



XXIX CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

C A T A M A R C A 2 0 2 4

SUELOS... HUELLAS DEL PASADO, DESAFÍOS DEL FUTURO

LIBRO DE ACTAS



ISBN 978-631-90070-3-9





XXIX CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Suelos... Huellas del pasado, desafíos del futuro”

RESÚMENES Y TRABAJOS EXPANDIDOS

Coordinador

Sixto Viale (FCA - UNCA)

21 al 24 de mayo de 2024
Catamarca – Argentina

ORGANIZADO POR



Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo

Libro de Actas del XXIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: resúmenes y trabajos expandidos / 1a ed ilustrada. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo - AACS, 2024.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: online

ISBN 978-631-90070-3-9

1. Actas de Congresos. I, Título.

CDD 631.4071

ISBN 978-631-90070-3-9



9 786319 007039



XXIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Suelos... Huellas del pasado, desafíos del futuro

San Fernando del Valle de Catamarca,
Prov. de Catamarca, Argentina
21 al 24 de mayo de 2024



RESPUESTA EN RENDIMIENTO DE MAÍZ A LA FERTILIZACIÓN CON BORO EN MOLISOLES: UMBRALES CRÍTICOS Y MODELOS PREDICTIVOS

Barbieri, P.A.^{1,2*}; Crespo, C.^{1,2}; Wyngaard, N.^{1,2*}; Eyherabide, M.¹; Martínez Cuesta, N.³;
Reussi Calvo, N.I.^{1,2}; Sainz Rozas, H.R.^{1,2}; Angelini, H.P.¹; Carciochi, W.^{1,2}; Gudelj, V.⁴;
Espósito Goya, G.P.⁵; Salvagiotti, F.^{2,6}; Ferraris, N.G.⁷; Sánchez, H.⁸; Ventimiglia, L.⁹;
Torrens Baudrix, L.⁹

¹Unidad Integrada Balcarce (FCA (UNMdP) – INTA Balcarce); ²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas; ³BASF, R&D Crop Protection, Argentina; ⁴INTA Marcos Juárez; ⁵UNRC; ^{6,2}INTA Oliveros; ⁷INTA Pergamino; ⁸INTA Famaillá; ⁹Agencia De Extensión Rural 9 de Julio. mail: barbieri.pablo@inta.gob.ar; nwyngaard@unmdp.edu.ar

RESUMEN: En la actualidad, no existen umbrales de boro (B) en suelo para maíz (*Zea mays* L.) determinados mediante calibraciones a campo en Molisoles de la Región Pampeana (RP). Nuestros objetivos fueron: i) explorar la respuesta en rendimiento de maíz a la fertilización con B, ii) calibrar el B extraíble en agua caliente (BAC) como predictor de la respuesta de maíz a la fertilización con B en condiciones de campo, y iii) evaluar la contribución de arcilla, pH y materia orgánica del suelo (MO) como variables predictivas de la respuesta a la fertilización con B. Para ello se realizaron 53 ensayos en la RP con dos tratamientos: con y sin fertilización con B. En todos los sitios, se determinó el contenido de arcilla, la MO, el pH y el BAC a una profundidad de 0 a 20 cm. El rendimiento de grano de maíz osciló entre 5,34 y 17,35 Mg ha⁻¹. Se determinó respuesta del rendimiento a la fertilización con B en 6 de 53 sitios (11,3 %), la respuesta promedio en rendimiento de los sitios con respuesta fue de 1,0 Mg ha⁻¹. Los modelos de regresión múltiple para predecir la respuesta del rendimiento a la aplicación de B que incluían el pH del suelo y la MO solo explicaron el 19% de la variabilidad. El umbral crítico de BAC determinado en el suelo fue de 0,78 mg kg⁻¹, dicho umbral permitió diagnosticar correctamente el 79% de los sitios/años. El umbral crítico de B para maíz encontrado en este estudio es el primero determinado para Molisoles de la RP. Este umbral permitirá mejorar la identificación de suelos deficientes en B.

