

RESPUESTA DEL TRIGO AL AGREGADO DE ZINC Y COBRE EN SUELOS DEL SUDESTE BONAERENSE

SAINZ ROZAS H¹, HE ECHEVERRÍA¹, PA CALVIÑO², PA BARBIER³ y M REDOLATT²

¹ Unidad Integrada EEA INTA Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias (UNMP). C.C. 276, (7620) Balcarce, Argentina. E-mail: hsainzrozas@hotmail.com. ² CREA Tandil 1. ³ CIC

Recibido 21 de marzo de 2003, aceptado 7 de octubre de 2003

WHEAT RESPONSE TO ZINC AND COPPER IN SOILS OF SOUTHEAST BUENOS AIRES

In the southeast of the Buenos Aires Province (Argentina) agricultural soils have been intensively used and wheat productivity increased in the last two decades. Therefore, nitrogen and phosphorus fertilization is an usual practice in wheat production. However, some micronutrients like zinc (Zn) or copper (Cu) considered not restrictive can be limiting for wheat under more intensive management practices. The objective of this work was to evaluate wheat yield response to Zn and Cu fertilization during two years (2000-2001) in 19 farmer fields. In each field a randomized completely block design with three replications was carried out. Experiments were conducted without deficiencies of nitrogen (N), phosphorus (P) and sulfur (S). In 2000, treatments were: NPS and NPS plus 7.2 kg ha⁻¹ of Zn and 7.0 kg ha⁻¹ of Cu (NPS+Zn+Cu). In 2001, treatments were: NPS, NPS plus 7.2 kg ha⁻¹ of Zn (NPS+Zn) and NPS plus 7.0 kg ha⁻¹ of Cu (NPS+Cu) and NPS plus 7.2 kg ha⁻¹ of Zn and 7.0 kg ha⁻¹ of Cu (NPS+Zn+Cu). Wheat grain yield responses to micronutrient addition were positive in only 4 sites (between 246 and 890 kg ha⁻¹), and negative in one site. In both years, a significant and linear relationship between yield response to micronutrient and soil Zn concentration (Melhich-3) determined at sowing (ZnMh-3) was observed ($y = 899.2 - 157.8 \times \text{ZnMh-3}$; $r^2 = 0.39$). No relationship was found between yield response and soil Cu content (Melhich-3) at sowing. Therefore, the Zn availability would have limited wheat grain yield. When soil pH was included as a variable to ZnMh-3, grain yield response was better explained ($y = -977.7 - 158.1 \times \text{ZnMh-3} + 313.9 \times \text{pH}$; $r^2 = 0.51$). The results indicate that Zn availability and soil pH must be used like diagnostics to estimate wheat Zn fertilization needs in soils of southeast Buenos Aires.

Key words: zinc, copper, fertilization, *Triticum aestivum*.

INTRODUCCION

En la República Argentina, la productividad del cultivo de trigo se ha incrementado sostenidamente durante el período 1991-2000, lo que se relaciona con el aumento del consumo de fertilizantes fosfatados y nitrogenados durante el mismo período (García 2002 comunicación personal). Para algunos suelos del norte y centro de la Región Pampeana, Ratto *et al.* (1997) han reportado que la disponibilidad de micronutrientes, como el Zinc (Zn) y el cobre (Cu) en suelos y plantas, podría ser limitante para algunos cultivos. En el Sudeste Bonaerense, en experimentos donde se evaluó la incidencia de la fertilización con N y P sobre la concentración de micronutrientes en planta, se determinó que el 20% de las muestras de plantas de trigo en estado vegetativo mostraron valores de concentración de Zn inferiores a los considerados como umbrales (Ratto *et al.*

2000). Sin embargo, en suelos del Sudeste Bonaerense no se determinaron incrementos del rendimiento del cultivo de maíz debido al agregado de micronutrientes (Goldman *et al.* 2002). No obstante, en dicha área existe poca información acerca del comportamiento del cultivo de trigo ante el agregado de Zn y Cu.

