

Fertilización con zinc, cobre y cloro en el cultivo de trigo en el sudeste bonaerense

Los micronutrientes pueden ser deficientes en el suelo y limitar las funciones metabólicas de las plantas, evaluamos el efecto de la fertilización con Zn, Cu y Cl sobre el rendimiento en grano y el contenido de proteína del cultivo de trigo en el sudeste de la provincia de Buenos Aires

Pablo Barbieri^{1,2}; Cecilia Crespo^{1,2};
Matías Cuervo¹;
María Pía Rodríguez^{1,3}

¹ Unidad Integrada Balcarce
(INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMDP)

² CONICET

³ FONCyT

**barbieri.pablo@inta.gob.ar*

En el sudeste bonaerense, la intensificación de la actividad agrícola y la falta de rotaciones con pasturas han producido una notable disminución de los niveles de materia orgánica (MO). Estas caídas en la MO explicarían la respuesta generalizada al agregado de nitrógeno (N), fósforo (P) y, en menor medida, a azufre (S). Las deficiencias de micronutrientes son menos frecuentes que las determinadas en N, P y S. Sin embargo, más allá de ser requeridos en pequeñas cantidades para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, los micronutrientes pueden ser deficientes en el suelo y limitar las funciones metabólicas de las plantas. La exportación continua de micronutrientes sin reposición podría originar deficiencias de los mismos y respuestas a la fertilización. En este sentido, la agricultura moderna de alta producción incrementa la tasa de extracción de macro y micronutrientes. A su vez, el aumento en la frecuencia del cultivo de soja en las rotaciones agrícolas podría afectar

negativamente el balance de micronutrientes en el suelo, ya que exporta mayores cantidades que el trigo o maíz.

La disponibilidad de zinc (Zn) y cobre (Cu) puede ser elevada en suelos con altos contenidos de MO. En este sentido, los niveles de MO en el sudeste bonaerense son elevados en condiciones prístinas, sin embargo, los contenidos de Cu se redujeron un 16% en suelos bajo agricultura continúa encontrándose por encima de los umbrales críticos (0.12-0.25 mg kg⁻¹). Contrariamente, las caídas en los contenidos de Zn en suelo debido a la actividad agrícola fueron de aproximadamente 65%, llegando a valores cercanos a los umbrales de deficiencia mencionados en la bibliografía (0.8-1.0 mg kg⁻¹). Las deficiencias de Zn y Cu afectan el metabolismo del N y por lo tanto el contenido de clorofila. Una forma de caracterizar este compuesto es a través de la cuantificación del verdor de la hoja.

A comparación del Zn y el Cu, la cantidad de cloro (Cl) disponible para los cultivos se encuentra en solución. Los efectos de la aplicación de Cl en el desarrollo de trigo varían con el ambiente específico de cada estación de crecimiento. Se ha sugerido que la fertilización con Cl incrementaría los rendimientos por una acción directa en la disminución de la incidencia de enfermedades foliares, sin embargo, estudios en la región pampeana mostraron que los mayores rendimientos se lograron cuando la fertilización con Cl se combinó con tratamientos de fungicidas y cultivares de trigo de alto potencial de rendimiento.

Además de los efectos sobre el rendimiento del trigo y el estado nutricional del cultivo también tienen 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 proteína en los granos de trigo. Si bien existen algunos reportes del efecto de la fertilización con Zn y Cu sobre

el contenido de proteína, se desconocen tales efectos a nivel local.

Teniendo en cuenta la disminución en los niveles de MO de los suelos del sudeste bonaerense, la falta de reposición de micronutrientes, el aumento en la productividad y exportación de los mismos por otros cultivos, es probable que las deficiencias de micronutrientes incidan en la productividad del cultivo de trigo. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización con Zn, Cu y Cl sobre la acumulación de materia seca (MS) y N, el rendimiento en grano y el contenido de proteína en el cultivo de trigo.