PALABRAS CLAVE: micronutrientes; fertilización; región pampeana

INTRODUCCION

La deficiencia de boro (B) ha sido reconocida como la segunda limitación de micronutrientes más importante para el maíz (*Zea mays* L.) después del zinc (Zn) (Shorrocks, 1997; Arunkumar et al., 2018). Cuando la disponibilidad de B es insuficiente, el desarrollo, rendimiento y calidad de los cultivos son afectados negativamente (Sarwar et al., 2018; Kumar et al., 2018; Shabbir et al., 2020). En la Región Pampeana (RP), el B es el segundo micronutriente deficiente en los suelos agrícolas, luego del Zn. Se ha determinado que la producción agrícola ha provocado una caída promedio del B disponible del 50% respecto de sus contenidos en suelos prístinos (Sainz Rozas et al., 2019). En el suelo, el B es considerado como uno de los microelementos más móviles. Además, concentraciones ligeramente altas de B pueden volverse tóxicas para las plantas (estrecho rango entre deficiencia y toxicidad). La extracción con agua caliente (BAC) es el método más utilizado para estimar el B disponible, ya que permite detectar bajas concentraciones de B en el suelo (Berger et al., 1939). Estudios previos realizados en invernáculo mostraron que el umbral crítico de BAC por debajo del cual se reduce el rendimiento del cultivo oscila entre 0,1 y 2,0 mg kg⁻¹ (Sims & Johnson,



1991), sugiriendo generalmente un valor crítico de $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ para diferentes cultivos, incluyendo maíz. Sin embargo, estos valores críticos de BAC no han sido derivados de calibraciones a campo, excepto la realizada por Kumar et al. (2018) para Alfisoles (valor crítico $0,50 \text{ mg kg}^{-1}$). Por otra parte, Wendt y Rijpma (1997) no observaron respuesta en maíz a la fertilización con B cuando los valores de BAC estaban por debajo de $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$, lo que sugiere que este umbral no es confiable en todas las condiciones edafoclimáticas. En este sentido, no existen calibraciones de campo de BAC para maíz, ni umbrales críticos para ser utilizados en las recomendaciones de fertilización con B en otros órdenes de suelos, como los Molisoles.

Existe evidencia considerable que sugiere que la recomendación de fertilización con micronutrientes basada en el análisis del suelo puede mejorarse desarrollando modelos que incluyan otras propiedades del suelo asociadas con la dinámica de cada micronutriente (Pal et al., 1989; Sims & Johnson, 1991; Barbieri et al., 2017). En esta línea, Pal et al. (1989) y Barbieri et al. (2017) informaron que la capacidad predictiva de los modelos para predecir la respuesta en rendimiento a Zn, mejoró al incorporar en una regresión múltiple variables edáficas (ie: pH, MO, capacidad de intercambio catiónico, contenido de arcilla y conductividad eléctrica). Debido a la asociación existente entre la MO, la textura y el pH con la disponibilidad de B, la inclusión de estas variables en los modelos de diagnóstico de BAC permitirían la mejorar en su capacidad predictiva. Dado la falta de estudios de calibración a campo de BAC en Mollisoles, los objetivos de nuestro estudio fueron: i) explorar la respuesta del rendimiento de grano de maíz a la fertilización con B, ii) calibrar el BAC como un predictor de la respuesta de maíz a la fertilización con B en condiciones de campo, y iii) evaluar la contribución de la arcilla, el pH y la MO del suelo como variables predictivas de la respuesta del maíz a la fertilización con B.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos de campo ($n=53$) que evaluaron la respuesta del maíz a la fertilización con B se establecieron en una amplia zona de Argentina (de norte a sur: $26^{\circ}53'56'' \text{ S}$ - $38^{\circ}51'32'' \text{ S}$; de este a oeste: $57^{\circ}24'31'' \text{ O}$ - $64^{\circ}35'10'' \text{ O}$). El diseño experimental utilizado fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. El tamaño de cada unidad experimental fue de 50 m^2 . En cada sitio se sembró maíz bajo siembra directa y en secano en donde se aplicaron dos tratamientos: T0 = testigo sin la aplicación de B, y TB = B foliar en V5-V7 (225 g ha^{-1} B aplicado entre V6 y R1 (Ritchie et al., 1996, Tabla 1)). La Tabla 1 resume la información sobre cada sitio experimental. Prácticas de manejo como la fertilización (N, P, S y Zn), densidad de siembra, distancia entre hileras, fecha de siembra y control de malezas y plagas fueron seleccionadas para maximizar el rendimiento de maíz y variaron entre sitios.

