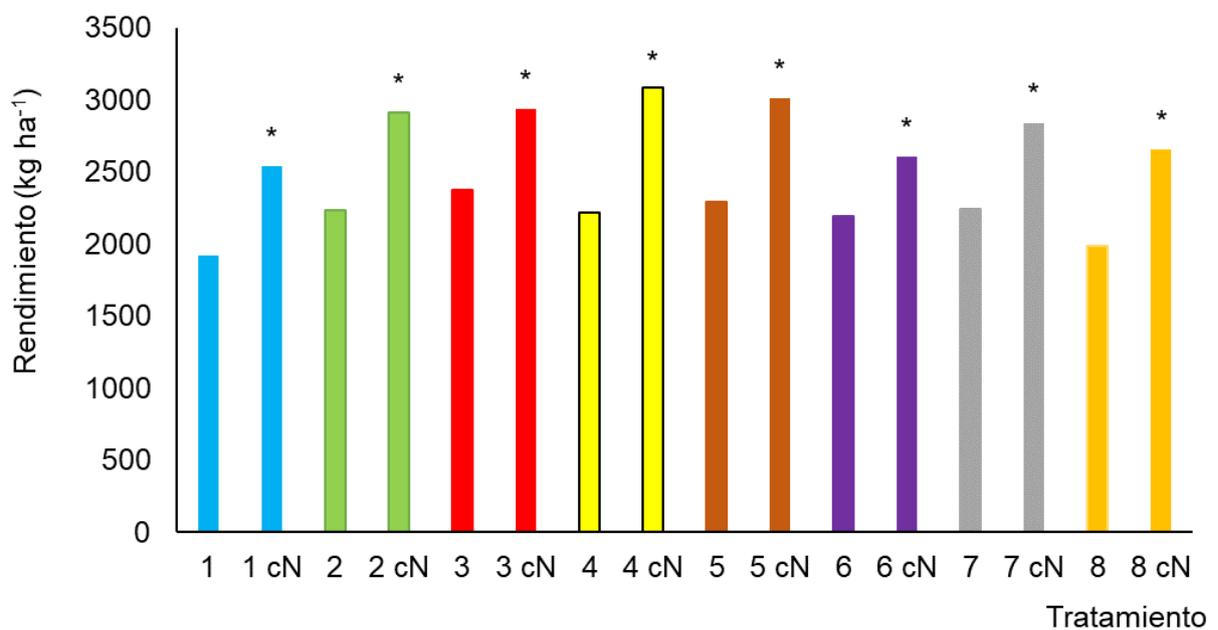


Figura 2: Rendimiento de trigo en los distintos tratamientos sin aporte de nitrógeno y con aporte de nitrógeno (cN). * indica diferencias significativas en cada tratamiento sin y con aporte de nitrógeno ($p < 0,05$).

Considerando la baja disponibilidad de nutrientes del suelo al momento de la siembra, resulta conveniente evaluar la respuesta de rendimiento a P y P+N con respecto al testigo absoluto

(Fuente 1). En la Figura 3 se presenta que los tratamientos 2 cN, 3 cN, 4 cN y 5 cN fueron los que más respuesta tuvieron con respecto al tratamiento 1 (testigo absoluto), las fuentes 6 cN, 7 cN y 8 cN se encontraron en posiciones intermedias. Se podría inferir que en estos tratamientos probablemente la falta de P limitó la respuesta a N.

