

09

Efecto de la fertilización azufrada en la productividad del trigo y su interacción con el nitrógeno

**DAVID MELIÓN^{1,*},
Y ROMINA PAOLA DE SAN
CELEDONIO^{2,3}**

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Agencia de Extensión Rural Bragado (Argentina).

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Agencia de Extensión Rural Chivilcoy (Argentina).

³ Universidad de Buenos Aires (UBA). Facultad de Agronomía. Cátedra de Producción Vegetal (Argentina).

* melion.david@inta.gob.ar

Para evaluar el impacto de la fertilización azufrada, y su interacción con la fertilización nitrogenada en el rendimiento en trigo, se realizaron experimentos en la localidad de Bragado, durante 2019 y 2020. Se utilizaron distintas dosis de los fertilizantes, combinando los niveles de nutrientes en los tratamientos evaluados.

Palabras clave: Rendimiento, Cultivo, Nutrientes, Dosis.

Introducción

El trigo es el cultivo invernal predominante de la región pampeana. La superficie de siembra a nivel nacional oscila entre la 5,5 y los 6 millones de hectáreas, estimándose para la presente campaña una superficie de 6,92 millones de hectáreas (BCR, 2024).

La práctica de la fertilización es determinante para obtener buenos rendimientos y a su vez es el mayor componente del costo del trigo. Luego del nitrógeno (N) y fósforo (P), el azufre (S) es el tercer nutriente limitante para el crecimiento de los cultivos en la Región Pampeana

(Torres Duggan *et al.*, 2012). La fertilización con N y S, y su interacción, ha sido estudiada por diversos autores. La fertilización balanceada con estos nutrientes incrementa las tasas de crecimiento del cultivo de trigo en etapas críticas para la definición del número de granos. El desarrollo de mayor área foliar, que determina una mayor capacidad de interceptar radiación en el período crítico, es uno de los efectos principales de la adición de S (Salvagiotti *et al.*, 2009). Sin embargo, es importante destacar que la disponibilidad de N no debe ser limitante para poder sacar el provecho máximo de la fertilización con S.

El agregado de S en trigo normalmente se planifica a partir de los requerimientos del cultivo y del diagnóstico que surge de los contenidos de S como sulfatos en suelo. En este sentido se han desarrollado diferentes métodos basados en el análisis de suelo. Johnson y Fixen (1990), reportaron niveles críticos (NC) de S-SO₄-2 en suelo de 10 mg/kg para el cultivo de trigo.

El objetivo principal de este trabajo fue evaluar la respuesta del trigo a dosis crecientes de S y su interacción con la disponibilidad de N. Además, se buscó determinar si la eficiencia del uso del N se ve modificada por la adición de S.

Materiales y Métodos

Los experimentos se llevaron a cabo durante las campañas 2019 y 2020, en lotes cercanos a la localidad de Bragado, sobre suelos hapludoles. Las variedades utilizadas fueron Klein Liebre y DM Ceibo, y se sembraron el 11 de junio y el 5 de julio respectivamente. Se utilizó sembradora experimental a un distanciamiento de 20 cm entre hileras y se agregó a la siembra 130 kg/ha de fosfato monoamónico (11-23-0). La densidad de siembra objetivo fue de 300 semillas/m².

Previo a la siembra de los ensayos se realizaron análisis de suelo (Tabla 1) para conocer la situación nutricional de los sitios. Los tratamientos de fertilización N – S se aplicaron al voleo, inmediatamente después del nacimiento del trigo. La fuente

nitrogenada utilizada fue urea granulada (46-0-0) y la azufrada fue sulfato de calcio (0-0-0-18 S-22 Ca). Se utilizaron prácticas y tecnologías de protección a malezas y enfermedades del cultivo utilizadas por el productor.

Las precipitaciones registradas entre julio y noviembre para las campañas evaluadas (Figura 1) fueron 455 mm y 433 mm en 2019 y 2020 respectivamente, siendo abundantes particularmente en octubre y noviembre con registros durante estos meses de 345 mm en 2019 y 270 mm en 2020, coincidiendo con el período crítico del cultivo (20 días antes y 10 días después de anthesis).

Los tratamientos los formaron distintas dosis de N agregado al suelo (20, 80, 100, 160, 180 y 240 kg N/ha), los que se combinaron con 0, 7, 14, 21 y 28 kg/ha de S.