La experiencia se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Balcarce durante dos campañas en lotes con prolongada historia agrícola. En la tabla 1 se presentan las características químicas del suelo para ambos años al momento de la siembra de trigo. Los tratamientos evaluados fueron: i) NPS, ii) NPS+Zn+Cu, y iii) NPS+Zn+Cu+Cl. A la siembra del cultivo de trigo se aplicaron 120 kg ha⁻¹

Tabla 1 | Características químicas del suelo al momento de la siembra de trigo

	Prof. (cm)	pH (1:2.5)	P-Bray (mg kg ⁻¹)	MO (%)	N-NO ₃ ⁻ (kg ha ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Cl
Año 1	0-20	5,5	21,7	5,4	30,5	1,7	1,0	4,3
	20-40				28,3			
	40-60				15,2			
Año 2	0-20	5,9	26,3	5,2	29,0	1,8	1,1	4,8
	20-40				26,1			
	40-60				14,7			

Tabla 2 | Materia seca (MS) y nitrógeno acumulado (Nac) en los estadios de macollaje, antesis y madurez fisiológica para dos años y tres tratamientos.

Año 1						
Tratamiento	Macollaje		Antesis		Madurez Fisiológica	
	MS	Nac	MS	Nac	MS	Nac
	kg ha ⁻¹					
NPS	1274,9 a	58,6 a	10216,4 a	167,8 a	12210,5 a	128,4 a
NPS+Zn+Cu	1274,9 a	58,6 a	10397,7 a	153,9 a	12462,0 a	119,2 a
NPS+Zn+Cu+Cl	1274,9 a	58,6 a	10274,9 a	167,3 a	12538,0 a	116,7 a
Año 2						
Tratamiento	Macollaje		Antesis		Madurez Fisiológica	
	MS	Nac	MS	Nac	MS	Nac
	kg ha ⁻¹					
NPS	1568,6 a	54,5 a	9388,9 a	184,8 a	14444,4 a	172,3 a
NPS+Zn+Cu	1568,6 a	54,5 a	10027,8 a	195,3 a	15427,4 a	179,2 a
NPS+Zn+Cu+Cl	1568,6 a	54,5 a	9569,4 a	187,2 a	14722,2 a	175,1 a

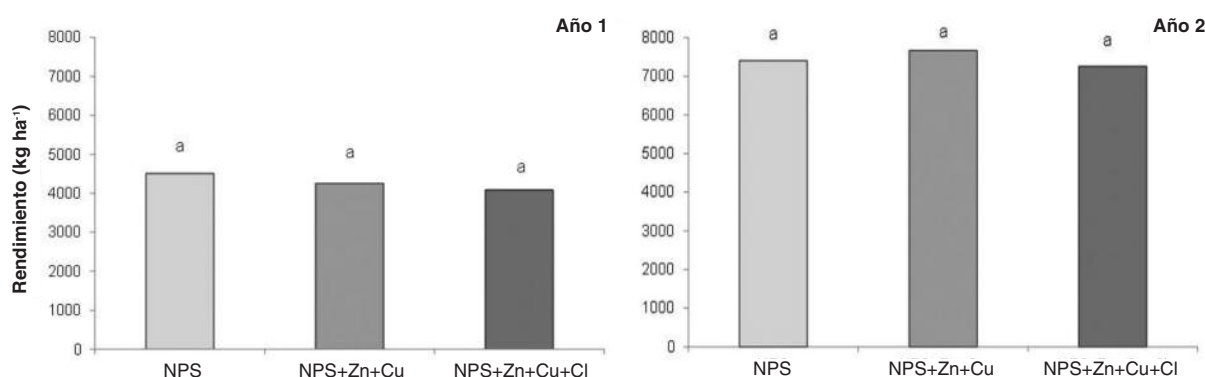
de fosfato di-amónico (DAP), y al inicio del macollaje se fertilizó con 60 kg N ha⁻¹ como urea y 25 kg S ha⁻¹ como CaSO₄ a todos los tratamientos. Al estado de doble arruga se refertilizó con 60 kg N ha⁻¹, con el fin de no tener limitaciones de N, P y S. Según cada tratamiento, se aplicaron 500 g ha⁻¹ de Zn y Cu y 20 kg ha⁻¹ de KCl (46% Cl) en el estado de macollaje.