Previo a la siembra, se tomaron muestras de suelo (0-20 cm) de cada bloque. Las mismas fueron secadas a $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, molidas y pasadas por un tamiz de 2 mm de malla. A las muestras se le realizó la determinación de parámetros químicos: reacción del suelo (pH) (suspensión de suelo: agua 1:2,5), materia orgánica (MO) (Walkley & Black, 1934) y BAC según la técnica propuesta por Bingham (1983) modificada por Mahler et al. (1984). La cuantificación de B en los extractos se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica.

A madurez fisiológica el cultivo se cosechó y se expresó el rendimiento en grano a 14% de humedad relativa. Se utilizó el procedimiento PROC UNIVARIATE del programa SAS 9.2 (SAS Institute, 2008) para probar los supuestos de normalidad y calcular estadísticos descriptivos (media, mediana y coeficiente de variación) y para analizar la distribución de los residuales. El efecto de los tratamientos sobre el rendimiento en grano se analizó para cada sitio-año mediante ANOVA usando el procedimiento PROC GLM de SAS. Se utilizó un método de selección STEPWISE para determinar la mejor combinación de variables para explicar el RR ($\text{RR} = \text{rendimiento T0} / \text{rendimiento TB}$) del maíz y la respuesta en rendimiento, utilizando BAC, pH, arcilla, contenido de arena y MO como variables de entrada. El valor crítico BAC ($B_{\text{crítico}}$) para RR (95%) se calculó siguiendo la curva de calibración arcoseno-logaritmo (ALCC) (Correndo et al., 2017).

RESULTADOS Y DISCUSION

El presente estudio abarcó una amplia gama de Molisoles con condiciones edafoclimáticas contrastantes (Tabla 1). Los experimentos a través de los sitios-años mostraron un rango de pH del suelo entre ácido y ligeramente alcalino (5,4 a 7,9) y un amplio rango de contenido de MO (9,60 a 73,50 g kg⁻¹) y BAC (0,53 a 2,09 mg kg⁻¹). (Tabla 1). Se determinó una correlación positiva entre BAC y MO ($r = 0,56$, $p < 0,001$) (Figura 1a), mientras que no se observó asociación entre BAC y pH, ni entre BAC y el contenido de arcilla (Figura 1b y c). Sainz Rozas et al. (2012) reportaron para los suelos agrícolas de la RP, que la disponibilidad de B se correlacionó significativamente con el contenido de MO del suelo ($r = 0,47$), lo que indica la importancia de la MO en la disponibilidad de B (Gupta et al., 1985)

El rendimiento en grano varió entre 5,34 y 17,35 Mg ha⁻¹ (Tabla 1). La respuesta en rendimiento a la aplicación de B se observó en 6 de 53 sitios-año (11,3%). En los sitios con respuesta, la respuesta promedio en rendimiento fue de 1,0 Mg ha⁻¹ (10,5%). Otros estudios informaron respuestas de rendimiento a la fertilización con B que oscilaron entre 8,5 y 27,7%, en suelos con baja disponibilidad de B ($\leq 0,5$ mg kg⁻¹) (Kumar et al., 2018; Rahman, et al., 2018; Fátima Gotz et al., 2021). Por otro lado, no se ha reportado respuesta a la fertilización