El Sudeste Bonaerense se caracteriza por presentar suelos con elevados contenidos de materia orgánica (MO), valores de pH moderadamente ácidos a sub-ácidos (5,5-6,4) y bajo contenido de P disponible (Echeverría, Ferrarí 1993). La intensificación del uso agrícola del suelo ha provocado una disminución del contenido de MO (Studdert *et al.* 1997), y por consiguiente, es frecuente determinar respuestas en rendimiento por el agregado de nitrógeno en el cultivo de trigo, particularmente bajo siembra directa (Falotico *et al.* 1999).

La disponibilidad de Zn y Cu puede ser elevada en suelos con altos contenidos de

MO y con valores de pH como los mencionados anteriormente (Moraghan, Mascagni 1991). De acuerdo con esto, Edwards *et al.* (1992) reportaron que la disponibilidad de Zn, y en menor medida la de Cu, se asoció positivamente con el contenido de MO, la cual a su vez fue mayor en rotaciones con elevada frecuencia de cultivos de maíz y bajo siembra directa. Por lo tanto, en lotes con una prolongada historia agrícola se podrían generar condiciones predisponentes a deficiencias de Cu o Zn. En estas situaciones, la disponibilidad de Zn para el cultivo de trigo podría ser más crítica que la de Cu, debido a que la absorción de Zn esta más afectada por la temperatura del suelo (Moraghan, Mascagni 1991).

Por otra parte, en los últimos años se ha incrementado la frecuencia del cultivo de soja en las rotaciones agrícolas del Sudeste Bonaerense, y este factor podría afectar negativamente el balance de Zn en el suelo, ya que dicho cultivo exporta mayores cantidades de Zn en grano, que trigo o maíz (Rashid, Fox

1992). Además, una elevada frecuencia de soja en la rotación produce un mayor decaimiento del contenido de MO de los suelos, respecto a rotaciones con mayor frecuencia de trigo o maíz (Studdert, Echeverría 2000).

Los objetivos del presente trabajo fueron evaluar la respuesta del cultivo de trigo al agregado de Cu y Zn y relacionar dicha respuesta con el pH y la concentración de dichos micronutrientes en suelos agrícolas del Sudeste Bonaerense.

MATERIALES Y METODOS

Durante los años 2000 y 2001 se condujeron 19 ensayos de fertilización en establecimientos agropecuarios pertenecientes al partido de Balcarce, Azul, Benito Juárez y Tandil. Los ensayos se realizaron sobre suelos clasificados como Argiudoles Típicos o sobre complejos de suelos, Argiudol Típico y Paleudol Petrocálcico. La mayoría de los suelos no presentaron horizonte petrocálcico en los primeros 70 cm, a excepción de los sitios 9 y 14.

Todos los ensayos fueron conducidos sin deficiencias de P y S, para lo cual se agregaron 20 kg

Tabla 1. Características de los suelos estudiados y algunas variables químicas de suelo determinadas al momento de la siembra del trigo.

Table 1. Characteristic of evaluated the studied soils and some soil chemical variables determined at wheat sowing moment.

Sitios	A A	C A	S L	M.O	pH	Zn	Cu	P	S-SO ₄ ⁻	CIC	N-NO ₃ ⁻
					%	-----mg kg ⁻¹ -----			cmol _c	kg ha ⁻¹	
1	3	Gir.	SD	6.5	5.9	5.0	1.3	26.9	18.0	27.5	149
2	10	Soja	SD	6.7	5.8	6.0	1.3	17.5	16.0	28.4	125
3	10	Gir.	SD	6.6	5.8	4.0	1.3	18.3	16.0	28.1	60
4	10	Maíz	LC	7.0	5.8	4.0	1.4	10.1	16.5	29.0	133
5	10	Soja	SD	7.4	6.2	9.0	1.1	25.2	17.0	29.8	60
6	10	Gir.	SD	5.8	5.8	6.0	1.2	6.2	17.0	25.3	73
7	5	Soja	SD	5.8	5.8	4.0	1.4	11.3	17.5	26.1	81
8	7	Trigo	SD	6.4	5.9	5.5	1.4	15.2	16.0	29.5	73
9	11	Soja	SD	6.7	7.7	5.0	0.9	5.3	17.0	26.7	111
10	5	Gir.	SD	5.9	5.6	4.0	1.2	6.9	17.0	26.2	110
11	2	Soja	SD	6.2	5.8	5.0	1.2	19.8	15.5	25.9	62
12	15	Gir.	SD	5.8	6.2	4.5	1.2	8.9	16.5	28.1	71
13	18	Soja	SD	6.9	5.9	8.0	1.2	25.3	16.0	27.4	75
14	5	Soja	SD	5.4	6.6	3.0	1.0	18.6	17.0	23.1	60
15	-	Maíz	LC	5.8	5.5	9.0	1.6	5.5	15.5	26.4	59
16	2	Soja	SD	5.7	5.9	7.0	1.3	7.8	18.5	25.9	76
17	2	Soja	SD	5.4	5.6	4.0	1.2	6.7	14.5	26.0	72
18	10	Maíz	LC	4.9	5.6	4.0	1.4	29.5	16.5	26.6	160
19	4	Soja	SD	5.3	6.0	7.0	1.3	39.6	15.8	28.5	75