Se realizó la cosecha recolectando la parcela completa con cosechadora experimental. Se pesaron las muestras y se corrigieron por humedad (14%) para determinar el rendimiento en grano.

El diseño experimental utilizado fue en diseño completamente aleatorizado, con tres repeticiones con unidades experimentales de 1,4 m de ancho y 5 m de largo. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza con arreglo factorial mediante el software de análisis estadístico InfoStat versión 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020). La diferencia entre medias fue testada mediante el LSD Fischer con un alfa= 0,05. El grado de asociación entre la fertilización azufrada y el rendimiento de trigo se analizó mediante modelos de regresión lineal, según la siguiente ecuación:

$$Y = a + b \cdot X \quad (\text{Ec. 1})$$

Tabla 1. Resultados de análisis de suelo de los sitios experimentales durante las campañas 2019 y 2020.

| Variable | 2019 | 2020 |
|-------------------------|------|------|
| N suelo 0-60 cm (kg/ha) | 63,8 | 55,3 |
| P Bray 0-20 cm (mg/kg) | 8,3 | 9,2 |
| S-S04-2 0-20 cm (mg/kg) | 8,4 | 7,7 |
| pH | 5,9 | 5,8 |
| MO (%) | 2,9 | 3,5 |

La relación entre el rendimiento de trigo y el nitrógeno disponible en el suelo se analizó mediante funciones hiperbólicas, según la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{B_{\max} \cdot X}{K_d + X} \quad (\text{Ec. 2})$$

en donde Y representa el rendimiento en grano de trigo (kg/ha), X el nivel de N disponible en el suelo (kg/ha), B_{max} es el rendimiento máximo teórico del trigo (kg/ha) y K_d es la constante de medio-saturación

(kg/ha), que es la cantidad de N necesaria para alcanzar la mitad del rendimiento máximo.

Los ajustes se realizaron mediante el método de mínimos cuadrados utilizando el software Graph Pad Prism versión 8.

La eficiencia agronómica (EA) del fertilizante nitrogenado fue calculada como el cociente entre el diferencial de rendimiento obtenido entre dos tratamientos de fertilización, y la dosis de fertilizante aplicado (kg rendimiento/kg de N aplicado).

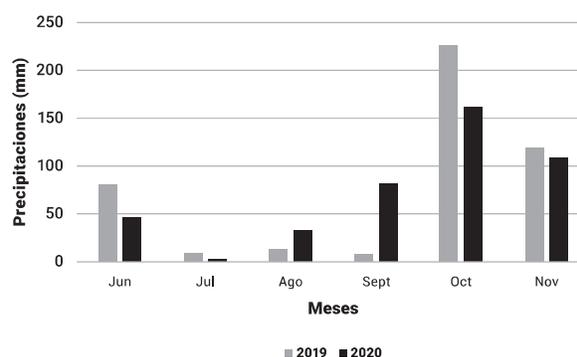


Figura 1. Precipitaciones (mm) registradas durante el ciclo del cultivo en 2019 y 2020.



Resultados y Discusión

Considerando que los requerimientos hídricos del cultivo de trigo son de aproximadamente 400 - 450 mm, la disponibilidad hídrica no habría limitado el rendimiento del cultivo.

Los rendimientos promedio obtenidos fueron 4674 y 4662 kg/ha para las campañas 2019 y 2020, respectivamente, sin diferencias estadísticas entre años ni interacción entre la fertilización azufrada y el año ($p > 0,1$). Debido a ellos se prosiguió a analizar los datos como promedio de ambas campañas. Se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos de N ($p < 0,001$) y entre los tratamientos de S ($p < 0,05$), sin interacción entre ambos factores ($p > 0,1$). Los rendimientos obtenidos para cada tratamiento se presentan en la Tabla 2.

Según los datos de análisis de suelo, había probabilidad de respuesta al agregado de S debido que en ambos sitios los valores de S-SO₄-2 se encontraban por debajo del NC. Sin embargo, para las condiciones del presente trabajo solo se obtuvo respuesta al agregado de S con las dosis más altas (21 y 28 kg/ha), respecto a los tratamientos de 7 y 14 kg/ha de S. Esto puede deberse a que en algunos estudios obtuvieron baja correlación entre la concentración de S-SO₄-2 en el suelo y el rendimiento, debido a la gran cantidad de factores que inciden sobre la dinámica del S en el suelo (McGrant *et al.*, 2002).