con B en maíz cuando la disponibilidad de este micronutriente en el suelo es alta ($\geq 0,75$ mg kg⁻¹) (Nelson & Meinhardt, 2011; Barbieri et al., 2015; Silva & Buso 2020; Stewart et al., 2021). Se observó una relación significativa entre el RR y el contenido de BAC en suelo ($r = 0,27$, $p < 0,024$, Figura 2). El modelo calibrado para BAC diagnosticó correctamente el 79% de los sitios con disponibilidad de B deficiente o suficiente. Se determinó un valor umbral de 0,78 mg kg⁻¹ (Figura 2) y el 13,3% de los datos estuvieron por debajo de este umbral (Cuadro 1). De acuerdo al contenido de BAC en suelo, se definieron tres rangos de probabilidad de respuesta en rendimiento a la fertilización con B: a) $< 0,66$ mg kg⁻¹ = probabilidad alta; b) 0,66 y 0,91 mg kg⁻¹ = probabilidad media, c) $> 0,91$ mg kg⁻¹ = probabilidad baja (Figura 2). Kumar et al. (2018), utilizando BAC como la metodología en Alfisoles determinaron bajo condiciones de campo un umbral de 0,50 mg kg⁻¹ con un rango de disponibilidad de B de 0,19 a 0,76 mg kg⁻¹. En general, Sims & Johnson (1991) también sugirieron que un valor de BAC de aproximadamente 0,50 mg kg⁻¹ puede separar los suelos que suministran adecuadamente B de aquellos que pueden ser deficientes. El rango de disponibilidad de B en el suelo utilizado para calibrar el umbral en nuestro estudio mostró una amplia gama de valores, siendo el mismo de 0,53 a 2,09 mg kg⁻¹. El análisis STEPWISE para valores de BAC $\leq 0,78$ mg kg⁻¹ (alta probabilidad de respuesta al agregado de B) solo seleccionó a la MO como variable predictiva, lo que explicó el 47% de la respuesta en rendimiento a la fertilización con B (datos no mostrados), mientras que el contenido de BAC, el pH o la arcilla no fueron incluidos en el modelo. El hecho de que BAC no se incluyera en el modelo puede ser consecuencia de la asociación de esta variable con la MO. La asociación observada entre BAC y MO (Figura 1a) ha sido descrita por otros autores, mostrando que los suelos con un alto contenido de MO tienen una mayor disponibilidad de B (Pandey & Verma, 2017; Kumar et al., 2018). Por otro lado, no se observó una asociación entre BAC y pH (Figura 1b). Se ha reportado una disminución en la biodisponibilidad de B a medida que aumenta el pH (Khan et al., 1979; Arunkumar et al., 2018). Sin embargo, esa asociación se observó en suelos calcáreos con valores de pH que promueven la precipitación de B (rango de 6.9-8.1) y reducen su disponibilidad (Sims & Bingnam, 1968). Contrariamente, en nuestro estudio en Molisoles, donde el pH oscilaba entre 5.40 y 7.87 (Promedio 6,01, Tabla 1), la precipitación de B no es un proceso significativo. Contrariamente a la observación de Wear y Patterson (1962), la textura del suelo no afectó la disponibilidad de BAC para las plantas de maíz, lo que podría ser consecuencia del rango limitado de clases texturales involucradas en nuestro experimento (Figura 1c).