A A= años de agricultura.

C A= cultivo antecesor.

Gir= girasol.

M.O= materia orgánica.

CIC= capacidad de intercambio catiónico.

S L= sistema de labranza. SD= siembra directa; LC= labranza convencional.

ha⁻¹ de P y S bajo la forma de fosfato diamónico (18-46-0) y sulfato de amonio (21-0-0-24.2), respectivamente. La historia agrícola y el manejo de los sitios experimentales, así como algunas características de los suelos empleados se presentan en la Tabla 1. En el primer año el diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con dos tratamientos y tres repeticiones: NPS y NPS más 7,2 kg ha⁻¹ de Zn y

7,0 kg ha⁻¹ de Cu (NPS+Cu+Zn). El N, Zn y Cu fueron agregados como urea, SO₄Zn y SO₄Cu, respectivamente. En el 2001 el diseño fue en bloques completos aleatorizados con cuatro tratamientos y tres repeticiones: NPS, NPS más 7,2 kg ha⁻¹ de Zn y 7,0 kg ha⁻¹ de Cu (NPS+Cu+Zn), NPS más Cu (NPS+Cu) y NPS más (NPS+Zn), usando las dosis de micronutrientes mencionadas. En ambos años se

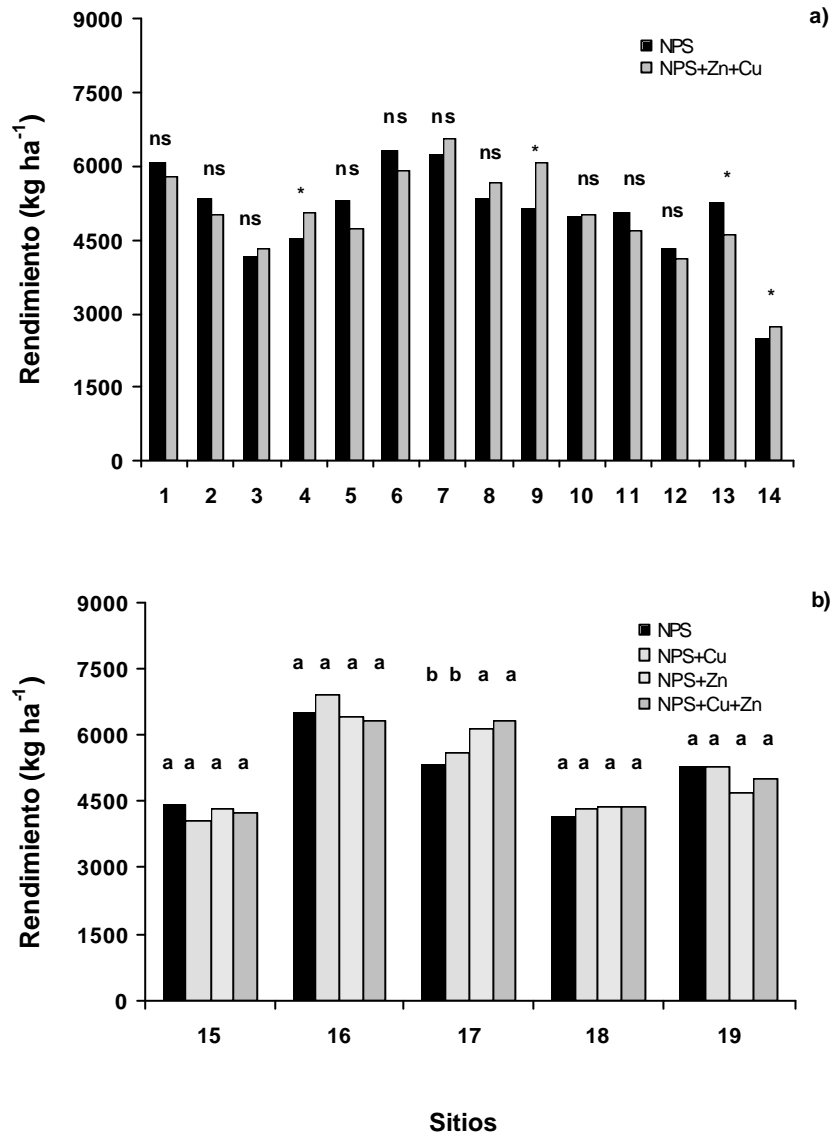


Figura 1. Rendimiento del cultivo de trigo en a) 2000 y b) 2001 en diferentes sitios del sudeste de Buenos Aires en función del agregado de NPS, NPS+Zn+Cu, NPS+Cu y NPS+Zn. Asteriscos indican diferencia significativa ($P<0,10$) según el análisis de la varianza. Columnas con letras diferentes indican diferencias significativas ($P<0,05$) según el test de la diferencia mínima significativa.

Figure 1. Wheat grain yield in 2000 a) and 2001 b) in different sites of southeast Buenos Aires as a function of NPS, NPS+Zn+Cu, NPS+Cu and NPS+Zn. Asterisk indicates significant differences ($P<0.10$) according to variance analysis. Columns with different letters indicates significant differences ($P<0.05$) according to least significant difference test.

