



FACULTAD DE AGRONOMÍA
Universidad Nacional de La Pampa

EFFECTO DE DISTINTOS FERTILIZANTES SOBRE LA ABSORCIÓN DE NUTRIENTES EN TRIGO

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

Autores: Quintana, Valentin; Scarpello, Tomas

Directora: Dra. Alvarez, María Lucila
Cátedra de Edafología y Manejo de suelos

Co-directora: Mg. Dillchneider, Alexandra
Cátedra de Cereales y Oleaginosas

Evaluadores:

Dra. Gaggioli, Carolina

Dra. Fernández, Romina

FACULTAD DE AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Pampa)- Argentina 2022

ÍNDICE

Resumen.....	3
Abstract.....	3
Introducción	4
Hipótesis	6
Objetivo.....	6
Materiales y Métodos.....	7
Resultados	10
Rendimiento y absorción de nutrientes	10
Eficiencias de uso de nutrientes.....	12
Discusión.....	13
Conclusiones	17
Bibliografía	17

RESUMEN

El manejo inadecuado de la nutrición del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) constituye uno de los principales factores que limitan su producción en varias de las regiones trigueras argentinas. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y zinc (Zn) sobre la absorción de estos nutrientes y su impacto en el rendimiento de trigo. El experimento se realizó en la E.E.A. INTA Anguil sobre un Paleustol petrocálcico, con cuatro tratamientos: T (Testigo), NP (100 kg N + 20 kg P), NPS (100 kg N+ 20 kg P+ 30 kg S), NPSZn (100 kg N+ 20 kg P+ 30 kg S+ 1 kg Zn). NP y NPS presentaron un incremento significativo en rendimiento respecto al T de 55% y 40%, mientras que NPSZn produjo un incremento de 74%, alcanzando un rendimiento de 5197 kg ha⁻¹. El contenido de proteína en grano se incrementó en los tratamientos fertilizados, sin diferencias significativas entre estos. La fertilización con NP y NPS mejoró la eficiencia en el uso del agua (EUA) respecto al T, mientras que la fertilización con NPSZn presentó los valores más altos de EUA y eficiencia en el uso de N y P.

Palabras clave: nutrición balanceada, zinc, eficiencia de uso de nitrógeno.

ABSTRACT

The inadequate nutrient management in wheat crop (*Triticum aestivum* L.) constitutes one of the main factors that limits its production in several wheat regions of Argentina. The objective of the study was to evaluate the effect of fertilization with nitrogen (N), phosphorus (P), sulfur (S) and zinc (Zn) in wheat on the absorption of these nutrients and its impact on yield. The experiment was carried out at the E.E.A. INTA Anguil on a petrocalcic Paleustoll, with four treatments: T

(Control), NP (100 kg N + 20 kg P), NPS (100 kg N+ 20 kg P+ 30 kg S), NPSZn (100 kg N+ 20 kg P+ 30 kg S+ 1 kg Zn). NP and NPS presented a significant increase in yield of 55% and 40%, compared to T, while NPSZn produced an increase of 74%, reaching a yield of 5197 kg ha⁻¹. The grain protein content improved in the fertilized treatments, without significant differences between them. Fertilization with NP and NPS improved water use efficiency (WUE) with respect to T, while fertilization with NPSZn presented the highest values of WUE and N and P use efficiency.

Key words: balanced nutrition, zinc, nitrogen use efficiency.

INTRODUCCIÓN

Para producir suficiente grano, de manera de satisfacer las crecientes demandas alimenticias, de fibras y energía por un vigoroso crecimiento de la población mundial y reducir las huellas ambientales de la agricultura, es esencial mejorar el manejo actual de los nutrientes. Con la expectativa de que el crecimiento poblacional supere en el año 2050 los 9 mil millones de habitantes, junto con los cambios asociados al aumento del consumo de carnes, en las décadas siguientes la eficiencia en el uso de los fertilizantes tendrá un rol clave en la alimentación del planeta (Bouwman et al., 2009). Esto incluye fertilizaciones más balanceadas, teniendo en cuenta no sólo a los macronutrientes esenciales, sino también a los secundarios y a los micronutrientes. La aplicación de nutrientes en forma balanceada y precisa es un requerimiento para el desarrollo sustentable de la agricultura, que produce alimentos con el propósito de alcanzar la seguridad alimentaria. Los nutrientes son compuestos químicos necesarios para el metabolismo de las plantas que hacen al crecimiento y a la producción de los cultivos, la fertilización es la herramienta tecnológica para lograr su provisión complementando su disponibilidad natural. La

