

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

Fernández, Romina^{1,2}@, Martín, Christian² y Quiroga, Alberto^{1,2}

1 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Anguil. La Pampa, Argentina.

2 Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Agronomía.

@ fernandez.romina@inta.gob.ar

Recibido: 11/05/2023

Aceptado: 26/07/2023

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 eficiencia de uso del agua 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. EFFECT OF DIFFERENT SOURCES OF PHOSPHORUS AND ITS INTERACTION WITH NITROGEN ON THE YIELD AND QUALITY OF WHEAT. 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 was applied. T 6, 7, and 8 correspond to fertilizer additions at recommended rates of 30 kg.ha⁻¹ which implies the application of 5,25 kg of P.ha⁻¹. Two nitrogen management procedures were established in divided plots: with and without 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.

KEYWORDS: 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 (campaña 2021) 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

Cómo citar este trabajo:

Fernández, R., Martín, C. y Quiroga, A. (2023). Efecto de distintas fuentes de fósforo y su interacción con nitrógeno sobre el rendimiento y calidad de trigo. *Semiárida*, 33(1), 29-37.



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 (Cordell et al., 2009; García, 2003).

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). En estas situaciones, la fertilización con P contribuye positivamente 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 (Álvarez & Noellemeyer, 2022; Ciampitti et al., 2011; Rubio et al., 2007). Esto afecta positivamente la productividad de los cultivos, la eficiencia en el uso del agua y del resto de los nutrientes (Ciampitti et al., 2011; García et al., 2005; 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, como también respuestas al fósforo con y sin N, debido a la interacción entre ambos nutrientes (Bono & Romano, 2010). No obstante, 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.

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. Se hipotetizó que la interacción entre N y P permitirá lograr mayores rendimientos de trigo; las fuentes con mayor contenido de fósforo contribuirán a mayores rendimientos, pero también a mayor extracción de nutrientes.

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 éntico (secuencia de horizontes A, AC y C) 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).

Efecto de distintas fuentes de fósforo y su interacción con nitrógeno sobre el rendimiento y calidad de trigo

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).

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

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.

Table 1. Soil characteristics at 0-20 cm depth. MO: organic matter, P: phosphorus, S: sulfur, Zn: zinc, N: nitrate nitrogen at 0-60 cm.

| 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 |

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 (N), azufre (S) y cinc (Zn). Las concentraciones de nutrientes en las diferentes fuentes fueron las siguientes: Tratamiento 1 corresponde al testigo (sin agregado de P). Tratamiento 2: 11 %N- 52 % P₂O₅. Tratamiento 3: 7 % N- 38 % P₂O₅ - 5 % S- 0,8 % Zn. Tratamiento 4: 12 % N- 40 % P₂O₅- 10 % S (5 % SO⁴ - 5 % S elemental) - 1 % Zn. Tratamiento 5: 12 % N- 40 % P₂O₅- 10 % S- 1 % Zn. Tratamiento 6, 7 y 8: 10 % N, 17,5 % P - 3,6 % SO⁴, 2 % Zn. Las fuentes 6, 7 y 8 corresponden a fertilizantes de tres marcas comerciales diferentes con creciente adopción por parte de los productores en los últimos años.

En la Tabla 2 se presentan las diferentes fuentes y la cantidad N, P, S y Zn correspondiente a la dosis aplicada en la experiencia. En función a esto los diferentes tratamientos quedaron establecidos de la siguiente manera. El tratamiento 1 no se aplicó fósforo, corresponde al testigo; en los tratamientos 2, 3, 4 y 5 se aplicaron 18,3 kg.ha⁻¹ 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

Tabla 2. Tratamientos y dosis aplicadas a la siembra del cultivo de trigo. Nutrientes aplicados correspondientes a cada dosis. Sin aplicación de fertilizante en el Tratamiento 1.