agregó 77 kg N ha⁻¹ teniendo en cuenta el N proveniente del fosfato diamónico, urea y del sulfato de amonio. Las parcelas fueron de 10 m² (2 m de ancho por 5 m de largo).

Al momento de la siembra del trigo se tomaron, de cada bloque, nueve submuestras de los primeros 20 cm y seis de los 20-40 y 40-60 cm. En las muestras tomadas a 20 cm se realizaron las determinaciones de N-NO₃⁻ (Bremner, Keeney 1966), pH, P disponible (Bray, Kurtz 1945), capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Chapman 1965), MO (Walkley, Black 1934), Zn y Cu por el método Mehlich-3 (Mehlich 1984) y S-SO₄⁻ por el método turbidimétrico (Johnson 1987). En las muestras de profundidad solamente se determinó N-NO₃⁻.

En todos los sitios, la siembra del trigo fue realizada entre la segunda quincena de junio y durante el mes de julio. La densidad de siembra osciló entre 250 y 300 semillas m⁻². Las malezas fueron adecuadamente controladas con la aplicación de 6,6 g ha⁻¹ de Metsulfuron-metil más 0,1 lt ha⁻¹ de Dicamba (Misil I), utilizando un volumen de 120 lt ha⁻¹ de agua. Al estadio de 1-2 nudos y en antesis se aplicaron 9,37 g ha⁻¹ de Carbenadazin más 9,37 g ha⁻¹ de Epoxiconazole (Duett) con 225 lt ha⁻¹ de agua. Con este tratamiento se logró un muy buen control de enfermedades de hoja y de espiga.

El rendimiento en grano fue determinado mediante el corte de plantas existentes en un 0,7 m². Las espigas fueron desgranadas en una trilladora estacionaria y se determinó el contenido de humedad en grano. El rendimiento se expresó al 14% de humedad.

