

RESPUESTA A LA FERTILIZACION CON BORO Y ZINC EN SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUCCION DE MAIZ

RJ MELGAR¹, J LAVANDERA², M TORRES DUGGAN³, L VENTIMIGLIA⁴

¹EAA INTA Pergamino, CC 31, 2700 Pergamino, Argentina, ²EAA INTA Pergamino, ³EAA INTA Pergamino, ⁴UEEA 9 de Julio INTA.

Recibido 13 de junio de 2001, aceptado 7 de septiembre de 2001

RESPONSE TO BORON AND ZINC FERTILIZATION IN INTENSIVE CORN PRODUCTION SYSTEMS

Micronutrient fertilization of corn is not a common practice in cropping systems of Argentina. However, different soil test surveys indicate that boron (B) and zinc (Zn) would be the most frequently deficient micronutrients with probabilities of economic responses as result of applications. This work was conducted to evaluate the response of corn to B and Zn applications, relating these responses to its leaf concentration and soil availability. During 1996-2000 fertilization trials were carried out with B in ten locations and with Zn in fourteen locations of the northern pampean region. Increasing rates of B (0 to 1.5 kg ha⁻¹ as sodium borate foliar spray at V4-5 stage) and of Zn (0 to 6 kg ha⁻¹ as oxisulfate in the sowing line) were applied separately, on high potential yielding corn crops. Results differed among trials since only three of the ten, and five of the fourteen sites where either B or Zn were applied respectively, showed significant differences among the check and treated plots; a site proportion that was not related to soil nutrient availability. For the sites with significant responses, the grain increase was 0,78 and 0,74 Mg ha⁻¹ obtained with 0,5 and 4 kg of B and Zn ha⁻¹ respectively.

Key words: Optimum rates, B and Zn soil availability, Mehlich 3, Pampean Region of Argentina

INTRODUCCION

La fertilización con micronutrientes no es una práctica muy difundida en la Argentina a diferencia de otros países de alta producción agrícola unitaria. Esto último se explicaría en parte por la buena oferta de micronutrientes del suelo, que generalmente excede los umbrales de suficiencia. (Sillanpaa 1982). No obstante, el aumento de los rendimientos como resultado del mayor uso de fertilizantes e híbridos o variedades de mayor potencial de rendimiento en la última década hacen que cada vez sea más frecuente encontrar respuesta al agregado de estos elementos menores (Andrade *et al.* 2000).

El boro (B) y el zinc (Zn) se mencionan entre los micronutrientes mas a menudo citados como factibles de producir disminuciones de rendimientos en situaciones de deficiencias y, a su vez, relativamente fáciles de corregir por medio de fertilizaciones logrando aumentos económicos de rendimientos. En un relevamiento realizado por Ratto de Míguez y Fatta (1990) en la zona norte de la Región Pampeana se determinó que el 30

% y 20 % de las muestras analizadas estuvieron por debajo del rango de suficiencia para B y Zn respectivamente., confirmaron que el B y el Zn se encuentran entre aquellos mas frecuentemente limitantes. En el área agrícola de Entre Ríos, otro relevamiento reciente realizados sobre muestras de suelos de lotes de productores indicó que cerca del 70 % y 30% de muestras presentaron valores deficientes a muy deficientes de B y Zn respectivamente (Quintero *et al.* 2000).

El B es uno de los micronutrientes que provoca deficiencias mas frecuentes en cultivos como el maíz (Gupta 1979). Asimismo, el Zn es uno de los mas asociados a la producción de maíz (Maddoni *et al.* 1999). Además de la disponibilidad en el suelo, la fertilización con dosis altas de fósforo, en especial en bandas, puede inducir una deficiencia de Zn al cultivo (Gregory, Frink 1995).