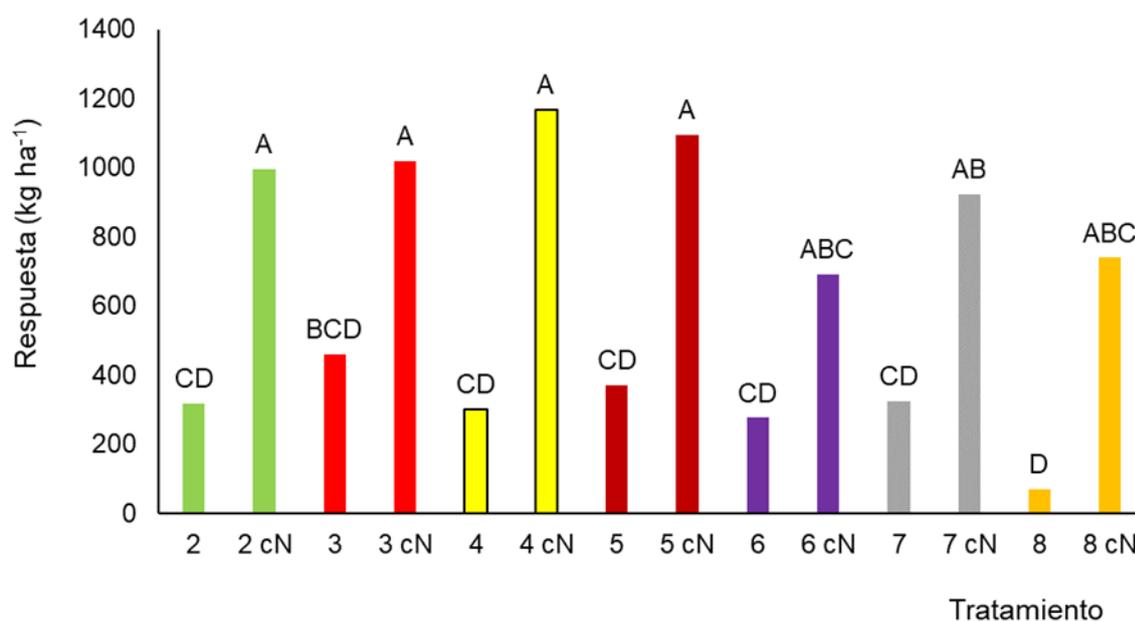


Figura 3: Respuesta en rendimiento en distintos tratamientos de P (2 a 8) al aporte de nitrógeno (cN). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

2- Respuesta en rendimiento de grano a la fertilización con diferentes fuentes de P manteniendo N constante.

El rendimiento del cultivo de trigo sobre el tratamiento 4, fue el que presentó el mayor valor con 3085 kg ha⁻¹, diferenciándose significativamente ($p > 0,05$) del resto de los tratamientos (Figura 4). A este tratamiento le siguió el 5, 2, 3, 7, 8, 6 y 1. Con respecto al rendimiento relativo del tratamiento 1 (testigo) los rendimientos fueron del 15, 16, 21, 19, 3, 12 y 5 % mayores para las fuentes 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8, respectivamente, no obstante, los tratamientos 6, 7 y 8 no presentaron diferencias significativas con el 1. El umbral crítico de P para la mayoría de los

cultivos anuales oscila entre de 12 a 18 ppm (García et al., 2005). El suelo en el que se desarrolló la experiencia presenta menor contenido P que el umbral (Bono & Romano 2010; Sucunza et al., 2018) por lo cual es esperable que la aplicación de fertilizantes fosforados tenga respuestas significativas en rendimiento. En este estudio, los tratamientos con más aporte de P fueron los que presentaron mayores rendimientos, mientras que los que tuvieron la menor dosis de P (5 kg ha⁻¹) no se diferenciaron significativamente del testigo.

La interacción de los nutrientes tiene beneficios que exceden a la suma de beneficios de cada nutriente agregado individualmente (Duncan et al., 2018). Quintana & Scarpello, (2022) hallaron incrementos en el rendimiento cercanos al 11% cuando se agregó S y Zn con la misma dosis de N y P respecto al agregado de estos dos nutrientes únicamente

El mayor rendimiento de trigo sobre el tratamiento 4 con respecto al 5 (con similar aporte de nutrientes) podría estar relacionado a la formulación del S. En el fertilizante de la fuente 4 el S se encuentra bajo dos formas, como sulfato inmediatamente disponible para la planta y como S elemental de liberación lenta que podría cubrir los requerimientos del cultivo en estados más avanzados.

En regiones semiáridas la principal limitante para la producción de los cultivos es el agua (Quiroga et al., 2009; Bono et al., 2017). Debido a ello, es importante incrementar su productividad física para generar más kg de grano mm⁻¹ lo que representa mejorar las EUA (Gaggioli, 2019).