Para ambas campañas de trigo, las precipitaciones registradas de julio a diciembre fueron 195 y 387 mm el año 1 y el año 2, respectivamente. El segundo año presentó lluvias simila-

Tabla 3 | IV de las hojas determinado con el medidor de clorofila Minolta SPAD 502 para dos años y tres tratamientos.

Año 1				
	Macollaje	Encañazón	Hoja bandera	Floración
Tratamiento	Unidades SPAD			
NPS	42,3 a	41,0 a	44,0 a	46,7 a
NPS+Zn+Cu	42,7 a	41,1 a	43,9 a	46,2 a
NPS+Zn+Cu+Cl	42,9 a	40,6 a	43,8 a	46,0 a
Año 2				
	Macollaje	Encañazón	Hoja bandera	Floración
Tratamiento	Unidades SPAD			
NPS	36,5 a	38,9 a	42,4 a	40,8 a
NPS+Zn+Cu	37,4 a	40,1 a	43,0 a	39,7 a
NPS+Zn+Cu+Cl	37,2 a	39,7 a	42,6 a	41,8 a

Figura 1 | Rendimiento de granos (kg ha⁻¹) para los diferentes tratamientos en Año 1 y Año 2. Letras similares indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos, según test DMS (p<0,05).



res al requerimiento hídrico del cultivo de trigo (aprox. 380-400 mm). Por tal motivo, este año, la disponibilidad hídrica durante el ciclo del cultivo fue adecuada para un normal desarrollo. En cuanto al año 1, se observó un déficit hídrico desde mediados de octubre hasta el fin del ciclo del cultivo. Dicho estrés ocurrió alrededor del período crítico y se extendió durante el período de llenado de grano, por lo cual pudo haber condicionado el rendimiento de cultivo.

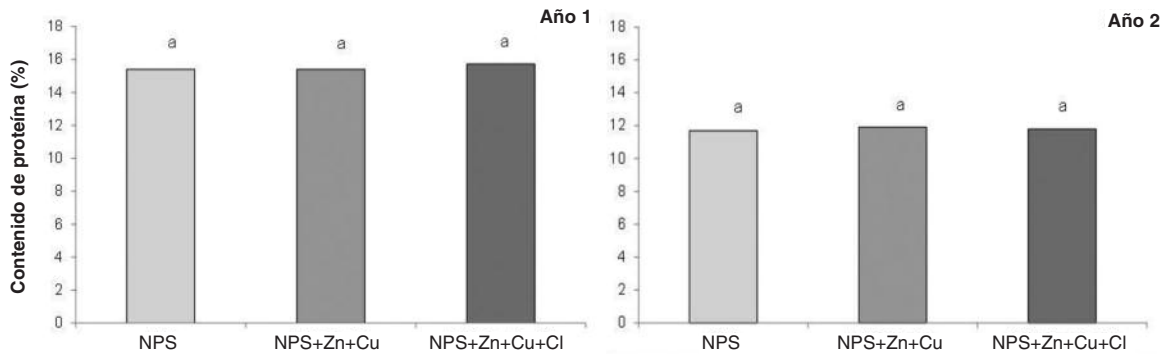
En ambos años, la aplicación de micronutrientes no incrementó significativamente la MS ni el N acumulado por el cultivo de trigo (Tabla 2). Sin embargo, en el año 2 y al estado de madurez fisiológica, el cultivo logró una mayor acumulación de MS y N respecto al año 1, en promedio produjo 2461 y 56 kg ha⁻¹ más de MS y N, respectivamente (Tabla 2). Esto sería consecuencia de la mejor oferta hídrica durante el segundo año.