Table 2. Treatments and applied doses to wheat crop. Nutrients applied correspond to the dose presented. Treatment 1 corresponds to the control.

| Tratamiento | Dosis | Kg.ha ⁻¹ | | | |
|-------------|-------|---------------------|------|------|------|
| | | N | P | S | Zn |
| 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 |

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.

Determinaciones

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 mediante el método del ácido cromotrópico (West & Ramachandran, 1966) y densidad aparente utilizando el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986).

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).

$$UC = ATi + Pp - ATf$$

Fernández, R., Martín, C. y Quiroga, A.

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).

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

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).

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 agregado en macollaje. 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 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Mientras que, en los tratamientos con aporte de P, la respuesta en el agregado de N fue entre 414 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ para la fuente 6 y de 867 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ para la fuente 4.

Considerando la baja disponibilidad de

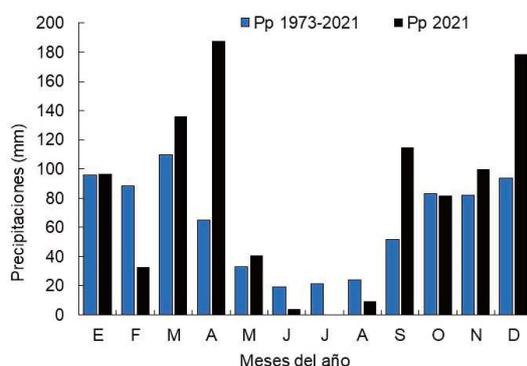


Figura 1. Precipitaciones promedio entre 1973-2021 (Pp 1973-2021) y las ocurridas durante el 2021 (Pp 2021).

Figure 1. Average rainfall between 1973-2021 (Pp 1973-2021) and during 2021 (Pp 2021).

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 observa 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.

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

El rendimiento del cultivo de trigo en el tratamiento 4, fue el que presentó el mayor valor

Efecto de distintas fuentes de fósforo y su interacción con nitrógeno sobre el rendimiento y calidad de trigo

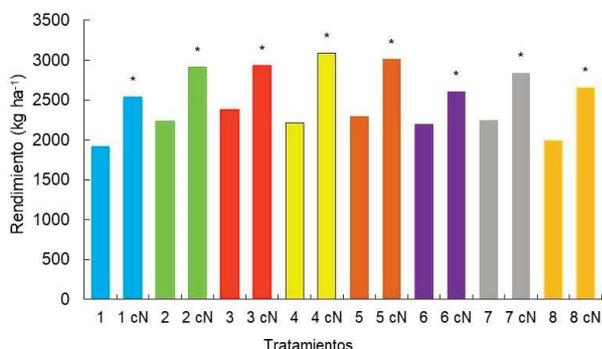


Figura 2. Rendimiento de trigo en los distintos tratamientos sin aporte de nitrógeno y con aporte de nitrógeno (cN) en macollaje. El asterisco indica diferencias significativas en cada tratamiento sin y con aporte de nitrógeno ($p < 0,05$).

Figure 2. Wheat plant yield without and with nitrogen supply (cN). The asterisk indicates significant differences without and with nitrogen supply within each treatment ($p < 0.05$).

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 (Bono et al., 2017; Quiroga et al., 2009). 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

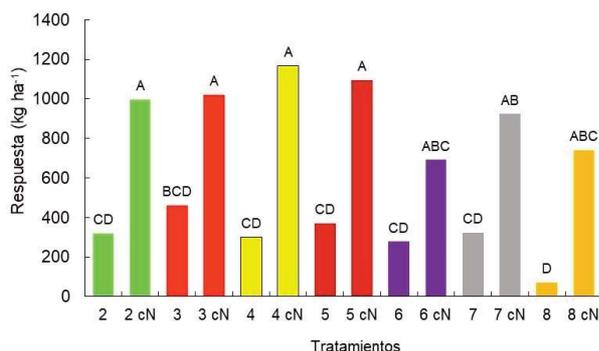


Figura 3. Respuesta en rendimiento en distintos tratamientos de P (2 a 8) al aporte de nitrógeno (cN). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Figure 3. Yield of treatments of P (2 to 8) to the contribution of nitrogen (cN). Different letters indicate significant differences between treatments ($p < 0.05$).