En planteos intensivos de producción de maíz con altos niveles de fertilización con nitrógeno, fósforo y azufre, y a veces con riego complementario, los niveles frecuentemente subóptimos de B y Zn en el suelo, podrían

limitar la expresión del rendimiento de los híbridos de maíz de alto potencial, y determinar aumentos de la producción, por el agregado de esos micronutrientes. El objetivo del presente trabajo fue determinar la respuesta del cultivo de maíz al agregado de B y Zn, en ambientes de alto potencial de rendimiento de la región maicera núcleo y relacionar dicha respuesta con el contenido de nutrientes en la hoja de la espiga con los niveles de disponibilidad de B y Zn en el suelo a la siembra.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo fue llevado a cabo en catorce localidades, en campos de productores de la zona maicera núcleo (noreste la provincia de Buenos Aires y sur de Santa Fe) durante las campañas 1996-97 y 2000-2001. La respuesta a B se evaluó en diez ensayos y la de Zn en catorce ensayos. En todos los lotes y tratamientos se aplicó fósforo a la siembra y nitrógeno cuando el cultivo de maíz presentaba entre 4 y 6 hojas desarrolladas. El nitrógeno se incorporó con escardillo.

Los ensayos se instalaron en aquellos lotes que recibieron un manejo y aplicación de tecnologías capaces de generar maíces de alto rendimiento. La siembra se realizó durante el mes de septiembre u octubre, dependiendo de la localidad, con densidades de plantación acordes a planteos de alto nivel de producción, entre 5,5 y 6,5 semillas por metro lin-

éal que resulta entre 77 y 91 mil plantas por hectárea. La localización del sitio, y algunas características agronómicas de los cultivos de maíz se presentan en la Tabla 1.

Los suelos donde se desarrollaron los ensayos corresponden al Gran Grupo de los Argiudoles Típicos (SAGyP, INTA 1989). En la Tabla 1 se muestran los principales parámetros edáficos de los lotes de producción donde se instalaron ensayos. Los suelos de cada ensayo fueron caracterizados por muestras compuestas de la capa superficial (0-20 cm), en 20 puntos de muestreo elegidos al azar, tomadas antes de la siembra. El análisis de laboratorio fue realizado sobre muestras secas al aire y tamizadas por 2 mm. El Carbono del suelo fue evaluado por el método de combustión húmeda (Nelson, Sommers 1982) y el pH por potenciometría en una suspensión acuosa 1:1. La determinación de la capacidad de intercambio catiónico y de B, Zn y P disponibles se efectuó con el extractante Mehlich 3, en relación 1:20, determinándose los elementos por espectrometría de inducción de plasma (ICP), (Jones, Case 1990). En la tabla 1 se muestran los principales parámetros edáficos de los lotes de producción donde se instalaron los ensayos.

Diseño experimental y descripción de los tratamientos

En todos los ensayos se establecieron tratamientos de dosis crecientes de B y de Zn o solo

Tabla 1. Principales características agronómicas y manejo de los ensayos y de los suelos (0-20cm).
Table 1. Main agronomic and crop management characteristics of the trials and soil properties.