El análisis de la varianza y la relación entre la respuesta del cultivo y algunas de las variables edáficas determinadas fueron realizados usando el procedimiento GLM y el REG incluido en las rutinas del Statistical Analysis Systems (SAS) (SAS Institute Inc, 1985). Las medias de tratamientos fueron comparadas usando el test de la diferencia mínima significativa (DMS) cuando el análisis de la varianza indicó efecto significativo de los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el primer año, las precipitaciones fueron apropiadas hasta antesis y escasas (<35 mm) durante el llenado de granos, condición que habría limitado ligeramente el peso de los mismos. Las excesivas precipitaciones registradas durante el año 2001 en los meses de octubre y noviembre determinaron condiciones de saturación en el suelo durante largos períodos del ciclo del cultivo de trigo, una fuerte caída en la radiación incidente en

dichos meses y un aumento de la temperatura media del aire, respecto del promedio histórico. Estas condiciones habrían determinado caídas del rendimiento potencial del trigo, cuya intensidad varió con la fecha de siembra (Abbate *et al.* 2002). No obstante, en todos los sitios a excepción del 14, se determinaron rendimientos superiores a los 4000 kg ha⁻¹.

La disponibilidad de N no limitó el crecimiento del cultivo en ninguno de los sitios evaluados ya que la disponibilidad inicial del mismo [N-NO₃⁻] mas el N agregado fue cercana o superior a 150 kg ha⁻¹ (Tabla 1) (Calviño *et al.* 2002).

El tratamiento NPS+Cu+Zn incrementó significativamente (P<0,10) el rendimiento del cultivo respecto del tratamiento NPS en los sitios 4, 9, 14 en el 2000. En el 2001, dicho tratamiento incrementó significativamente (P<0,05) el rendimiento en el sitio 17 (Figura 1). Sin embargo, el tratamiento NPS+Cu no incrementó significativamente el rendimiento en ninguno de los sitios en el 2001, mientras que en dicho año el tratamiento NPS+Zn incrementó el rendimiento en el sitio 17, mostrando un comportamiento similar que el tratamiento NPS+Cu+Zn (Figura 1).

La respuesta del cultivo al agregado de Cu+Zn en ambos años se asoció negativamente (r²= 0,39) con la concentración de Zn en el suelo determinado con el método Mehlich-3 (ZnMh-3) (Figura 2a). Sin embargo, no se determinó una relación significativa entre la respuesta del cultivo al agregado de Cu+Zn y la concentración de Cu en el suelo determinada por el mismo método (Figura 2b). Estos resultados, junto con el comportamiento observado en el año 2001, indican que la disponibilidad de Zn limitó el crecimiento del cultivo y, en consecuencia, se concluye que la respuesta a la aplicación de micronutrientes observada en algunos sitios en el 2000 fue causada por la aplicación de Zn.

Por otra parte, cuando la respuesta a micronutrientes (RtM) se relacionó con la concentración de ZnMh-3, pH, CIC, P Bray y con el contenido de M.O, la selección stepwise incluyó como primera variable a ZnMh-3 y como segunda variable al pH del suelo (RtM= -977,7 - 158,1 x ZnMh-3 + 313,9 x pH; r²=0,51), mientras que las otras variables no fueron significativas como para ser incluidas en el