La EUA presentó rangos desde los 8,9 a 10,9 kg grano ha⁻¹ mm⁻¹. En los tratamientos 4 y 5 se obtuvieron las mayores eficiencias, seguidas del 3, y 2, y por último los tratamientos 6, 7, 8 y 1 (Tabla 3). Por lo tanto, las fuentes con mayor aporte de P y que además contienen en su formulación N, S y Zn son las que tuvieron mayor rendimiento y EUA.

En relación a lo expuesto, Faggioli et al. (1985) y Gaggioli, (2019) concluyeron que una fertilización balanceada logró aumentos en la EUA del trigo, aunque no implicó mayor uso consuntivo del cultivo. No obstante, en regiones semiáridas los valores de EUA tienen un amplio rango de variación. Por ejemplo, en un mismo año se obtuvieron 2,2 y 9,9 kg grano ha⁻¹ mm⁻¹ en suelos más arenosos y de granulometrías más finas, respectivamente (Dilchneider et al., 2019). Gaggioli (2019) durante tres años de estudio también encontró un amplio rango de variación en la EUA (4,9 y 11,5 kg grano ha⁻¹ mm⁻¹), condicionado principalmente por las lluvias y por la fertilización. Mientras que Bono et al., (2017), obtuvo una EUA promedio de 78 ensayos de 7,3 kg grano ha⁻¹ mm⁻¹.

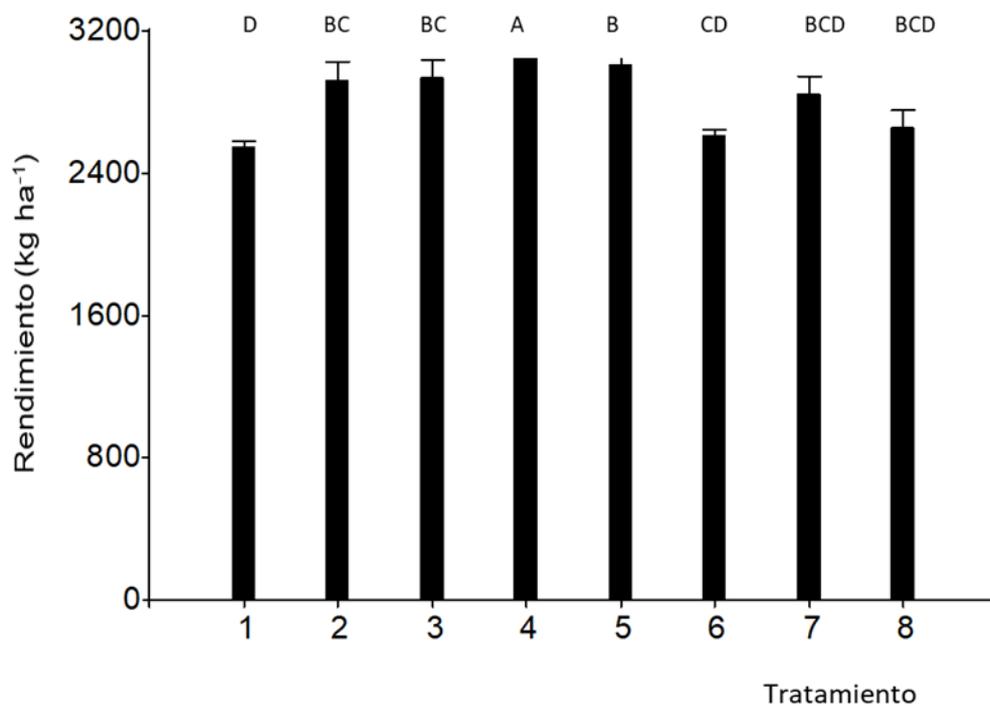


Figura 4: Rendimiento de trigo sobre los tratamientos fosforados con N.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Barras indican error estándar.