contribución relativa del manejo de los nutrientes representa una brecha de al menos el 30% de la producción alcanzada por los cultivos (Grasso and Díaz- Zorita, 2020). El trigo, como principal cereal de invierno sembrado en la Argentina, presenta brechas de rendimiento del 41% respecto al potencial en seco (Aramburu Merlos et al., 2015). El manejo inadecuado de la nutrición del cultivo constituye uno de los principales factores que limitan la producción de este en varias de las regiones trigueras argentinas. En ausencia de los fertilizantes nitrogenados, se estima que a nivel global solo podríamos producir la mitad de lo que actualmente producimos (Erisman et al., 2008). El nitrógeno (N) y el fósforo (P) son los nutrientes que con mayor frecuencia limitan el rendimiento del trigo, sin embargo, en las últimas décadas la intensificación de la agricultura sumado a la falta de reposición de azufre (S) vía fertilizantes han generado una disminución en la disponibilidad de S en los suelos, y por lo tanto, es cada vez más frecuente determinar respuesta en rendimiento frente al agregado de dicho nutriente (Carciochi et al., 2015). El zinc (Zn) es un micronutriente, es decir, un nutriente que las plantas necesitan para su crecimiento y desarrollo, pero en baja concentración. En la Región Pampeana, la disponibilidad de Zn en los suelos ha disminuido entre un 40-70% respecto de sus niveles iniciales (Sainz Rozas et al., 2019). En este contexto, algunos estudios muestran la respuesta en rendimiento al agregado de este micronutriente en cultivos como trigo (Salvagiotti et al., 2012), maíz (Cuesta et al., 2020) y colza (Rimi et al., 2015). Además de los efectos sobre el rendimiento del trigo, el estado nutricional del cultivo también tiene efectos sobre su calidad panadera. En tal sentido, el N y el S son los nutrientes que con mayor frecuencia condicionan la obtención de contenidos adecuados de proteínas formadoras del gluten en los granos de trigo (Fuertes-Mendizábal et al., 2010; Gooding, 2017).

Es importante conocer no solo los requerimientos totales de nutrientes, sino también conocer la dinámica de absorción durante el ciclo del cultivo. En el trigo, al igual que en otros cultivos, la absorción de los nutrientes se produce con anterioridad a la acumulación de materia seca. De este modo, mientras que hasta antesis acumula cerca del 40-45% de la biomasa aérea total, la acumulación de N en dicho momento representa el 70-75% del total a madurez fisiológica (Dreccer et al., 2003). En el caso del P, el cultivo absorbe hasta antesis entre el 75-85% del total acumulado a madurez. Para S, la acumulación pre-antesis representa alrededor del 50-60% del total de S (Divito and Garcia, 2017).

La mayoría de los estudios realizados sobre fertilización balanceada y que contemplan nutrientes como S y Zn, pertenecen a zonas subhúmedas (Barbieri et al., 2011; Landriscini J.A., 2010; Reussi Calvo et al., 2006). Sin embargo, la región triguera argentina es más amplia, abarcando también ambientes semiáridos. Por este motivo, resulta importante realizar estudios sobre el balance de la nutrición mineral de los cultivos en este tipo de ambientes, apuntando a mejorar tanto rendimiento como calidad, teniendo en cuenta además el cuidado del recurso suelo.

HIPÓTESIS

La nutrición balanceada y la corrección de deficiencias de meso y micronutrientes como S y Zn contribuyen al desarrollo del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.), impactando en el rendimiento del mismo.

OBJETIVO

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización con N, P, S y Zn en trigo sobre la absorción de estos nutrientes y su impacto en el rendimiento

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un ensayo en el año 2021, en un lote experimental de la E.E.A. INTA Anguil Guillermo Covas, ubicada en la Ruta Nacional N° 5 km 580 (36°35'46.29"S,63°57'49.63"O), sobre un suelo clasificado como Paleustol petrocálcico (1,20 m de profundidad). El mismo presentó una textura franco-arenosa y un contenido de materia orgánica (MO) de 18 g kg⁻¹. Se calculó el Índice de Materia Orgánica (IMO) propuesto por Quiroga et al. (2006), obteniendo un valor de 3,7. Los contenidos previos a la siembra de N- NO₃⁻ (nitrógeno de nitratos), P (fósforo), S-SO₄²⁻ (azufre) y Zn (zinc) se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Contenidos de arena, limo y arcilla, materia orgánica (MO), nitrógeno de nitratos (N-NO₃⁻), fósforo (P), azufre (S-SO₄²⁻) y zinc (Zn) previo a la siembra.

Profundidad cm	Arcilla	Limo g kg ⁻¹	Arena	MO g kg ⁻¹	N-NO₃⁻	P	S-SO₄²⁻ mg kg ⁻¹	Zn
0-20	136	343	521	18,0	5,5	7,2	13,5	0,18
20-60	-	-	-	-	1,9	-	-	-

Las precipitaciones durante el ciclo del cultivo (junio-diciembre) fueron de 400 mm, con un total anual de 982 mm (Figura 1), superando al promedio histórico que es de 338 mm durante el ciclo del cultivo (Belmonte et al., 2017).