CONCLUSIONES

El presente estudio es el primero en reportar un umbral de BAC (0,78 mg kg⁻¹) para maíz calibrado en condiciones de campo en Molisoles. Este valor crítico permitió identificar



correctamente suelos con disponibilidad de BAC deficiente o adecuada, diagnosticando correctamente el 79% de los sitios-años. La incorporación de otras variables edáficas en modelos para predecir el rendimiento relativo del grano de maíz no mejoró significativamente su capacidad predictiva.

Tabla 1 Información sobre año, tipo de suelo, ubicación, clase textural, pH, fósforo disponible (P_{Bray}-1), materia orgánica (MO), B en agua caliente (BAC), momento de aplicación de boro, rendimiento en parcelas testigo (Rend. T0) y en parcelas fertilizadas con B (Rend. T1) y rendimiento relativo de maíz en parcelas sin fertilización con B (RR T0) para 53 ensayos.

Stio	Año	Tipo de suelo	Latitud	Longitud	Arcilla	Arena	pH	P _{Bray}	MO	BAC	Momento	Rto To	Rend T1	RR T0	p-valor‡
					g 100 g ⁻¹	g 100 g ⁻¹	(1.2.5)	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		----- Mg ha ⁻¹ -----		%	
1	2009	Argiudol típico	37° 45' S	58° 18' W	25,8	39,3	5,9	20,1	45,3	1,16	V6†	15,3	14,1	108	0,35
2	2010	Argiudol típico	37° 45' S	58° 18' W	25,8	39,3	6,5	54,7	62,0	1,39	V6	16,4	16,4	100	0,97
3	2011	Argiudol típico	37° 45' S	58° 18' W	25,8	39,3	5,9	51,8	57,1	1,25	V6	18,4	17,3	106	0,07
4	2011	Argiudol típico	37° 45' S	58° 18' W	25,8	39,3	6,0	45,9	53,8	1,04	V6	13,2	11,6	114	0,21
5	2011	Argiudol típico	37° 45' S	58° 18' W	25,8	39,3	6,0	45,9	53,8	1,16	V6	6,3	6,2	102	0,56
6	2010	Argiudol típico	31° 12' S	61° 30' W	27,4	5,1	5,8	50,9	25,3	1,01	V6	6,4	5,3	119	0,09
7	2010	Aplustol údico	28° 01' S	65° 19' W	19,1	36,9	7,4	50,4	21,5	1,14	V6	11,1	10,6	104	0,20
8	2010	Argiustol típico	26° 53' S	64° 36' W	23,1	37,9	7,9	25,2	19,7	1,19	V6	10,6	9,8	109	0,09
9	2010	Argiudol típico	33° 56' S	60° 33' W	39,9	16,1	6,0	17,1	23,8	0,89	V6	11,7	12,1	97	0,48
10	2010	Argiudol típico	32° 34' S	60° 51' W	22,9	6,3	6,3	21,1	19,9	0,97	V6	7,2	7,4	97	0,84
11	2011	Argiudol típico	32° 33' S	60° 51' W	22,9	6,3	5,6	7,8	29,0	1,02	V6	12,9	13,87**	92	0,05
12	2011	Argiudol típico	33° 56' S	60° 33' W	39,9	16,1	5,4	18,7	22,9	0,60	V6	4,5	5,29**	84	0,09
13	2012	Argiudol típico	37° 45' S	58° 18' W	25,8	39,3	6,3	32,2	51,0	1,70	V6	16,3	15,6	105	0,45
14	2013	Argiudol típico	37° 50' S	57° 27' W	22,1	41,1	5,8	8,6	62,1	1,49	V6	9,0	8,9	101	0,91
15	2013	Argiudol típico	38° 30' S	58° 12' W	24,3	39,2	6,0	9,9	69,7	1,74	V6	9,1	7,8	116	0,47
16	2013	Argiudol típico	37° 59' S	57° 24' W	22,1	41,1	6,0	7,0	61,6	1,70	V6	9,0	9,2	97	0,87
17	2013	Argiudol típico	38° 15' S	57° 43' W	22,1	41,1	6,0	26,3	56,9	1,64	V6	8,6	8,9	97	0,74
18	2013	Argiudol típico	37° 54' S	58° 39' W	25,8	39,3	5,4	47,4	55,6	1,49	V6	14,3	14,8	97	0,56
19	2013	Argiudol típico	38° 29' S	57° 41' W	22,1	41,1	6,2	14,2	58,4	2,06	V6	10,6	10,2	104	0,53
20	2013	Argiudol típico	38° 18' S	58° 25' W	33,7	20,7	5,9	7,4	60,0	1,84	V6	10,9	11,0	99	0,90
21	2013	Argiudol típico	38° 18' S	58° 50' W	33,7	20,7	5,9	10,4	73,5	2,09	V6	11,5	11,7	98	0,61
22	2013	Argiudol típico	37° 45' S	58° 37' W	25,8	39,3	5,9	35,4	55,2	1,09	V6	13,3	13,6	94	0,68
23	2013	Argiudol típico	37° 45' S	58° 18' W	25,8	39,3	5,7	35,3	54,5	0,70	V6	10,1	8,9	113	0,09