Fernández, R., Martín, C. y Quiroga, A.

tratamientos 4 y 5 se obtuvieron las mayores eficiencias seguidas por 3 y 2. Por último, los menos eficientes fueron 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 con 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 (Dillchneider 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), evaluando la EUA en 78 ensayos de trigo distribuidos en la región semiárida y subhúmeda obtuvieron un promedio de 7,3 kg grano.ha⁻¹.mm⁻¹.

Los valores de fósforo y azufre exportados en el grano se presentan 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). Con respecto al S la mayor extracción en el grano de este elemento tuvo lugar en los

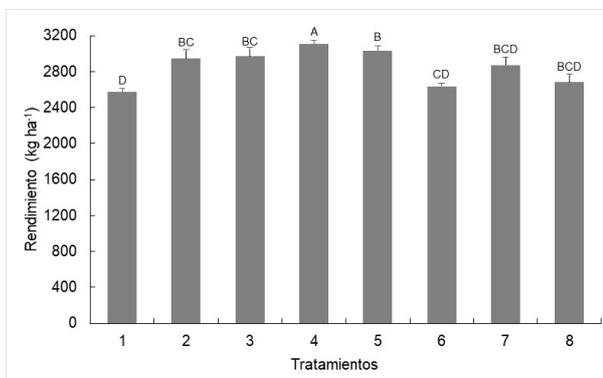


Figura 4. Rendimiento de trigo sobre los tratamientos fosforados con N. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Barras indican error estándar.

Figure 4. Wheat yield of phosphorous treatments with N. Different letters indicate significant differences between treatments ($p < 0,05$). Bars indicate standard error.

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).

La tasa de extracción de los nutrientes en grano varía de acuerdo con el 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 (cultivos: trigo, maíz, girasol y soja) se exportaron con los granos 910 kg de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) 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 t 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 de los nutrientes dando como resultado un empobrecimiento en N, P, K S, Ca y B de los suelos agrícolas (Cruzate y Casas, 2009).

La concentración de proteína en el grano fue similar entre los diferentes

Tabla 3. Eficiencia en el uso del agua (EUA) para los diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Table 3. Water use efficiency (EUA) for different treatments. Different letters indicate significant differences among treatments ($p < 0,05$).

| EUA (kg.mm ⁻¹ .ha ⁻¹) | Tratamientos | | | | | | | | p valor |
|---|--------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| | 8,9c | 10,1ab | 10,4ab | 10,9a | 10,6a | 9,2bc | 9,5bc | 9,4bc | 0,0002 |

Efecto de distintas fuentes de fósforo y su interacción con nitrógeno sobre el rendimiento y calidad de trigo

tratamientos (fuentes fosforadas utilizadas), y no se encontraron diferencias estadísticas significativas (Tabla 4).

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 región semiárida pampeana 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 4).

Los efectos residuales de la fertilización con fósforo dependen principalmente del balance de fósforo y de las características de adsorción 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

Tabla 4. Proteína en grano y zinc (Zn) exportado en el grano con respecto a las fuentes fosforadas. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05).

Table 4. Protein in grain and zinc (Zn) exported in grain with regard to phosphorus sources. Different letters indicate significant differences between treatments (p<0.05).

| | Tratamientos | | | | | | | | p valor |
|---------------------------|--------------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| Proteína (%) | 13,4a | 13,2a | 13,5a | 13,4a | 12,7a | 13,0a | 12,4a | 13,2a | 0,7009 |
| Zn (kg.ha ⁻¹) | 0,1bc | 0,12a | 0,12a | 0,11ab | 0,10bc | 0,09c | 0,11ab | 0,10bc | 0,0001 |

través de la producción de grano y lo aportado mediante el fertilizante (Tabla 5). 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).