Sitio	Condiciones de manejo			Fertilización				Características del suelo				
	Siembra Fecha	Híbrido	Antecesor	N	P	B aplicado	CIC	pH	MO	P	B	Zn
				kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	cmol kg ⁻¹		%	mg kg ⁻¹		
Campaña 1996/97												
Junín	18-Oct	Nidera 950	Maíz	160	15	20-Nov	14.0	6.3	2.5	65.0	0.8	2.1
Gral. Rojo	30-Oct	Dekalb 752	Soja	160	15	10-Dic	20.1	6.2	3.0	19.0	0.8	0.7
9 de Julio	16-Sep	Pioneer 3162	Girasol	160	15	14-Nov	14.7	6.3	2.7	20.0	0.8	1.4
Teodelina	03-Oct	TX 3162	Soja	160	15	21-Nov	16.9	6.1	2.8	31.0	0.5	1.4
Pergamino	03-Oct	Morgan M-4	Maíz	160	15	11-Nov	15.9	6.3	2.9	26.0	0.2	1.4
Campaña 1997/98												
Arequito	09-Oct	Dekalb 4F37	Soja	60	10	14-Nov	15.0	5.8	2.1	15.0	0.1	0.7
Santa Teresa	13-Sep	Dekalb 752	Soja	60	5	18-Nov	12.8	5.4	3.0	7.0	0.1	0.8
Pergamino	02-Oct	Nidera 924	Girasol	75	6	21-Nov	14.5	6.3	2.1	32.0	0.3	2.1
Campaña 1998/99												
Santa Teresa	11-Sep	Cargill TRI 92	Soja	100	26	9-Nov	13.1	5.9	3.1	5.2	0.1	1.3
Firmat	15-Oct	Cargill TRI 92	Soja	100	26	22-Nov	12.7	6.2	2.5	9.8	0.1	2.1
Campaña 1999/00												
25 de Mayo	30-Sep	Dekalb 757	Soja	46	6	--	12.0	5.8	2.2	4.0	0.1	2.1
Campaña 2000/01												
Bragado	18-Sep	Dekalb 752	Soja	150	35	--	13.7	5.6	3.0	10.0	0.1	2.1
Arequito	23-Sep	Nidera 924	Soja	150	35	--	15.8	5.8	2.5	22.0	0.3	1.3
Pergamino	25-Sep	ACA 929	Soja	150	35	--	14.1	6.2	3.6	21.0	0.2	1.7

Tabla 2. Rendimientos promedio de los tratamientos y resumen del análisis estadístico de cada ensayo.
Table 2. Average treatment yield and statistics summary of each trial.

Tratamiento	Cosecha (t/ha)														
	1998/99			1999/00			2000/01			2001/02					
	Media	Desv. Est.	Coef. Var.	Media	Desv. Est.	Coef. Var.	Media	Desv. Est.	Coef. Var.	Media	Desv. Est.	Coef. Var.			
15 kg N/ha	9.28	0.189	0.021	9.40	0.201	0.021	9.71	0.178	0.018	10.00	0.192	0.019	11.62	0.162	0.014
30 kg N/ha	9.45	0.206	0.022	9.25	0.185	0.020	9.66	0.248	0.026	10.00	0.200	0.020	10.22	0.194	0.019
45 kg N/ha	9.48	0.185	0.019	10.11	0.171	0.017	10.17	0.154	0.015	9.90	0.146	0.015	10.38	0.138	0.013
60 kg N/ha	10.00	0.16	0.016	9.99	0.159	0.016	9.07	0.167	0.018	9.25	0.159	0.017	10.46	0.150	0.014
1.5 kg N/ha + B	9.69	0.176	0.018	10.16	0.178	0.018	11.28	0.198	0.019	10.05	0.180	0.018	..	..	..
1.0 kg N/ha + B	10.13	0.154	0.015	10.10	0.157	0.016	9.21	0.177	0.019	9.69	0.169	0.018	..	..	..
1.5 kg N/ha + B	10.24	0.156	0.016	9.86	0.164	0.017	9.64	0.172	0.018	10.28	0.158	0.016	..	..	..
15 kg N/ha	0.57	0.02	0.003	1.00	0.03	0.003	4.49	0.08	0.002	1.00	0.03	0.003	1.91	0.04	0.002
30 kg N/ha	1.25	0.17	0.014	1.66	0.21	0.013	1.71	0.24	0.014	2.0	0.20	0.010	4.0	0.19	0.015
45 kg N/ha	1.22	0.155	0.013	0.25	0.02	0.008	0.10	0.03	0.001	0.30	0.03	0.003	1.17	0.01	0.001
60 kg N/ha	0.01	0.01	0.001	0.01	0.01	0.001	0.01	0.01	0.001	0.01	0.01	0.001	0.01	0.01	0.001
1.5 kg N/ha + B	0.01	0.01	0.001	0.01	0.01	0.001	0.01	0.01	0.001	0.01	0.01	0.001	0.01	0.01	0.001