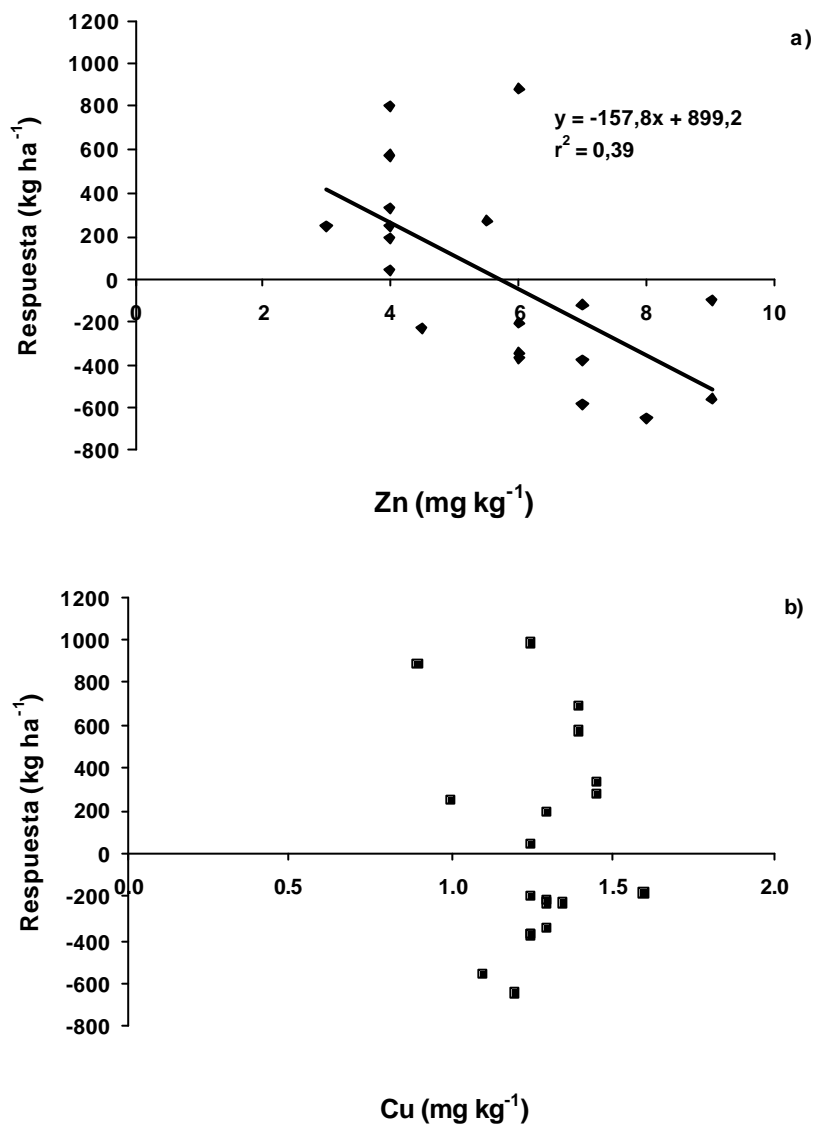


Figura 2. Relación entre la respuesta del trigo al agregado de Cu más Zn y a) la concentración de Zn (Mehlich-3) en el suelo (0-20 cm) al momento de la siembra y b) la concentración de Cu (Mehlich-3) en el suelo (0-20 cm) al momento de la siembra.

Figure 2. Relationship between wheat response to Cu plus Zn and a) soil Zn (Mehlich-3) concentration (0-20 cm) at sowing and b) soil Cu (Mehlich-3) concentration (0-20 cm) at sowing.

modelo. Esta ecuación indica que la respuesta decrece a medida que aumenta la concentración de ZnMh-3 y que la respuesta se incrementa a medida que aumenta el valor de pH del suelo, independientemente de la concentración de ZnMh-3 en el mismo (Figura 3). Estos resultados sugieren que el extractante del método de Mehlich-3, extrae cantidades de Zn más elevadas que las que realmente estarían disponibles para el cultivo cuando en el suelo

el pH es cercano a la neutralidad o ligeramente alcalino (6,2 a 7,7) y, por lo tanto, para lograr una mejor predicción de la respuesta al agregado de Zn ambas variables deben ser incluidas en el modelo. Estos resultados coinciden con aquellos reportados por Junus y Cox (1987), quienes trabajando en condiciones controladas, reportaron que la inclusión del pH del suelo, además de la concentración de ZnMh-3 extractable, permitió