Si bien las gramíneas, como el trigo, poseen bajos requerimientos de S en comparación con otras especies de alto contenido de aceite, la extracción por los sucesivos cultivos sin reposición ha llevado a deficiencias de este elemento (Echeverría, 2015). La absorción de azufre y fósforo por las plantas se encuentra muy relacionada entre sí, de tal forma que la deficiencia de uno de estos macronutrientes esenciales limita el suministro del suelo y la absorción por la planta del otro (Gacitúa & Martínez-Lagos, 2020). Con respecto al balance de S entre lo exportado a través de la producción de grano y lo aportado mediante el fertilizante se comprobó que en todos los tratamientos el

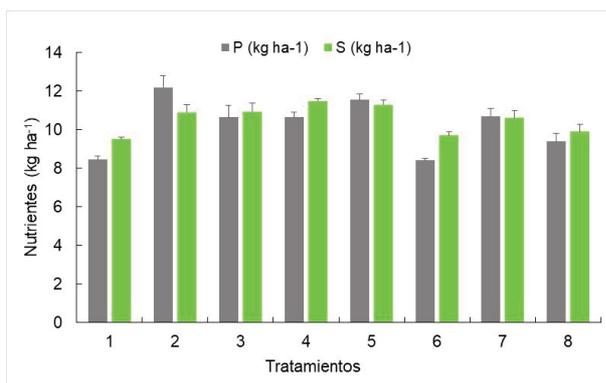


Figura 5. Fósforo (P) y azufre (S) exportados en el grano, en los distintos tratamientos. Barras sobre las columnas indican error estándar.

Figure 5. Phosphorus (P) and sulfur (S) exported in the grain for different treatments. Bars over the columns indicate standard error.

Fernández, R., Martín, C. y Quiroga, A.

balance fue negativo, destacándose los tratamientos 4 y 5 con balances cercanos a la neutralidad (Tabla 5).

Debido a la complejidad de las interacciones de los nutrientes, 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.

Tabla 5. Balance de fosforo y azufre (kg.ha⁻¹) entre lo exportado por grano y lo aplicado en el fertilizante.

Table 5. Phosphorus and sulfur balance (kg.ha⁻¹) between grain export and fertilizer application.

| | Tratamientos | | | | | | | |
|-----------|--------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 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 |
| Balance S | -9,4 | -10,78 | -5,36 | -0,42 | -0,14 | -8,57 | -9,43 | -8,75 |

CONCLUSIONES

En todos los tratamientos con fósforo el agregado de N presentó diferencias estadísticas significativas en rendimiento.

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

La fertilización no incidió en la concentración de proteína.

La extracción de nutrientes (exportación de N, P, S, Zn) fue mayor a medida que se incrementó el rendimiento.

Los tratamientos 2, 3, 4 y 5 afectaron positivamente el rendimiento y el balance de P. Mientras que los tratamientos 6, 7 y 8 presentaron rendimientos menores y balances de P negativo. El tratamiento 1 presentó la peor situación. El balance de S fue negativo en todos los tratamientos.

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.

AGRADECIMIENTOS

Se desea agradecer al productor Walter Fonseca y a la empresa Agropecuaria Argentina por permitir realizar la experiencia. Además, a los proyectos de INTA por brindar los fondos.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, L. y Noellemeyer, E. (2022). Dinámica del fósforo con fertilizante líquido y granulado en suelos de la región semiárida pampeana. *Ciencia del Suelo*, 40, 38-48.
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Bulk density. In: A Klute (Ed.). *Methods of Soil Analysis*, Part 1. Agronomy Monograph N° 9 (pp. 363-375). American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, EE.UU.
- 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 semiárid pampas. *Ciencia del Suelo*, 35, 273-283.
- Bono, A. y Romano, N. (2010). Nutrición y fertilización del cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana (RSSP). En: A. Bono, A. Quiroga, I. Frasier (Eds), *El cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana*. 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 Science Society of America Journal*, 75, 131-142.
- Cordell, D., Drangert, J. O. & White, S. (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*, 19, 292-305. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009>
- Cruzate, G. y 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. y Robledo, C. W. (2017). Infostat, versión 2021, Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.
- Dillchneider, A., Frasier, I., Funaro, D., Fernández, R. y 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