	Tratamiento								
	1	2	3	4	5	6	7	8	p valor
EUA (kg mm ⁻¹ ha ⁻¹)	8,9 C	10,1 AB	10,4 AB	10,9 A	10,6 A	9,2 BC	9,5 BC	9,4 BC	0,0002

Tabla 3: Eficiencia en el uso del agua (EUA) para los diferentes tratamientos.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

La extracción de P y S por ha se presenta en la Figura 5. En general para el nutriente P la extracción se encontró entre los 8 y 12 kg de P ha⁻¹, siendo más alta en el tratamiento 2 y menor en el tratamiento 6 y 1 (testigo). En la Tabla 4 se presenta la extracción de P por Tn de grano para cada fuente utilizada. Con respecto al S la mayor extracción de este elemento tuvo lugar en los tratamientos 4 y 5 y fue alrededor de 11,4 kg de S ha⁻¹ y la menor en los tratamientos 1 y 6 (9,4 kg de S ha⁻¹). También en la Tabla 4 se representa la extracción de S por Tn de grano. La tasa de extracción de los nutrientes en grano varía de acuerdo al cultivo y al rendimiento logrado y no debe confundirse con las necesidades nutricionales del cultivo. Estas últimas son mayores porque involucran la producción total de la biomasa producida por el cultivo (raíz, tallos, hojas, grano, etc.), en tanto que la exportación sólo considera a los nutrientes que se van del campo a través de los granos producidos (Ventimiglia et al., 2000)

En un estudio realizado en el partido de 9 de Julio se desprende que en la década del 1980/89, de cada hectárea agrícola se exportaron con los granos 910 kg de nutrientes, en tanto que, en la década 1990/99, la exportación se incrementó en 38%. En la campaña 2006/2007 se extrajeron 3,5 mill de Tn de N P K y S siendo la reposición de un 34 % (Ventimiglia et al., 2000). En términos generales existe un balance negativo por las bajas tasas de reposición dando como resultado un empobrecimiento en N, P, K S, Ca y B de los suelos.

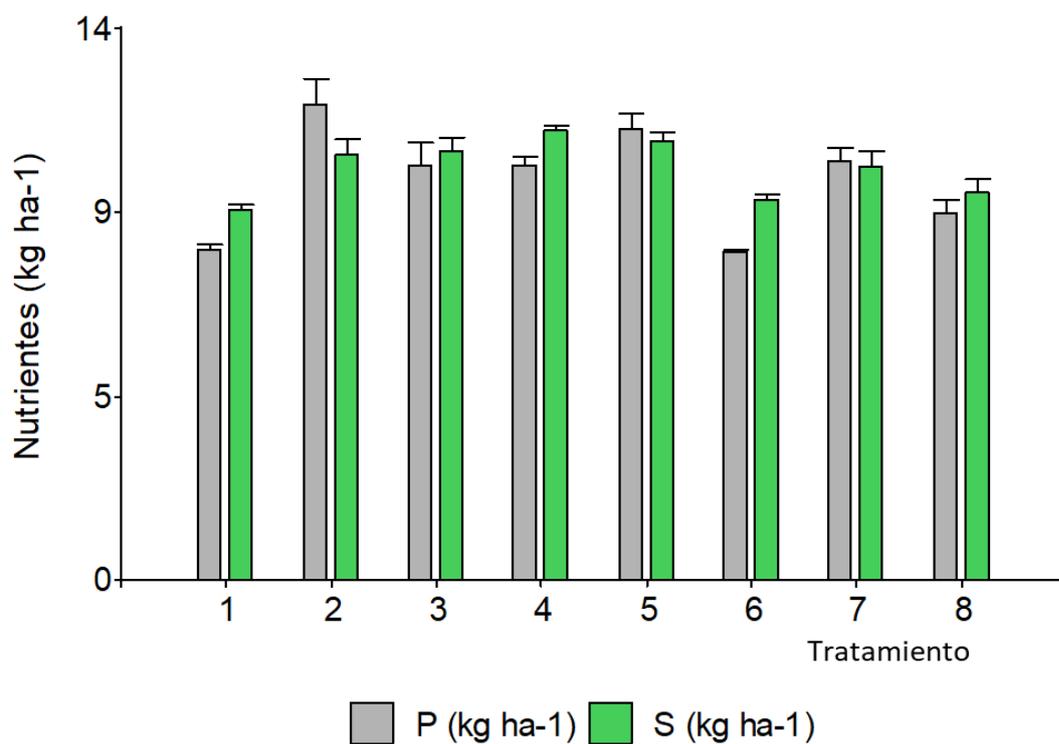


Figura 5: Nutrientes exportados en el grano, fósforo (P) y azufre (S), en los distintos tratamientos. *Barras sobre las columnas indican error estándar.*