Desv. Est. = standard deviation; Coef. Var. = coefficient of variation; Media = mean; B = biofertilizante; N = nitrógeno; t/ha = toneladas por hectárea.

de Zn, en un diseño de bloques completos al azar. Excepto en el ensayo del sitio 1, que tuvo tres, todos los demás tuvieron cuatro repeticiones. Se incluyó, además, un testigo sin aplicación de micronutrientes. Estos tratamientos fueron aplicados en parcelas que tenían 7 surcos (4,9 m) de 10 m de largo (49 m²). Excepto en los sitios 9 y 10 donde se aplicaron solo dos dosis de cada micronutriente (1.0 y 1.5 kg de B ha⁻¹ y 2 y 4 kg de Zn ha⁻¹), en el resto de las localidades comprendieron tres dosis de B (0.5, 1.0 y 1.5 kg ha⁻¹) y tres de Zn (2, 4 y 6 kg ha⁻¹). La fertilización con B se realizó por vía foliar, como borato sódico pentahidratado (17.4 % de B Na₂B₈O₁₃·4H₂O), al comienzo del desarrollo vegetativo, cuando los cultivos tenían entre 4 y 5 hojas desarrolladas (V-4/5). La aplicación se realizó con un pulverizador manual con un caudal de 200 l ha⁻¹. Las dosis de Zn fueron aplicadas a la siembra junto a la línea de siembra, como una mezcla física de fosfato diamónico y oxisulfato de Zn (30 %). En 25 de Mayo (1999-00), el oxisulfato de Zn (40 %) fue aplicado al voleo e incorporado con el último disco. En los ensayos 11 a 14 no se incluyeron los tratamientos de B, pero los tratamientos de Zn fueron idénticos a los de los ensayos 1 al 8. El contenido de B y Zn en los tejidos se determinó en muestras compuestas por tratamiento, de los sitios 1 al 8, al principio de la floración (R-1, emisión de barbas). Se realizó un muestreo de la hoja opuesta a la espiga del tratamiento testigo y del nivel medio de aplicación de B (1 kg ha⁻¹) y de Zn (4 kg ha⁻¹), recolectándose 20 hojas de cada repetición. Los análisis se realizaron por digestión de las muestras con una mezcla de H₂SO₄ concentrado y H₂O₂, determinando los elementos por espectrometría de inducción de plasma (Jones, Case 1990). Las determinaciones analíticas de suelos y plantas se realizaron en Spectrum Analytic Inc. (Ohio, EE.UU.)

A la madurez fisiológica, se realizó la cosecha manual del cultivo contando y recolectando las espigas de un área de 10 m² de dos surcos centrales de cada parcela. Los rendimientos se refirieron en Mg de grano ha⁻¹ a la humedad comercial (140 g kg⁻¹ de agua).

Análisis estadístico

Los datos de rendimiento fueron analizados combinando los sitios experimentales para cada nutriente y luego individualmente para cada ensayo. Los resultados fueron analizados mediante el procedimiento de modelos lineales generales (SAS Institute, 1999). Las respuestas a B y Zn se ajustaron al modelo lineal y meseta descrito por Anderson y Nelson (1987), y las ecuaciones que describen la respuesta del cultivo fueron desarrolladas por procedimientos comunes de regresión.

RESULTADOS Y DISCUSION

Ninguno de los catorce ensayos presentados en la Tabla 2, sufrió condiciones climáticas adversas que hubieran afectado severamente sus rendimientos. En tres de los diez ensayos se verificaron incrementos de rendimientos significativos por la aplicación de B, así como en cinco de los catorce ensayos en donde se evaluó el agregado de Zn (Tabla 2). El análisis conjunto realizado solo con los tratamientos donde se aplicó B ($F_{\text{Boro}} = 4,62$; $Pr > F: 0,0047$) ó Zn ($F_{\text{Zinc}} = 6,22$; $Pr > F: 0,0006$), muestra que en general, los tratamientos con micronutrientes aumentaron los rendimientos respecto a los testigos.