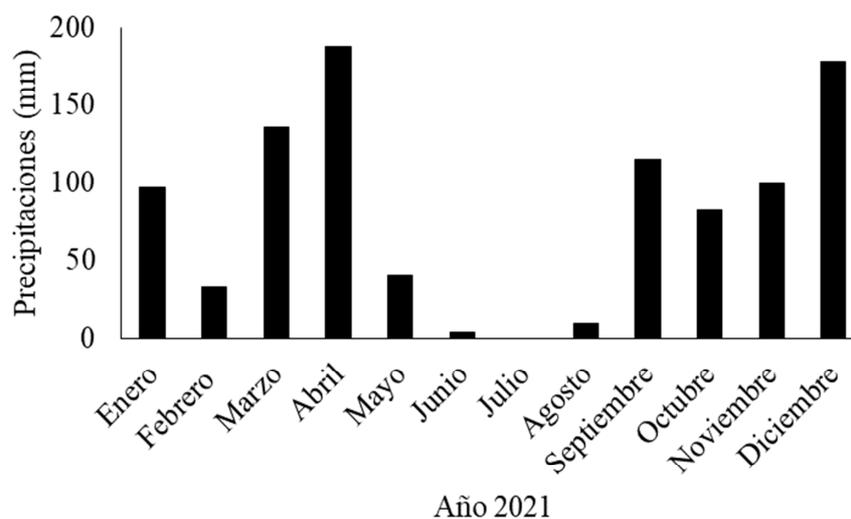


Figura 1. Precipitaciones (mm) ocurridas desde Enero a Diciembre del año 2021.

Previo a la siembra del cultivo de trigo se realizó un barbecho químico a base de Glifosato full 66,2 % (2000 cc), 2,4D 98 % (600 cc) y dicamba (200 cc) (06-05-2021). La fecha de siembra fue el 7/6/2021 y la variedad utilizada fue Klein 100 años. Las parcelas fueron de 15 m x 5,6 m (28 surcos x 0,2 m) con una densidad objetivo de 240 plantas m⁻², lográndose 130 plantas m⁻². Los tratamientos realizados tuvieron cuatro repeticiones en un diseño en bloques completamente aleatorizado, y fueron los siguientes: T: sin fertilización, NP: 100 kg N + 20 kg P (76% UAN+ 24% fosfato diamónico), NPS: 100 kg N+ 20 kg P+ 30 kg S (59% UAN+ 19% fosfato diamónico+ 22% tiosulfato de amonio), NPSZn: 100 kg N+ 20 kg P+ 30 kg S+ 1 kg Zn (49% UAN+ 26% fosfato diamónico+ 26% tiosulfato de amonio+ 2% sulfato de zinc). El P fue aplicado al voleo a la siembra como fosfato diamónico (18-46-0). El N, S y Zn se aplicaron pulverizados a chorro con pastillas de tres picos, el día 8/7/2021, y las formulaciones utilizadas fueron: UAN (32-0-0), tiosulfato de amonio líquido (12-0-0-26) y sulfato de zinc líquido (8% Zn; densidad 1,24 g dm⁻³). Se tomaron muestras de biomasa aérea de dos surcos por metro lineal a

floración para determinar la concentración de N, P, S y Zn en la biomasa. Las muestras fueron molidas (<5 mm) y luego fueron digeridas usando ácido nítrico pro-análisis Merck en un digestor de microondas MARS-5 (Norma SW-3052). Las determinaciones de especies nitrogenadas fueron realizadas empleando el método semi-microkjeldahl y las restantes determinaciones efectuadas con un Espectrómetro de Emisión Atómica por Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES). La cosecha se realizó en forma manual en una superficie de dos surcos por tres metros lineales, determinándose: N° espigas por metro lineal, biomasa de planta entera, rendimiento en grano, peso hectolítrico (PH), contenido de proteína en grano (NIRS equipo FOSS DS-2500) y concentración de N en grano (%).

Se calculó la Eficiencia en el uso del Nitrógeno (EUN) como el producto entre la eficiencia de absorción (EAbsN) y la eficiencia de conversión de (ECN) (Briat et al., 2020). La EAbsN se calculó a partir del cociente entre el incremento de N absorbido en biomasa respecto del testigo y la cantidad de N agregado por fertilizante, y la ECN como el cociente entre el incremento en rendimiento y el incremento del N absorbido en biomasa respecto del testigo. También se calculó la Eficiencia en el uso del Fósforo (EUP) como el producto entre la eficiencia de absorción y la eficiencia de conversión de P. Con respecto a la eficiencia en el uso del agua, se calculó a partir del cociente entre el rendimiento y consumo de agua del cultivo (López and Arrúe, 1997). Este último obtenido a partir del agua útil a la siembra más las precipitaciones (ocurridas en el ciclo del cultivo) restando el agua útil al momento de la cosecha.