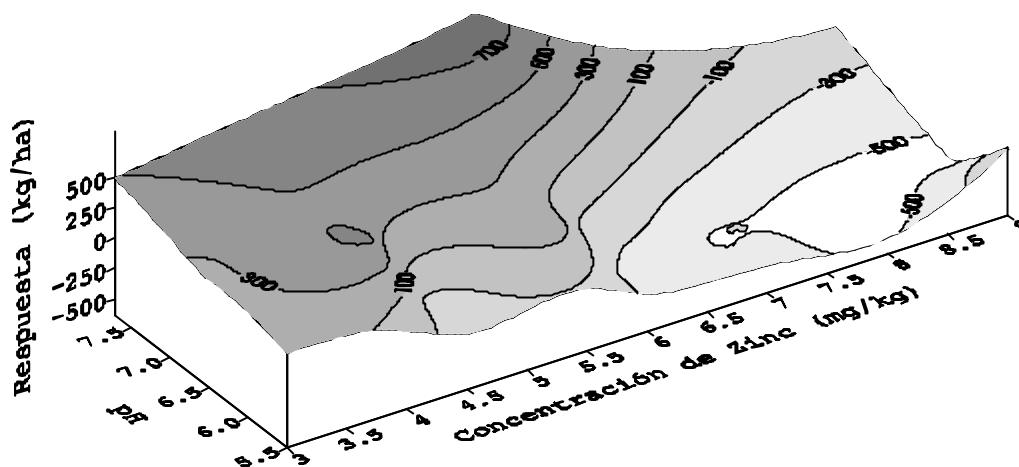


Figura 3. Relación entre la respuesta del trigo al agregado de Cu mas Zn y la concentración en el suelo (0-20 cm) de Zn determinada por la metodología de Mehlich-3 (ZnMh-3) y el pH del suelo ($RtM = -977,7 - 158,1 \times ZnMh-3 + 313,9 \times pH$; $r^2 = 0,51$).

Figure 3. Relationship between wheat response to Cu plus Zn and soil Zn concentration (0-20 cm) as determined by Mehlich-3 method (ZnMh-3) and soil pH ($RtM = -977.7 - 158.1 \times ZnMh-3 + 313.9 \times pH$; $r^2 = 0.51$).

explicar una mayor parte de la variabilidad en la concentración de Zn en plantas de soja y maíz. Coincidiendo con lo determinado en este experimento, la variabilidad de los rendimientos y la concentración de Zn en plantas de maíz y soja fue explicada en un 70 al 95% por la concentración de ZnMh-3 y por el pH del suelo en condiciones de campo (Lins, Cox 1988, Payne *et al.* 1986).

Los valores de ZnMh-3 asociados a respuestas positivas en el rendimiento (menores a 4 mg kg^{-1}) son superiores a los citados por Sims y Johnson (1991) de 1 a 2 mg kg^{-1} de Zn. Las respuestas negativas al agregado de Zn se determinaron generalmente en sitios con concentraciones de ZnMh-3 superiores a $5,7 \text{ mg kg}^{-1}$ (Figura 2a). En un estudio realizado en hidroponía, Wheeler y Power (1995) reportaron que el agregado de cantidades excesivas de Zn provocó fitotoxicidad en el cultivo de trigo. Por lo tanto, el menor rendimiento del trigo ante el agregado de Zn podría ser atribuido al efecto fitotóxico de dicho micronutriente provocado por el agregado del mismo en sitios con concentraciones medias a elevadas de ZnMh-3 en suelo.

Hamilton *et al.* (1993), determinaron una mayor absorción de Zn por el cultivo de poroto luego de antecesor maíz. Sin embargo, en este trabajo uno de los sitios que mostró

respuesta significativa al agregado de Zn (sitio 17) tuvo como antecesor al maíz, mientras que los demás sitios con respuesta (4, 9 y 14) tuvieron con antecesor soja (Tabla 1). Por lo tanto, la respuesta a Zn no estaría relacionada con la historia agrícola previa ni con el cultivo antecesor (Tabla 1).

En síntesis, para las condiciones del Sudeste Bonaerense, los resultados de este estudio permiten concluir que la disponibilidad de Cu no limitó el crecimiento del cultivo de trigo, mientras que en solo cuatro de los diecinueve sitios se determinó respuesta al agregado de Zn. La misma estuvo asociada a sitios con baja disponibilidad de Zn y de pH subácido, o en suelos con disponibilidad media de Zn con pH superior a 6. Esta última condición, es poco frecuente para los suelos agrícolas del Sudeste Bonaerense destinados al cultivo de trigo. Por lo tanto, estos resultados enfatizan la importancia de la evaluación conjunta de la disponibilidad de Zn y del pH del suelo para un mejor diagnóstico de la necesidad de fertilización con Zn en suelos del Sudeste Bonaerense.