Tabla 4: Nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y zinc (Zn) por tonelada de grano

	Tratamiento							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	kg Tn							
N grano	21	21	22	21	20	21	20	21
P grano	3,3	4,1	3,6	3,4	4,4	2,8	3,7	3,5
S grano	3,7	3,7	3,7	3,7	4,3	3,2	3,7	3,7
	g Tn							
Zn grano	39,4	41,2	40,9	35,7	38,4	29,9	38,7	37,6

La concentración de proteína fue similar entre los diferentes tratamientos (fuentes fosforadas utilizadas), y no se encontraron diferencias estadísticas (Tabla 5). Quintana & Scarpello (2022) encontraron resultados similares, argumentaron que si bien los aumentos en el contenido de

proteína no se incrementaron con la combinación de nutrientes (N, P S y Zn), los tratamientos fertilizados lograron mantener los valores frente a aumentos significativos de rendimiento.

La pérdida de fertilidad de los suelos debido a la exportación también trae asociado pérdidas importantes en la disponibilidad de algunos micronutrientes como el Zn. Este elemento participa como activador de numerosas reacciones enzimáticas y actualmente es un elemento de creciente importancia en gramíneas. Los valores umbrales por encima de los cuales no hay respuesta al agregado de fertilizante con Zn es de 1 ppm (Sims & Jhonson, 1991). En la RSP alrededor del 80-90 % de las muestras analizadas por los laboratorios arrojan resultados inferiores al umbral. En este ensayo la extracción de Zn a través de los granos se encontró entre 0,09 y 0,12 kg ha⁻¹ (Tabla 5).

Tabla 5: Proteína en grano y zinc (Zn) exportado en el grano con respecto a las fuentes fosforadas.

	Tratamiento								
	1	2	3	4	5	6	7	8	p valor
Proteína (%)	13,4 A	13,2 A	13,5 A	13,4 A	12,7 A	13 A	12,4 A	13,2 A	0,7009
Zn (kg/ha)	0,10 BC	0,12 A	0,12 A	0,11 AB	0,10 BC	0,09 C	0,11 AB	0,10 BC	0,0001

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05).

Debido a que el país no posee reservas de P se deben importar casi todos los fertilizantes fosfatados. En este sentido, la deficiencia de P es una amenaza importante para la productividad agrícola y es necesario optimizar la eficiencia en el uso de P por los cultivos (Sucunza et al., 2018).

Los efectos residuales de la fertilización con fósforo dependen principalmente del balance de fósforo y de las características de absorción de fósforo del suelo (Blake et al., 2003). Utilizando un método simple, el balance de P se calcula restando el P exportado por granos/forraje del

aporte sea por fertilizante o estiércol (Sucunza et al., 2018). Al respecto, al considerar la producción de grano y el contenido de P en grano se realizó el balance entre lo exportado a través de la producción de grano y lo aportado mediante el fertilizante (Tabla 6). Los tratamientos 2, 3, 4 y 5 presentaron balance positivo, sobre estas fuentes se obtuvieron los mayores rendimientos de trigo y fueron las que aportaron mayor contenido de P como fertilizante. Los tratamientos 6, 7 y 8 en los cuales se utilizaron las fuentes recomendadas en bajas dosis, presentaron balance negativo, mientras que el tratamiento 1 (testigo) fue la peor situación. Un balance positivo o negativo sugiere una acumulación o una disminución de P. Sin embargo, debido a la fuerte interacción de los fosfatos con la matriz del suelo (Álvarez & Noellemeyer, 2022), la relación entre el balance de P y el P disponible del suelo no es directamente predecible (Ciampitti et al., 2011).