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

RESULTADOS

Rendimiento y absorción de nutrientes

Analizando las variables productivas, se encontró un incremento en rendimiento respecto de T (2981 kg ha^{-1}) de un 55 % cuando se fertilizó con NP (4621 kg ha^{-1}) y de un 40% con NPS (4181 kg ha^{-1}), sin hallarse diferencias significativas entre estos dos tratamientos. Sin embargo, el tratamiento NPSZn tuvo un rendimiento significativamente superior a los demás (5197 kg ha^{-1}), con un incremento frente al T de un 74 % (Figura 2).

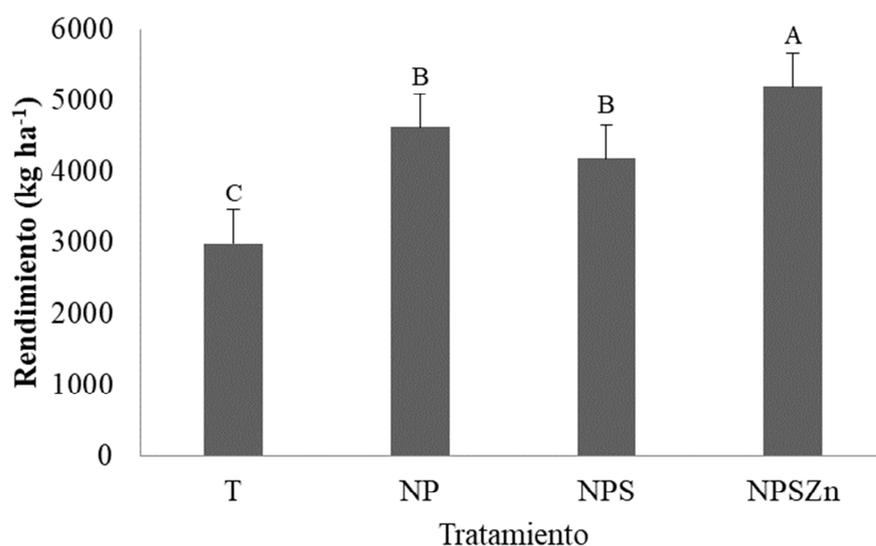


Figura 2. Rendimiento de trigo (kg ha^{-1}) de los tratamientos T, NP, NPS y NPSZn.

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

El número de espigas no presentó diferencias significativas entre tratamientos, mientras que sí se observó un incremento en la biomasa a cosecha, en el peso de las espigas, en el peso hectolítrico,

en el contenido de proteína y en la concentración de N en grano en los tratamientos fertilizados, respecto al T, sin diferenciarse entre ellos (Tabla 2).

Tabla 2. Biomasa a cosecha (g m^{-2}), peso de espiga (g m^{-2}), N° de espigas por metro lineal, peso hectolítrico (kg hl^{-1}), proteína en grano (%) y concentración de N en grano (%) en los tratamientos T, NP, NPS Y NPSZn.

Variables	Tratamiento			
	T	NP	NPS	NPSZn
Biomasa a cosecha (g m^{-2})	805 B	1091 A	1211 A	1046 A
Peso espiga (g m^{-2})	451 B	646 A	681 A	599 A
N° espigas por ml	43 A	53 A	53 A	52 A
Peso hectolítrico (kg hl^{-1})	74,7 B	79,8 A	78,7 A	79,9 A
Proteína en grano (%)	10,2 B	12,1 A	11,8 A	11,5 A
N grano (%)	1,9 B	2,2 A	2,2 A	2,1 A

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

La concentración de N en biomasa (Z 6.0) presentó variaciones entre 1,07 % y 1,63 %, observándose un incremento significativo en los tratamientos fertilizados respecto al T, sin hallarse diferencias significativas entre estos. La concentración de P se encontró entre 0,18 % y 0,19 %, sin diferenciarse entre tratamientos, similar a lo observado en la concentración de Zn donde tampoco se observaron diferencias, con valores medios entre $14,8 \text{ mg kg}^{-1}$ y $15,4 \text{ mg kg}^{-1}$. La concentración de S fue significativamente menor en el T (0,08 %), respecto a los tratamientos fertilizados, los cuales no presentaron diferencias entre sí, con valores medios de S entre 0,11 % y 0,12 %.

En cuanto a la relación entre los nutrientes en el estado de floración (Z6.0), las diferencias se hallaron sólo en algunos casos y principalmente con el T sin encontrarse diferencias entre los tratamientos fertilizados. Estos tratamientos presentaron los valores más altos de relación N:P, N:Zn y S:Zn, indicando un incremento en la absorción de N respecto a P y Zn, y de S respecto a Zn, comparándolos con el T. Por otro lado, la relación P:S fue menor en los tratamientos fertilizados, indicando una absorción proporcionalmente superior de S respecto a P, en comparación con el T. Las relaciones N:S y P:Zn no presentaron variaciones significativas entre el T y los tratamientos fertilizados y tampoco entre estos (Tabla 3).