Tabla 2. Rendimiento de trigo (kg/ha) para los distintos tratamientos de fertilización nitrogenada y azufrada y su combinación.

| Dosis de N (kg/ha) | Dosis de S (kg/ha) | | | | | Promedio N |
|--------------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0 | 7 | 14 | 21 | 28 | |
| 20 | 3267 | 3383 | 2963 | 3677 | 3330 | 3324 B |
| 80 | | 2820 | 2620 | 2820 | 2747 | 2752 A |
| 100 | 5053 | 4683 | 4903 | 5130 | 5103 | 4975 C |
| 160 | | 5080 | 4953 | 5387 | 5153 | 5143 C |
| 180 | 5527 | 5933 | 5663 | 5593 | 5893 | 5722 D |
| 240 | | 5573 | 5547 | 6553 | 6987 | 6165 E |
| Promedio S | 4616 AB | 4579 A | 4442 A | 4860 B | 4869 B | |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Aunque el análisis de varianza (ANOVA) no detectó una interacción significativa entre la disponibilidad de N y la fertilización azufrada, el análisis de regresión reveló una interacción que se manifiesta en la necesidad de ajustar dos modelos de regresión distintos. La fertilización azufrada se asoció positivamente con el rendimiento solo en la condición de mayor disponibilidad de N (Figura 2). Para el tratamiento de 240 kg/ha de N se observó una correlación lineal positiva entre el rendimiento y la dosis de fertilizante azufrado ($p < 0,01$; $R^2 = 0,56$), con una pendiente de

75 kg de trigo por kg de S aplicado. Para las dosis más bajas de N no se encontró una relación entre la dosis de S y el rendimiento de trigo ($p > 0,1$). Esto indicaría que la respuesta al agregado de S queda limitada a condiciones donde el N no es limitante para la generación del rendimiento, y esto coincide con lo enunciado por Salvagiotti *et al.* (2009). La sensibilidad del modelo de regresión para detectar estas interacciones se debe a su capacidad de ajustar más detalladamente las relaciones entre variables, al considerarlas como variables continuas. Esto permite

identificar patrones que pueden no ser evidentes en un ANOVA, centrado en la comparación de medias.

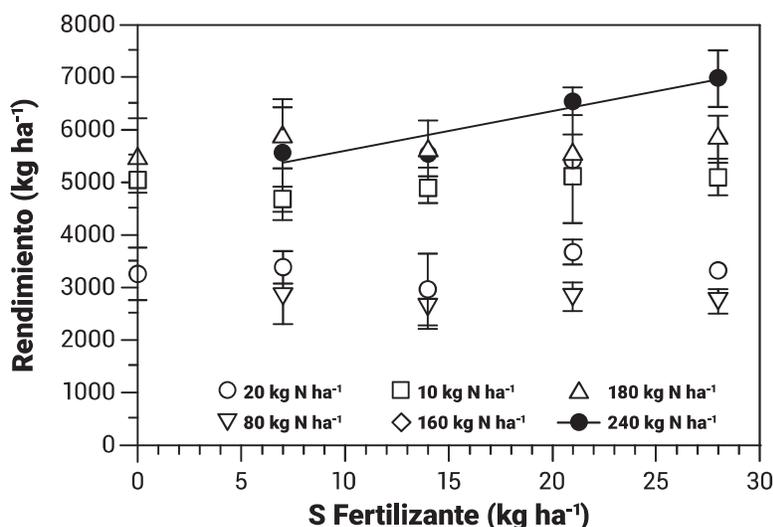


Figura 2. Rendimiento de trigo en función de la dosis de azufre (S) aplicado al suelo como fertilizante para distintos niveles de fertilización nitrogenada (20, 80, 100, 160, 180 y 240 kg N/ha). Los datos corresponden a las campañas 2019 y 2020 en la localidad de Bragado. Se presentan rendimientos promedios \pm 1 desvío estándar (N=3). La línea llena representa ajuste de la regresión lineal para el tratamiento de 240 kg N/ha

El rendimiento de trigo se incrementó a medida que aumentó la disponibilidad de N en el suelo, y se alcanzaron valores máximos mayores con los niveles más altos de fertilización azufrada (Figura 3). Se ajustaron dos modelos por separado: uno para los tratamientos de 0, 7 y 14 kg/ha de S ($R^2= 0,76$) y otro para los tratamientos de 21 y 28 kg/ha de S ($R^2= 0,81$). Ambos

ajustes difirieron estadísticamente en sus parámetros ($p < 0,01$). Para los tratamientos de 14 kg/ha de S o menos, el valor máximo de rendimiento ajustado (B_{max}) fue de 8335 kg/ha, mientras que para los tratamientos de 21 y 28 kg/ha de azufre fue de 10111 kg/ha. Esto equivale a 1776 kg extra de trigo por fertilizar con al menos 21 kg/ha de S, una vez