Tabla 6: Balance de fósforo (kg ha^{-1}) entre lo exportado por grano y aplicado por fertilizante.

	Tratamiento							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Balance P	-8,4	6,21	7,78	7,75	6,85	-3,1	-5,35	-4,07

Debido a la complejidad de este nutriente es necesario trabajar en experimentos a campo de larga duración para cuantificar el impacto de las prácticas de fertilización/fuentes sobre la dinámica del P en el suelo. Dada la baja movilidad de este nutriente es necesario tener en cuenta la estratificación que puede producirse en el mismo a medida que se acumulan efectos. Por ello al realizar balances es necesario planificar correctamente el muestreo de suelo.

CONCLUSIONES

Si bien estos datos son preliminares y requieren más años de estudios y experimentación en distintas condiciones ambientales, los mismos plantean la necesidad de una fertilización balanceada que consideren las interacciones entre nutrientes que podrían estar limitando la respuesta en rendimiento del cultivo de trigo.

La nutrición fosforada junto a nutrientes como nitrógeno, azufre y zinc lograron alcanzar mayores rendimientos del cultivo de trigo, pero también mayores tasas de extracción de los mismos.

La EUA se incrementó significativamente con el aporte de P en los tratamientos 2, 3, 4, y 5.

La extracción de nutrientes (exportación de N, P, S, Zn) fue mayor a medida que se incrementó el rendimiento. Algunas fuentes afectaron positivamente el rendimiento y el balance de P. Mientras que otras fuentes presentaron rendimientos menores y balances de P negativo.

Por lo expuesto, los resultados obtenidos indican la importancia de considerar tanto la dosis como la fuente fosfatada de fertilizante utilizado, como así también la interacción con distintos nutrientes presentes en su formulación.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, L. & Noellemeyer, E. (2022). Dinámica del fósforo con fertilizante líquido y granulado en suelos de la región semiárida pampeana. *Cienc. Suelo* 40: 38-48.
- Blake, L., Johnston, A. E., Poulton, P. R. & Goulding, K. W. T. (2003). Changes in soil phosphorus fractions following positive and negative phosphorus balances for long periods. *Plant Soil* 254: 245–261.
- Bono, A.A., Álvarez, R. & de Paepe, J.L. (2017). Water use of wheat, corn and sunflower in the semiarid pampas. *Cienc. Suelo* 35: 273–283.
- Bono, A, Romano, N. (2010). Nutrición y fertilización del cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana (RSSP). En: *El cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana* (Ed: Bono A, Quiroga A, Frasier I). Publicación técnica N° 79 EEA INTA Anguil. 5: 47-55
- Ciampitti, I., García F., Picone, L. & Rubio, G. (2011). Phosphorus Budget and Soil Extractable Dynamics in Field Crop Rotations in Mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75: 131–142.
- Cordell, D., Drangert J.O. & White, S. (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Glob. Environ. Chang.* 19: 292-305. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009
- Cruzate, G. & Casas, R. (2009). Extracción de nutrientes en la agricultura Argentina. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 44: 21-26.
- Cruzate, G. & Casas, R. (2017). Balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina en la campaña 2015/16. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica IAH* 28: 14-23.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M. & Robledo, C.W. (2017) Infostat, versión 2021, Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. [http:// www.infostat.com.ar](http://www.infostat.com.ar).
- Dillchneider, A., Frasier, I., Funaro, D., Fernández, R. & Quiroga, A. (2019). Estrategias de fertilización nitrogenada para incrementar el rendimiento y proteína de trigo en la región semiárida pampeana. *Semiárida* 29: 53-62.
- Duncan, E.G., O'Sullivan, C.A., Roper, M.M., Palta, J., Whisson, K. & Peoples, M.B. (2018). Yield and nitrogen use efficiency of wheat increased with root length and biomass due to nitrogen, phosphorus, and potassium interactions. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 364–373. <https://doi.org/10.1002/jpln.201700376>