Tabla 3. Concentración de N, P, S y Zn en el material vegetal (Z 6.0) y relación N:S, N:P, N:Zn, P:Zn, P:S y S:Zn.

Variables	Tratamiento			
	T	NP	NPS	NPSZn
N (%)	1,07 B	1,50 A	1,45 A	1,63 A
P (%)	0,18 A	0,19 A	0,19 A	0,19 A
S (%)	0,08 B	0,11 A	0,11 A	0,12 A
Zn (mg kg ⁻¹)	15,13 A	14,83 A	15,37 A	15,30 A
N:S	12,9 A	13,3 A	12,9 A	13,9 A
N:P	6,1 B	8,1 A	7,7 A	8,5 A
N:Zn	7,1 B	10,3 A	9,8 A	10,7 A
P:Zn	1,2 A	1,3 A	1,2 A	1,3 A
P:S	2,1 A	1,6 B	1,7 B	1,6 B
S:Zn	0,5 B	0,8 A	0,7 A	0,8 A

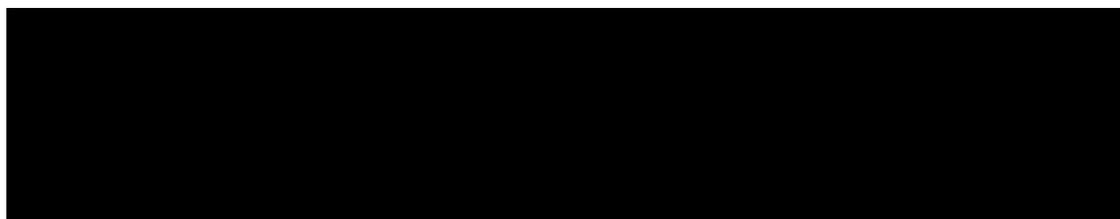
Letras diferentes en cada línea, indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Eficiencias de uso de nutrientes

La eficiencia de absorción de N (EAbsN) no presentó diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, pero si se observó un incremento significativo en la EUN y la EUP del

tratamiento NPSZn respecto a los que no incluían Zn. Por otro lado, el tratamiento T presentó la EUA más baja, hallándose un incremento significativo con los tratamientos NP y NPS, los cuales no se diferenciaron entre sí, pero sí con el tratamiento NPSZn donde la EUA alcanzó valores de $11,4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$.

Tabla 4. Eficiencia de absorción de N (EAbsN), eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN), eficiencia en el uso del fósforo (EUP) y eficiencia en el uso del agua (EUA).



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

DISCUSIÓN

La respuesta en rendimiento a la aplicación de N, P y Zn estuvo relacionada con los bajos niveles edáficos de estos nutrientes. El bajo valor de IMO (3,7) que presentó este sitio refleja cierta degradación del suelo, la cual puede condicionar la productividad de los cultivos (Quiroga et al., 2006), sumando a esto el bajo nivel de N-NO_3^- hallado a la siembra. Por otro lado el nivel de P extractable también fue bajo ($7,2 \text{ mg kg}^{-1}$), considerando que la bibliografía menciona valores umbrales para trigo de aproximadamente 20 mg kg^{-1} de P extractable por Bray Kurtz N°1 (Sucunza et al., 2018). Particularmente la deficiencia de P en los suelos de la región ha sido estudiada por varios autores, hallándose en la mayoría de los casos respuesta a la fertilización fosforada (Sainz Rozas et al., 2019).

La determinación de S disponible ha mostrado un escaso valor predictivo de la probabilidad de respuesta a la fertilización con S en la región pampeana, siendo una de las causas la baja precisión de la cuantificación turbidimétrica (Russi et al., 2010). El suelo de este sitio presentó un contenido de $S-SO_4^{2-}$ superior al valor umbral de 10 mg kg^{-1} propuesto por Johnson and Fixen (1990), pero por otro lado, el bajo contenido de MO podría inferir probables deficiencias de S disponible (Carciochi et al 2015). Sin embargo, no se halló una respuesta significativa en rendimiento al agregado de S. La relación crítica de N:S en biomasa en cual no hay deficiencia de S que restrinja el crecimiento del cultivo, presenta valores críticos que varían entre 15:1 y 17:1 entre macollaje y fin de elongación de tallos (Blake-Kalff et al., 2000; Rasmussen et al., 1977). A medida que avanza el desarrollo del cultivo esa relación aumenta por un efecto dilución del azufre en la biomasa. En el presente estudio la biomasa tuvo una relación que varió entre 12,9 y 13,9 promedio en Z6.0 sin diferencia entre tratamientos por lo que refleja un buen balance de los nutrientes y la falta de deficiencia de S. En general la respuesta a la fertilización azufrada no parece ser tan generalizada como la respuesta a N y P. Por ejemplo, Reussi Calvo et al., (2006) en un trabajo llevado adelante en el sudoeste bonaerense hallaron respuestas en rendimiento sólo en algunos años y sitios, hallando además que la variable que mejor se relacionó con el rendimiento fue el contenido de $S-SO_4^{2-}$ a la siembra de 0-60 cm y no así el determinado de 0-20 cm. Esto último, constituye un punto importante a tener en cuenta para futuras investigaciones.