REFERENCIAS

- Abbate PE, Gutheim F, Lázaro I, de Pablo MC, Bariffi JH, Bustamante P, Voonstra V. 2002. Análisis ambiental de la campaña triguera 2001/

2002. 19° Jornada de actualización profesional. UI INTA Balcarce-CIAMP. Mar del Plata. 58-68.
- Bray RH, Kurtz LT. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphate in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Bremner J, Keeney D. 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 3 exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction-distillation methods. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:577-582.
- Calviño P, Echeverría HE, Redolatti M. 2002. Diagnóstico de nitrógeno en trigo con antecesor soja bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 20: 36-42.
- Chapman HD. 1965. Cation-exchange capacity. p. 891-901. En: C.A. Black et al. (eds.) *Methods of soil analysis. Part 2.* Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA. Madison, WI.
- Echeverría HE, Ferrari J. 1993. Relevamiento de algunas características de los suelos agrícolas del sudeste bonaerense. INTA, Ce.R.B.A.S., E.E.A. Balcarce, Boletín Técnico no. 112.
- Edwards JH, Wood CW, Thurlow DL, Ruf ME. 1992. Tillage and crop rotation effects on fertility status of a Hapludult soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1577-1582.
- Falotico JL, Studdert GA, Echeverría HE. 1999. Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo* 17: 9-20.
- Goldman V, Echeverría HE, Andrade FH, Uhart S. 2002. Incidencia de la fertilización nitrogenada sobre la concentración de nutrientes en maíz. *Ciencia del Suelo* 20: 27-35.
- Hamilton MA, Westermann DT, James DW. 1993. Factors affecting zinc uptake in cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 1310-1315.
- Johnson GV. 1987. Sulfate: Sampling, testing, and calibration. p. 89-96. En J. R. Brown (ed). *Soil testing: Sampling, correlation, calibration, and interpretation.* SSSA Spec. Publ. 21. SSSA, Madison, WI.
- Junus MA, Cox FR. 1987. A zinc soil test calibration based upon Mehlich 3 extractable zinc, pH, and cation exchange capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 678-683.
- Lins IDG, Cox FR. 1988. Effect of soil pH and clay content on the zinc soil test interpretation for corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 1681-1685.
- Mehlich A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant. A modification of the Mehlich-2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 15: 1409-1416.
- Moraghan JT, Mascagni HJ. 1991. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. En *Micronutrients in Agriculture.* S.H. Mickelson, R.J. Luxmoore, ED. Pp. 371. 2nd ed.-SSA Book Series, no. 4.
- Payne GG, Sumner ME, Plank CO. 1986. Yield and composition of soybean as influenced by soil pH, phosphorus, zinc and copper. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 17: 257-273.
- Rashid A, Fox L. 1992. Evaluating internal requirements of grain crops by seed analysis. *Agron. J.* 84: 469-474.
- Ratto SL, Giuffrè L, Sainato C. 1997. Variación espacial de micronutrientes en suelo y planta en un Molisol. *Ciencia del Suelo* 15:39-41.
- Ratto SL, Miguez F, Barbich E. 2000. Incidencia de la fertilización nitrogenada y fosfatada sobre el nivel de microelementos en plantas de trigo del sudeste bonaerense. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata. Actas en CD.
- Sas. Institute Inc. 1985. User's guide. Statistics. Version 5. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Sims JT, Johnson 1991. Micronutrient soil tests. En *Micronutrients in Agriculture.* S.H. Mickelson, R.J. Luxmoore, ed. pp. 427. 2nd ed.-SSA Book Series, no. 4.
- Studdert GA, Echeverría HE, Casanovas EM. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1466-1472.
- Studdert GA, Echeverría HE. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1496-1503.
- Walkley A, Black IA. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-37.
- Wheeler DM, Power IL. 1995. Comparison of plant uptake and plant toxicity of various ions in wheat. *Plant and Soil.* 172: 167-173.