24	2013	Argiudol típico	37° 40' S	58° 24' W	25,8	39,3	6,4	23,0	59,1	0,65	V6	7,5	7,3	103	0,64
25	2013	Argiudol típico	34° 15' S	61° 41' W	18,3	46,6	5,6	193,2	19,8	1,20	V6	10,2	10,7	95	0,58
26	2013	Argiudol típico	34° 15' S	61° 41' W	18,3	46,6	6,0	24,1	32,1	0,80	V6	12,6	12,9	98	0,66
27	2013	Argiudol típico	34° 16' S	61° 44' W	18,3	46,6	5,9	12,5	30,4	1,00	V6	11,6	12,1	96	0,61
28	2013	Argiudol típico	34° 15' S	61° 44' W	18,3	46,6	5,9	10,8	14,6	0,95	V6	6,8	6,8	100	0,97
29	2013	Argiustol típico	27° 04' S	61° 04' W	30,8	40,8	6,9	153,0	16,3	1,93	V6	8,3	8,5	97	0,81
30	2013	Argiudol típico	34° 15' S	58° 31' W	26,1	18,7	6,1	15,3	51,0	1,47	V6	16,4	15,9	103	0,30
31	2014	Argiudol típico	32° 42' S	62° 10' W	26,7	7,1	5,8	17,2	29,4	0,93	Soil	8,1	8,0	101	0,78
32	2014	Argiudol típico	32° 42' S	62° 09' W	20,5	46,4	6,1	15,1	30,0	1,20	Soil	9,9	9,6	103	0,25
33	2014	Argiudol típico	32° 42' S	62° 11' W	24,3	39,3	6,0	23,0	30,4	1,10	Soil	7,1	7,6	94	0,37
34	2015	Argiudol típico	32° 43' S	62° 06' W	22,1	41,1	6,0	27,0	28,4	1,10	Soil	9,0	9,1	99	0,67
35	2015	Argiudol típico	32° 42' S	62° 05' W	25,8	39,3	5,8	19,0	26,4	0,82	Soil	9,8	9,4	104	0,50
36	2015	Haplustol éntico	33° 01' S	64° 02' W	25,8	39,3	6,4	20,7	9,6	1,33	V6	10,2	10,3	98	0,75
37	2015	Argiudol típico	35° 24' S	60° 56' W	29,7	10,9	5,9	5,1	29,8	0,94	V6	12,0	13,23**	91	0,05
38	2016	Argiudol típico	38° 51' S	59° 12' W	29,7	10,9	5,8	16,3	51,6	1,27	V6	13,2	13,4	98	0,41
39	2016	Argiudol típico	32° 42' S	62° 08' W	29,7	10,9	6,1	38,0	29,1	1,00	Soil	10,3	10,7	96	0,14
40	2016	Argiudol típico	32° 42' S	62° 04' W	29,7	10,9	6,0	21,0	21,5	0,71	Soil	13,9	13,9	100	0,86
41	2016	Argiudol típico	32° 43' S	62° 05' W	29,7	10,9	5,9	20,0	21,4	0,60	Soil	12,6	13,72**	92	0,05
42	2017	Argiudol típico	32° 43' S	62° 06' W	29,7	10,9	6,3	15,8	21,5	0,74	Soil	12,0	13,36**	90	0,08
43	2017	Argiudol típico	32° 43' S	62° 07' W	29,7	10,9	6,0	31,0	27,7	0,53	Soil	13,3	13,5	99	0,65
44	2017	Argiudol típico	32° 42' S	62° 04' W	29,7	10,9	5,8	21,6	23,2	0,84	Soil	11,3	11,5	99	0,87
45	2017	Argiudol típico	32° 43' S	62° 04' W	29,7	10,9	5,7	14,0	21,7	1,00	Soil	15,0	14,4	104	0,14
46	2018	Argiudol típico	37° 55' S	57° 44' W	29,7	10,9	5,7	10,4	53,5	1,12	V6	6,9	7,3	95	0,22
47	2018	Argiudol típico	37° 45' S	58° 18' W	29,7	10,9	5,9	22,9	53,5	1,17	V6	12,3	12,5	99	0,74
48	2018	Argiudol típico	37° 45' S	58° 18' W	29,7	10,9	5,6	9,7	49,5	0,98	V6	12,3	12,0	102	0,54
49	2019	Apludol éntico	33° 04' S	64° 34' W	25,4	31,3	6,1	5,9	18,7	0,81	V8	8,6	9,20**	94	0,06
50	2019	Argiudol típico	32° 42' S	62° 06' W	29,7	10,9	5,9	12,0	21,7	1,02	V6	15,3	15,5	98	0,80
51	2020	Argiudol típico	32° 43' S	62° 07' W	29,7	10,9	5,7	13,0	27,2	1,04	V6	15,9	15,8	101	0,74
52	2020	Argiudol típico	32° 58' S	64° 35' W	25,4	31,3	5,9	17,2	17,1	0,75	V8	6,1	6,4	96	0,21
53	2021	Argiudol típico	35° 47' S	61° 06' W	14,7	58,9	5,6	13,0	29,0	0,80	Vt	13,4	14,0	95	0,78
Promedio							6,0	28,0	37,5	1,13		11,1	11,1	100	
Desvio estándar							0,4	32,1	17,4	0,38		3,1	3,1	6	
Mediana							5,9	20,0	29,8	1,04		11,1	10,7	99	
Mínimo							5,4	5,1	9,6	0,53		4,5	5,3	84	
Máximo							7,9	193,2	73,5	2,09		18,4	17,3	119	
Coeficiente de variación (%)							7,1	114,6	46,3	33,19		28,3	27,9	6	