La pérdida de fertilidad de los suelos debido a la exportación continua de nutrientes sin reposición origina deficiencias de los mismos y trae asociado pérdidas importantes en la disponibilidad de algunos micronutrientes como el Zn. Los valores umbrales por encima de los cuales no hay respuesta al agregado de fertilizante con Zn es de 1 ppm (sugerido por Sims y

Jhonson, 1991). La respuesta hallada en el tratamiento con NPSZn estuvo relacionada con la baja disponibilidad del nutriente en el suelo ($0,18 \text{ mg kg}^{-1}$). De acuerdo con la bibliografía, estudios anteriores muestran que los factores del suelo que afectan la disponibilidad de Zn en las raíces son: alto nivel de carbonatos (CaCO_3), pH elevado, suelos arcillosos, bajo contenido de materia orgánica, baja humedad del suelo y altos niveles de óxidos de Fe y Al. Los altos contenidos de fósforo y bajos contenidos de Zn provocan una severa deficiencia de este nutriente. Las deficiencias suelen aparecer en una etapa temprana en el ciclo de crecimiento, limitando la actividad enzimática y afectando la eficiencia de uso del nitrógeno y del fosforo. La fertilización con NPSZn generó un importante incremento en rendimiento, sin embargo, la absorción de Zn en Z 6.0 en biomasa no presentó diferencias entre los tratamientos. La interacción de los nutrientes aplicados en conjunto con el nitrógeno tiene beneficios que exceden a la suma de beneficios de cada nutriente agregados individualmente (Duncan et al., 2018), por lo que la fertilización balanceada generó incrementos de un 11% en el rendimiento al agregar S y Zn con la misma dosis de N y P respecto al agregado de estos dos nutrientes únicamente. Los tratamientos fertilizados respecto al testigo no se diferenciaron en los componentes peso de las espigas, número de espigas por unidad de superficie, y en el número de granos, pero sí un incremento en el peso de los granos con mejor balance en la fertilización, por lo que la fertilización con Zn tuvo impacto en el componente peso de granos que definió el incremento significativo en el rendimiento. El PH mejoró al aplicar fertilizantes, hallando lo mismo en otros trabajos donde observaron incrementos con la aplicación de N, P y S (Abera et al., 2020; Dereje et al., 2019), sin embargo, el Zn no tuvo un efecto significativo, similar a lo hallado por (Sadeghi et al., 2021).

El aumento en las dosis de N genera incrementos en el rendimiento, pero disminuciones en la concentración de proteína en grano y menor EUN (Acreche and Slafer, 2009; Gooding, 2017). El impacto de las combinaciones de N con otros nutrientes aplicados como P, S, Zn mejoraron la eficiencia con la que se utilizan los nutrientes y el aprovechamiento del agua del suelo debido a que hay evidencia de que la interacción con otros nutrientes favorece el crecimiento radicular, el crecimiento de las plantas y la absorción de N (Duncan et al., 2018). Con el agregado de Zn la EUN y la EUP se incrementó un 37 % y la EUA fue un 15% superior respecto del tratamiento NP, afirmando respuestas a estudios anteriores (Salvagiotti et al., 2012). En cambio, las mejoras en la EUN por el agregado de S son menos frecuentes y de menor magnitud (Colwell and Grove, 1976). En ambientes donde las precipitaciones son limitantes y la productividad del cultivo depende del agua que los suelos pueden almacenar se buscan prácticas de manejo que permitan incrementar la eficiencia de utilización y aprovechamiento del agua disponible. La combinación de nutrientes por la fertilización tuvo efectos positivos en el uso de este recurso. Se ha demostrado que a medida que aumenta la dosis de N, el rendimiento aumenta y en conjunto aumenta la EUA, pero en detrimento de la EUN (Dillchneider et al., 2019; Gaggioli et al., 2014), pero pocos autores han medido el efecto de la fertilización balanceada sobre el aumento en la productividad del agua.

El incremento de nutrientes por mejor balance en la nutrición también tiene efectos positivos en la calidad de los granos. Si bien los aumentos en el contenido de proteína no se incrementaron con la combinación de nutrientes, mantuvo los valores frente aumentos significativos de rendimiento. Mayor EUN lograda con el aporte de otros nutrientes, generan depósitos de N en la planta que podrían distribuirse a un mayor número de granos y le proporciona cierta protección al

efecto de dilución de proteína (E. Duncan et al., 2018; Grant et al., 1985). Con el aporte de S no se encontró una mejora significativa en el contenido de proteína, pero como es un elemento importante en las proteínas formadoras de gluten, los efectos se podrían ver en la mejora de la calidad panadera por el balance entre gliadinas y gluteninas (Godfrey et al., 2010; Randall et al., 1981; Salvagiotti et al., 2009).