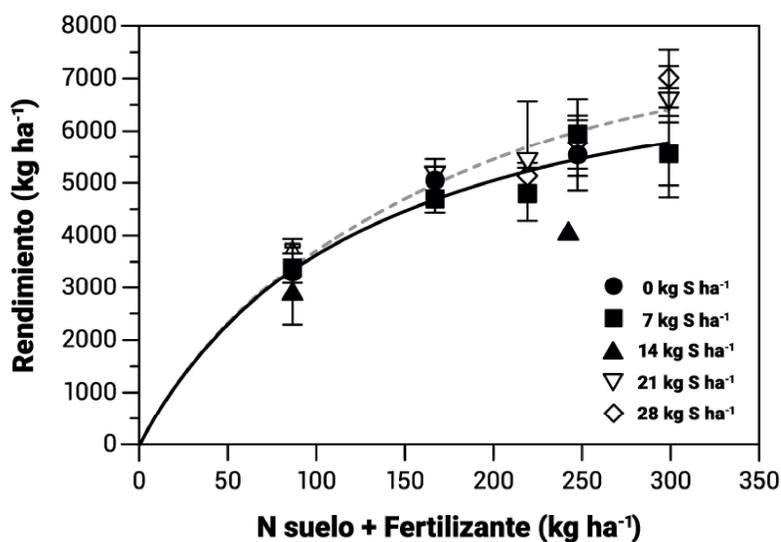


Figura 3. Rendimiento del cultivo de trigo (kg/ha) en función del contenido de N suelo + fertilizante (kg/ha) para los distintos tratamientos de S. La línea punteada representa el ajuste para los tratamientos de 21 y 28 kg/ha de azufre y la línea llena el ajuste para los tratamientos de 0, 7 y 14 kg/ha de azufre.

que se saturó la respuesta al N, lo que indicaría un aumento en la eficiencia de uso del N debido a la fertilización azufrada.

Finalmente se calculó la eficiencia agronómica (EA) de pasar de una dosis de N de 180 kg/ha, a una dosis de 240 kg/ha para cada situación de fertilización de S. Con los tratamientos de 7 y 14 kg/ha de S, la EA fue en promedio -4 kg de trigo por kg de N aplicado, mientras que, con las dosis más altas de S, la EA aumentó a 17 kg de trigo por kg de N aplicado.

Conclusiones

La fertilización azufrada en combinación con una adecuada disponibilidad de nitrógeno es esencial para maximizar el rendimiento del trigo. Usando dosis crecientes de azufre hasta 28 kg/ha, en condiciones de suficiente nitrógeno, no solo se incrementa el rendimiento sino también mejora la eficiencia en el uso del nitrógeno aplicado. Estos resultados subrayan la importancia de una fertilización balanceada y la necesidad de considerar tanto S como N en las estrategias de manejo nutricional para optimizar la productividad del trigo.

Bibliografía

BCR. 2024. *Bolsa de cereales de Rosario*. Disponible en: <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/gea/estimaciones-nacionales-de-produccion/estimaciones> [consultado: 01 julio 2024].

Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C. W. 2020. *InfoStat. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*. URL <http://www.infostat.com.ar>

Johnson, G. V.; Fixen, P. E. 1990. *Testing Soils for Sulfur, Boron, Molybdenum, and Chlorine*. En: Westerman, R. L.(ed) *Soil testing and Plant analysis* 3: 265-273.

Mc Grant, S. P.; Zhao, F. J.; Blake-kalff, M. M. A. 2002. *Sulphur in soils: proceses, behaviour and measurement*. En: *Proceedings International Fertiliser Society* 499: 26.

Salvagiotti, F.; Castellarin, J. M.; Miralles, D. J.; Pedrol, H. M. 2009. *Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake*. En: *Field Crops Research* 113:170-177.

Torres Duggan, M.; Melgar, R.; Rodríguez, M. B.; Lavado, R. S.; Ciampitti, I. A. 2012. *Sulfur fertilization technology in the Argentine Pampas region: a review*. En: *Agronomía & Ambiente* 32(1-2): 61-73.