- Efecto de distintas fuentes de fósforo y su interacción con nitrógeno sobre el rendimiento y calidad de trigo
 root length and biomass due to nitrogen, phosphorus, and potassium interactions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 364-373. <https://doi.org/10.1002/jpln.201700376>.
- Echeverría, H. E., Reussi Calvo, N. I. y Pagani, A. (2015). Azufre. En: H.E. Echeverría y F.O. García (Eds). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*, (pp. 287-315). Ediciones INTA.
- Fagioli, M., Dono, A. y Torroba, H. (1985). Fertilización de cultivos de trigo en las regiones semiárida y subhúmeda pampeana. Campaña 1984. Ediciones INTA Anguil.
- 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). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Gacitúa, E. y Martínez-Lagos J. (2020). Fertilización azufrada en suelos agrícolas de la Región de los ríos. Instituto de investigaciones agropecuarias. Boletín informativo n° 253.
- García, F. (2003). Introducción. Simposio El Fósforo en la Agricultura Argentina, pp. 2-3. INPOFOS. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- García, F., Picone L. y Berardo, A. (2005). Fósforo. En: H. Echeverría, F. García (eds). *Fertilidad Suelos y Fertilización Cultivos*, pp. 99-121. Ediciones INTA.
- Kang, L. Y., Yue, S. C. & Li, S. Q. (2014). Effects of Phosphorus Application in Different Soil Layers on Root Growth, Yield, and Water-Use Efficiency of Winter Wheat Grown Under Semi-Arid Conditions. *Journal of Integrative Agriculture*, 13, 2028-2039.
- 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 Research*, 44, 35-54. doi:10.1016/S0167-1987(97)00030-5.
- López, F., Duval, M., Martínez, J., Gabbarini, L. y Galantini, J. (2019). Condicionantes de la disponibilidad de fósforo en suelos bajo siembra directa del sudoeste bonaerense. *Ciencia del Suelo*, 37, 158-163.
- Manenti, L., García, F.O. y 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, Argentina.
- Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (MAGYP) (2022). Estimaciones agrícolas. <https://datos.estimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>.
- Quintana, V. y Scarpello, T. (2022). Efecto de distintos fertilizantes sobre la absorción de nutrientes en trigo. (Trabajo Final de Graduación). Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa.
- Quiroga A., Fernández, R. & Noellemeyer E. (2009). Grazing effect on soil properties in conventional and no-till systems. 2009. *Soil Tillage Research*, 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 Research*, 90, 63-68. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.08.019>.
- Rillo, S., Álvarez, C., Díaz-Zorita, M. y Noellemeyer, E. J. (2016). Aplicación de fósforo en secuencias agrícolas en siembra directa en hapludoles énticos. *Ciencia del 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. y 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.
- 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, Wisconsin, USA.
- Suczunza 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. y Galantini, J.A. (2012). Fertilización fosforada en suelos cultivados con trigo de la Región Sudoeste pampeana. *Ciencia del 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. y Rillo, S. (2000). Exportación de nutrientes en campos agrícolas. En: *Resultados de experiencias de cosecha, Campaña 1999/2000* (pp. 9-13). Ediciones INTA.
- West, P. W. & Ramachandran T. P. (1966). Spectrophotometric determination of nitrate using chromotropic acid. *Analytica Chimica Acta*, 35, 317-324.