Los incrementos fueron de carácter lineal hasta el primer nivel de B aplicado, sin aumentos mas allá de la dosis de 0,5 kg de B ha⁻¹. Con este nivel de aplicación, los rendimientos promedio de maíz aumentaron 0,58 Mg ha⁻¹. En cambio, la respuesta a la aplicación de Zn fue lineal en todo el rango de las dosis evaluadas a razón de 0,109 Mg de maíz por kg de Zn aplicado.

La relativamente baja proporción de sitios con respuesta, alrededor de uno cada tres casos, se refleja en la interacción significativa entre sitios y tratamientos, que indica que los micronutrientes no produjeron el mismo efecto en todos los sitios; ($F_{\text{Sitio} \times \text{B}} = 1,97$; $Pr > F: 0,0094$), ($F_{\text{Sitio} \times \text{Zn}} = 2,21$; $Pr > F: 0,0005$).

En los sitios con respuestas significativas a B, el incremento máximo fue de 0,78 Mg ha⁻¹ para la dosis 0,5 kg de B ha⁻¹. Para el caso de Zn, la respuesta fue de 1,05 Mg ha⁻¹ para la dosis de dosis de 4 kg de Zn ha⁻¹. Si bien se ha publicado que la extracción de B asimilable con Mehlich 3 es indicadora de la disponibilidad de este nutriente para los cultivos y similar a la obtenida con la extracción con agua caliente (Shuman *et al.* 1992), la relación encontrada fue no significativa ($r = -0,25$). No obstante, los aumentos de rendimiento tienden a disminuir al aumentar los niveles de B en el suelo.

En cuanto al contenido de Zn en el suelo, se verifica que, salvo tres sitios, todos poseen niveles de disponibilidad dentro del rango considerado como suficiente ($> 1 \text{ mg kg}^{-1}$) para el extractante Mehlich 3 (Soil and Plant Council 1992). La relación entre los

Tabla 3. Concentración de B y Zn en la hoja de la espiga de los tratamientos testigo y con 4 y 1 kg ha⁻¹ de Zn y B respectivamente. Muestra compuesta de cuatro repeticiones.

Table 3. Ear leaf concentration levels of B and Zn of treatments check and with 4 and 1 kg ha⁻¹ respectively. Each composite sample is the average of four replications.

	SITIO								Media	(Desv.Est)
	Junín	G. Rojo	9 de Julio	Teodelina	Pergamino	Arequito	S.Teresa	Pergamino		
	..... mg kg ⁻¹ Zn									
Testigo	24	28	29	40	26	30	16	21	26.8	(7.1)
Zinc (4 kg ha ⁻¹)	30	33	28	40	25	27	21	22	28.3	(6.2)
	..... mg kg ⁻¹ B									
Testigo	7,5	11	13	11	12	8,3	11	15	11.1	(2.4)
Boro (1 kg ha ⁻¹)	7,4	14	15	13	15	7,7	12	14	12.2	(3.1)

aumentos de rendimientos logrados por el agregado de Zn y los niveles de disponibilidad de Zn en el suelo fue no significativa ($r=-0.01$). Sin embargo, el escaso número de ensayos impide realizar conclusiones y sugerir niveles críticos con valor diagnóstico para realizar recomendaciones de aplicación tanto de Zn como de B.

En la Tabla 3 se muestran las concentraciones foliares de B y Zn en la hoja espiga. La mayoría de los valores estuvieron dentro del rango de suficiencia para Zn (25-100 mg kg⁻¹) y B (5-25 mg kg⁻¹), según los valores publicados por Jones *et al.* (1991). En promedio, los valores aumentaron muy levemente, cerca de un mg kg⁻¹ en aproximadamente la mitad de los sitios ensayados para cualquiera de los dos nutrientes considerados.