En ambos años, el contenido de clorofila en los estadios de macollaje, encañazón, hoja bandera y floración no fue diferente por el agregado de micronutrientes (Tabla 3). La falta de respuesta de clorofila del cultivo sería consecuencia de que la disponibilidad en suelo de dichos elementos es adecuada para su normal crecimiento. En todos los estadios, los valores promedio de IV determinados en el año 2 fueron inferiores con respecto al año 1. Si bien el Zn y el Cu participan en la síntesis de clorofila, la fertilización con estos micronutrientes no produjo efectos sobre el contenido de dicho compuesto.

Al igual que lo que se observó para la acumulación de MS y N, los rendimientos no presentaron diferencias significativas entre tratamientos para ninguno de los años (Figura 1). El año 1 presentó, en promedio, 4372 kg ha⁻¹ mientras que en el año 2 el rendimiento promedio fue de 7441 kg ha⁻¹

(Figura 1). Esta diferencia se debió principalmente al déficit hídrico que se observó antes y durante el período crítico del cultivo. La falta de respuesta a la aplicación de Zn y Cu estaría indicando que, a pesar de la prolongada historia agrícola del sitio experimental, la disponibilidad de estos micronutrientes en el suelo se encontró por encima de los umbrales de deficiencia (0.12-0.25 mg kg⁻¹ y 0.8-1.0 mg kg⁻¹, para Cu y Zn, respectivamente) y por lo tanto sería adecuada para el normal desarrollo y crecimiento de cultivo de trigo (Tabla 1). Estos resultados coinciden con informes anteriores para el sudeste bonaerense, donde no se encontró respuesta en rendimiento con aplicación de Zn y Cu. Por otro lado, la respuesta a Zn está únicamente asociada a condiciones de baja disponibilidad de este micronutriente y pH levemente ácido, o en suelos con disponibilidad media de Zn y pH superior a 6, situaciones poco frecuentes para los suelos agrícolas del sudeste

Figura 2 | Porcentaje de proteína para los diferentes tratamientos del Año 1 y 2. Letras similares indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos, según test DMS ($p < 0,05$).



bonaerense destinados al cultivo de trigo.

Las respuestas en rendimiento a la aplicación de Cl observados en Estados Unidos y en la región pampeana argentina varían entre 5 y 10%, y se asocian con niveles de disponibilidad de Cl en suelos menores a 7-8 mg kg⁻¹ o 30 kg ha⁻¹ de 0 a 60 cm. Las dosis normalmente recomendadas se encuentran entre 10 y 25 kg de Cl ha⁻¹. El Cl en los primeros 20 cm representa aproximadamente un tercio del Cl del perfil de 0 a 60 cm. Si se toma dicho valor como referencia, el Cl disponible en los experimentos de este trabajo se encuentra por encima del umbral antes mencionado (Tabla 1), lo que explicaría la ausencia de respuesta a rendimiento a la aplicación de Cl.

En ambos años, el contenido de proteína no presentó diferencias significativas entre tratamientos (Figura 2). En promedio, el contenido de pro-

teína fue de 15,5% para el año 1 y de 11,8% para el año 2. Si bien no se determinaron respuestas en el contenido de proteína para la aplicación de micronutrientes en ninguno de los años, se determinó un menor porcentaje en el año que mayores rendimientos se obtuvo. Esto se debe, a que existe una respuesta inversamente proporcional entre el rendimiento en grano y el contenido de proteína

en trigo. En cuanto a la aplicación de Zn y Cu, los resultados difieren de los reportados para otras zonas, donde se determinaron incrementos en el contenido de proteína por la aplicación de Zn y Cu en trigo y cebada. Los mismos se dieron principalmente en ambientes de altos rendimientos, con la aplicación de Cu realizada durante el llenado del grano.

CONSIDERACIONES FINALES

La aplicación de Zn, Cu y Cl no afectó diferencialmente ninguno de los parámetros evaluados, tanto en un año con buena oferta hídrica como en un año con deficiencias. Esto puede deberse, a que la disponibilidad de los micronutrientes se encontraba por encima de los umbrales de respuesta. No obstante, sería de interés observar el impacto de la aplicación de estos micronutrientes en el rendimiento y el contenido de proteína en trigo en sitios con mayor probabilidad de respuesta.