- Edixhoven, J.D., Gupta, J. & Savenije, H.H.G. (2014). Recent revisions of phosphate rock reserves and resources: a critique. *Earth Syst. Dynam.*, 5, 491–507.
- Gaggioli, C. (2019). Alternativas de cultivos tendientes a mejorar la sustentabilidad de los sistemas de producción de la Región Semiárida Pampeana. Tesis para optar al grado de Doctor en Agronomía. UNSur.
- García, F. (2003). Introducción. Simposio «El Fósforo en la Agricultura Argentina». pp. 2-3. INPOFOS. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- García, F., Picone L. & Berardo, A. (2005). Fósforo. En: Echeverría H. & F. García (eds). *Fertilidad Suelos y Fertilización Cultivos*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 99-121.
- López, M.V. & Arrúe, J.L. (1997). Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil Tillage Res.* 44, 35–54. doi:10.1016/S0167-1987(97)00030-5
- Manenti, L., Garcia, F.O. & Rubio, G. (2020). La fertilización como eventual amortiguador del efecto de la variabilidad climática sobre los rendimientos. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Corrientes.
- MAGYP <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>. Fecha de consulta 5/10/2022
- Quiroga, A., Fernández, R., Ormeño, O. & Frasier, I. (2010). Consideraciones sobre el manejo del agua y la nutrición en trigo. En: Bono, A., Quiroga, A. y Frasier, I. (Eds.), *El cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana*. PT N° 79, 41-46.
- Quiroga A., Fernández, R. & Noellemeyer E. (2009). Grazing effect on soil properties in conventional and no-till systems. 2009. *Soil Tillage Res.* 105: 164-170.
- Quiroga, A., Funaro, D., Noellemeyer, E. & Peinemann, N. (2006). Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil Tillage Res.* 90: 63–68. doi:10.1016/j.still.2005.08.019
- Quintero, C. (2003). Capacidad de fijación de P del suelo y su efecto sobre la dosis a aplicar. Simposio El fósforo en la Agricultura. pp 73-75. Rosario. INPOFOS Cono Sur.
- Rillo, S., Álvarez, C., Díaz-Zorita, M. & Noellemeyer, E. J. (2016). Aplicación de fósforo en secuencias agrícolas en siembra directa en hapludoles énticos. *Cienc. suelo* 34: 245-251.

- Rubio, G., Faggioli, V., Scheiner, J.D. & Gutiérrez-Boem, F.H. (2012). Rhizosphere phosphorus depletion by three crops differing in their phosphorus critical levels. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175: 810-871.
- Rubio, G., Cabello M.C. & Gutiérrez Boem, F. (2007). ¿Cuánto fósforo hay que aplicar para alcanzar el umbral crítico de fósforo disponible en el suelo? II. Cálculos para las zonas Sur y Norte de la Región Pampeana. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 35: 6-10.
- Sainz Rozas, H., Eyherabide, M., Larrea, G., Martínez Cuesta, M., Angelini, H., Reussi Calvo, N. & Wyngaard, N. (2019). Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. *Actas Simp. Fertil.*
- Sims, J. T. & Johnson, G. V. (1991). Micronutrient soil tests. In *micronutrients in agriculture* (Book series 4): 427-476. Mortvedt, J. J., Cox F. R., Shuman L. M. & M. R. Welch (Eds.) Ed. SSSA Madison, Winsconsin, USA.
- Sucunza F., Gutierrez Boem, F., Garcia, F., Boxler, M. & Rubio G. (2018). Long-term phosphorus fertilization of wheat, soybean and maize on Mollisols: Soil test trends, critical levels and balances. *European Journal of Agronomy* 96: 87–95.
- Suñer, L.G. & Galantini, J.A. (2012). Fertilización fosforada en suelos cultivados con trigo de la Región Sudoeste pampeana. *Cienc. Suelo*, 30: 57-66.
- Vázquez, M.E. (2002). Balance y fertilidad fosforada en suelos productivos de la región pampeana. *Informaciones Agronómicas Cono Sur* 16: 3-7
- Ventimiglia, L., Carta, H. & Rillo, S. (2000). Exportación de nutrientes en campos agrícolas. Resultados de experiencias de cosecha gruesa 1999-2000. Ed INTA. Pág 9-13.