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo muestran que una nutrición balanceada con el aporte de macro, meso y micronutrientes trae beneficios en el rendimiento del cultivo de trigo, a partir de una mejor absorción y utilización de los nutrientes y del agua, siendo una estrategia interesante en ambientes semiáridos. Se destaca además la importancia de tener en cuenta posibles deficiencias de Zn en estos suelos, ya que, como pudo observarse, el aporte de este como fertilizante produjo una respuesta sustancial en el rendimiento, incluso manteniendo el contenido de proteína en grano. Por último, sería importante seguir analizando el impacto de estas combinaciones de nutrientes sobre la calidad panadera del trigo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abera, D., Tana, T., Dessalegn, T., 2020. Effects of Blended NPSB Fertilizer Rates on Yield and Grain Quality of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L.) Varieties in Minijar Shenkora District, Central Ethiopia. *J. Agric. Sci* 30, 57–76.
- Acreche, M.M., Slafer, G.A., 2009. Variation of grain nitrogen content in relation with grain yield in old and modern Spanish wheats grown under a wide range of agronomic conditions in a Mediterranean region. *J. Agric. Sci.* 147, 657–667.

<https://doi.org/10.1017/S0021859609990190>

Aramburu Merlos, F., Monzon, J.P., Mercu, J.L., Taboada, M., Andrade, F.H., Hall, A.J., Jobbagy, E., Cassman, K.G., Grassini, P., 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *F. Crop. Res.* 184, 145–154.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.10.001>

Barbieri, P.A., Echeverría, H.E., Rozas, H.R.S., Martínez, J.P., Velasco, J.L., Calvo, N.I.R., 2011. Fertilización en trigo : ¿ es necesario fertilizar con zinc y cobre en Balcarce ? 9–16.

Belmonte, M.L., Casagrande, G.A., Deanna, M.E., Olgún Paez, R., Farrell, A., Babinec, F.J., 2017. Estadísticas Agroclimáticas de la EEA Anguil, Ediciones. ed, EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas INTA.

Blake-Kalff, M.M.A., Hawkesford, M.J., Zhao, F.J., McGrath, S.P., 2000. Diagnosing sulfur deficiency in field-grown oilseed rape (*Brassica napus* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Soil* 225, 95–107.

Bouwman, a. F., Beusen, a. H.W., Billen, G., 2009. Human alteration of the global nitrogen and phosphorus soil balances for the period 1970-2050. *Global Biogeochem. Cycles* 23.
<https://doi.org/10.1029/2009GB003576>

Briat, J.F., Gojon, A., Plassard, C., Rouached, H., Lemaire, G., 2020. Reappraisal of the central role Briat, J. F., Gojon, A., Plassard, C., Rouached, H., Lemaire, G. (2020). Reappraisal of the central role of soil nutrient availability in nutrient management in light of recent advances in plant nutrition at crop and mole. *Eur. J. Agron.* 116, 126069.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126069>

- Carciochi, W., Divito, G.A., Reussi Calvo, N., Echeverría, H., 2015. ¿Qué sabemos del diagnóstico de azufre en los cultivos de la Región Pampeana Argentina?
- Colwell, J.D., Grove, T.S., 1976. Assessments of potassium and sulphur fertilizer requirement of wheat in Western Australia. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 16.
- Cuesta, N., Carciochi, W.D., Sainz Rozas, H.R., Salvagiotti, F., Colazo, J.C., Wyngaard, N., Eyherabide, M., Ferraris, G.N., Barbieri, P.A., 2020. Effect of zinc application strategies on maize grain yield and zinc concentration in mollisols. *J. Plant Nutr.* 44.
- Dereje, D., Girma, A., Wegayehu, W., 2019. Grain quality and nitrogen use efficiency of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties in response to nitrogen fertilizer in Arsi highlands, southeastern Ethiopia. *African J. Agric. Res.* 14, 1544–1552.
<https://doi.org/10.5897/ajar2019.14032>
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W., 2017. Grupo InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- 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. *Semiárida Rev. la Fac. Agron. UNLPam* 29, 53–62.
[https://doi.org/10.19137/semiarida.2019\(01\).53-62](https://doi.org/10.19137/semiarida.2019(01).53-62)
- Divito, G., Garcia, F., 2017. Manual del cultivo de trigo, 1^a. ed. IPNI.
- Dreccer, M.F., Ruiz, R.A., Maddonni, G.A., Satorre, E.H., 2003. Bases ecofisiológicas de la nutrición en los cultivos de grano, in: *Producción de Granos. Bases Funcionales Para Su Manejo.* pp. 481–497.