Las respuestas medias obtenidas con las mejores dosis de cada nutriente, 0,5 y 4 kg ha⁻¹ de B y Zn, respectivamente, fueron de 0,58 y 0,66 Mg ha⁻¹ considerando todos las localidades y de 0,78 y 0,74 Mg ha⁻¹ considerando solo aquellos sitios con respuesta estadísticamente significativa.

AGRADECIMIENTOS

Adolfo Caamaño, Roberto Rotondaro, Walter Berdini, Eduardo Lemos, Héctor Carta y Luis Lavandera, condujeron los ensayos de campo. La Est. Edith Frutos y Catalina Améndola asesoraron en los análisis estadísticos. Productores agropecuarios y personal de la EEA Pergamino facilitaron este trabajo. Las empresas Bórax Argentina S.A., Nutriplant S.A. (Brasil), Agroservicios Pampeanos S.A., PASA S.A. y Agrosoma S.R.L. colaboraron con la financiación de este estudio.

REFERENCIAS

- Anderson RL y Nelson L. 1987. Linear-plateau and plateau-linear-plateau models: Useful in evaluating nutrient responses. Technical Bulletin. North Carolina Research Service, Raleigh, NC, EE.UU. N° 283.
- Andrade FH, Sadras VO. 2000. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Ed. Médica Panamericana. pp. 207-232
- Gupta VC. 1979. Boron nutrition of crops. Adv. Agron. 31:273-307.
- Gregory J, Frink CH. 1995. Phosphorus and zinc fertilization of corn grown in a Connecticut soil. Commun. Soil. Sci. Plant Anal.26: 269-276.
- Jones B Jr, Case VW. 1990. Sampling, Handling and Analyzing Plant Tissue Samples. Chap 15. Pag. 389 En R.L. Westerman (Ed) Soil testing and plant analysis. 3rd Edition. Soil Sci. Soc. Of Am. Book Series N° 3. Madison, Wisconsin, USA.
- Jones JB, Wolf B, Mills HA. 1991. Plant Analysis Handbook. Micro-Macro Publishing inc. Athens, Georgia.
- Maddoni GA, Urricarriet AS, Ghera CM, Lavado RS. 1999. Assessing soil quality in the Rolling Pampas using soil properties and maize characteristics. Agron. J. 91: 280-287.
- Nelson DW, Sommers LE. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. En Page, A.L. (Ed.) Methods of Soil Analysis, Part 2. 2nd Ed. Agronomy 9:539-579.
- Quintero CE, Riso L, Gonzalez A, Izaguirre M. 2000. Estado de fertilidad de los suelos de Entre Ríos. Principales limitaciones. Revista Facultad de Agronomía. UBA. 20:15-19.
- Ratto de Míguez S, Fatta N. 1990. Disponibilidad de micronutrientes en suelos del área maicera núcleo. Ciencia del Suelo 8: 9-15.
- Shuman LM, Bandel VA, Donohue SJ, Isaac RA, Lippert RM, Sims JT, Tucker MR. 1992. Comparison of Mehlich-1 and Mehlich-3 extractable soil boron with hot water extractable boron. Commun. Soil Sc. Plant Anal. 23: 1-4.
- Sillanpaa M. 1982. Micronutrient and nutrient sta-

- tus of soils. FAO Soils Bull. 48. ONU, Roma, Italia.
- SAGyP - INTA. 1989 Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires. Escala 1:500.000. Buenos Aires SAG y P - INTA Proyecto PNUD ARG/85/019. 527 Pag.
- SAS Institute. 1999. SAS User's guide: Statistics. SAS Inst., Cary, NC.
- Soil and Plant Analysis Council Inc. 1992. Handbook on Reference Methods for Soil Analysis. Georgia. University Station Athens, Georgia. 202 pag.