- Duncan, E., O'Sullivan, C.A., Roper, M.M., Biggs, J.S., Peoples, M.B., 2018. Influence of co-application of nitrogen with phosphorus, potassium and sulphur on the apparent efficiency of nitrogen fertiliser use, grain yield and protein content of wheat: Review. *F. Crop. Res.* 226, 56–65. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.07.010>
- 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>
- Erisman, J.W., Sutton, M., Galloway, J., Klimont, Z., Winiwarter, W., 2008. How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nat. Geosci. - NAT GEOSCI* 1, 636–639. <https://doi.org/10.1038/ngeo325>
- Fuertes-mendizábal, T., Aizpurua, A., González-moro, M.B., Estavillo, J.M., 2010. Improving wheat breadmaking quality by splitting the N fertilizer rate. *Eur. J. Agron.* 33, 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.03.001>
- Gaggioli, C., Noellemeyer, E., Quiroga, A., 2014. Productividad y eficiencia de uso de agua de cereales invernales en dos suelos contraste de la región semiárida pampeana. *Asoc. Argentina Cienc. del suelo* 2011–2012.
- Godfrey, D., Hawkesford, M.J., Powers, S.J., Millar, S., Shewry, P.R., 2010. Effects of crop nutrition on wheat grain composition and end use quality. *J. Agric. Food Chem.* 58, 3012–3021. <https://doi.org/10.1021/jf9040645>
- Gooding, M., 2017. *The Effects of Growth Environment and Agronomy on Grain Quality*,

- Second Edi. ed, Cereal Grains: Assessing and Managing Quality: Second Edition. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100719-8.00018-8>
- Grant, C.A., Stobbe, E.H., Racz, G.J., 1985. The effect of fall-applied N and P fertilizer and timing of N application on yield and protein content of winter wheat grown on zero-tilled land in Manitoba. *Can. J. Soil Sci.* 65, 621–628. <https://doi.org/10.4141/cjss85-068>
- Grasso, A., Díaz, M., 2020. Manual de buenas prácticas de manejo de fertilización. Fertilizar Asociación civil.
- Johnson, G. V, Fixen, P.E., 1990. Testing Soils for Sulfur, Boron, Molybdenum, and Chlorine. Soil Test. Plant Anal., SSSA Book Series. <https://doi.org/https://doi.org/10.2136/sssabookser3.3ed.c10>
- Landriscini J.A., M.R.. G., 2010. Balance nutricional y productividad del trigo. *Fertilizar* 27–32.
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(97\)00030-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00030-5)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.08.019>
- Randall, P.J., Spencer, K., Freney, J.R., 1981. Sulfur and nitrogen fertilizer effects on wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 32, 203–212.
- Rasmussen, P.E., Ramig, R.E., Skin, L.G., Rohde, C.R., 1977. Tissue analyses guidelines for

diagnosing sulfur deficiency in white wheat. *Plant Soil* 46, 153–163.

<https://doi.org/10.1007/BF00693122>

Reussi Calvo, N.I., Echeverría, H.E., Rozas, H.S., 2006. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de azufre en el sudeste bonaerense. *Handb. Environ. Chem. Vol. 5 Water Pollut.* 24, 77–87.

Rimi, T.A., Islam, M.M., Siddik, M.A., Islam, S., Shovon, S.C., Parvin, S., 2015. Response of Seed Yield Contributing Characters and Seed Quality of Rapeseed (*Brassica campestris* L.) to Nitrogen and Zinc. *Int. J. Sci. an Res. Publ.* 5.

Russi, D., Gutierrez Boem, F.H., Prystupa, P., Rubio, G., 2010. Análisis interlaboratorios de sulfatos en suelo II Análisis de exactitud. *Cátedra Fertil. y Fertil.* 649.

Sadeghi, F., Rezeizad, A., Rahimi, M., 2021. Effect of Zinc and Magnesium Fertilizers on the Yield and Some Characteristics of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seeds in Two Years. *Int. J. Agron.* 2021, 6. <https://doi.org/10.1155/2021/8857222>

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.*

Salvagiotti, F., Castellarín, J., Ferraguti, F., 2012. Respuesta a la fertilización con zinc y boro en el cultivo de trigo en el sur de Santa Fe. *Para Mejor. la Prod.* 47, 41–44.

Salvagiotti, F., Castellarín, J.M., Miralles, D.J., Pedrol, H.M., 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *F. Crop. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.05.003>

Sucunza, F.A., Gutierrez Boem, F.H., Garcia, F.O., Boxler, M., Rubio, G., 2018. Long-term phosphorus fertilization of wheat, soybean and maize on Mollisols: Soil test trends, critical levels and balances. *Eur. J. Agron.* 96, 87–95. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2018.03.004>