**Diferencia significativa de rendimiento entre los tratamientos fertilizados con y sin B (p < 0,1).

† Fertilizante de boro aplicado al suelo o foliar en las etapas de maíz V6, V8 o Vt.

‡ Valor p para la comparación del rendimiento de maíz entre tratamientos fertilizados con y sin B.

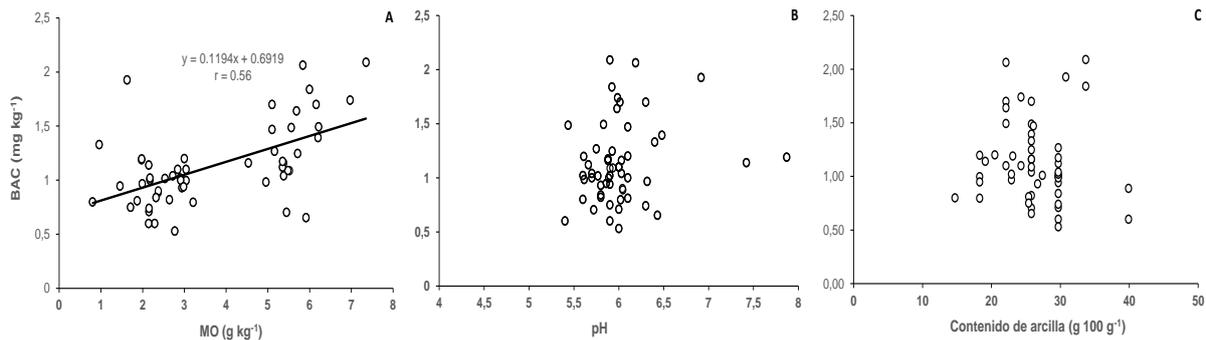


Figura 1: Relación entre el boro extraído en agua caliente (BAC) y la materia orgánica del suelo (MO= (A), el pH (B), y el contenido de arcilla (C) (0-20 cm).

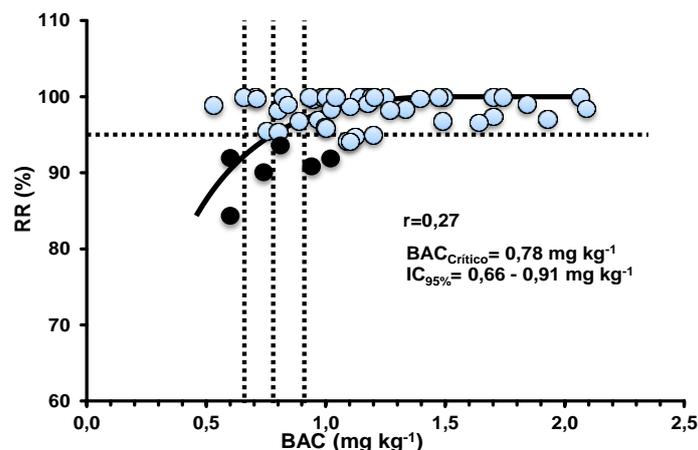


Figura 2: Relación entre el rendimiento relativo del maíz (RR) en parcelas sin fertilización con boro y el boro extraído en agua caliente (BAC) en los suelos (0–20 cm) para los 53 sitios/año.

BIBLIOGRAFIA

- Arunkumar, B. R., Thippeshappa, G. N., Anjali, M. C., & Prashanth, K.M. (2018). Boron: A critical micronutrient for crop growth and productivity. *Journal of Pharmacognosy & Phytochemistry*, 7(2), 2738-2741.
- Barbieri, P. A., Mallarino, A. P., Haq, M. U., Oltmans, R. R., & Enderson, J. T. (2015). Grain Yield, Soil-Test, and Tissue-Test Responses to Micronutrients Applied to the Soil in Corn-Soybean Rotations. *ASA International Annual Meeting, Minneapolis, Minnesota, USA*.
- Barbieri, P. A., Sainz Rozas, H. R., Wyngaard N., Reussi Calvo, N. I., Eyherabide M., Salvagiotti F., Correndo, A., Barbagelata, P. A., Esposito Goya, G., Colazo, J. C., & Echeverria, H. E. (2017). Can edaphic variables improve DTPA-based zinc diagnosis in corn? *Soil Society of American Journal*, 81(3), 556-563.
- Bingham, F. T. (1983). Boron. *Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, 9, 431-447.
- Bray, R. H., & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59:39-45.
- Correndo, A. A., Salvagiotti, F., García F. O., & Gutiérrez-Boem, F. H. (2017). A modification of the arcsine–log calibration curve for analyzing soil test value–relative yield relationships. *Crop Pasture Science*, 68 (3-4), 297-304.
- Fátima Gotz, L., Silvestrin, F., Motta, A. C. V., & Pauletti, V. (2021). Response to Application and Tissue Diagnosis of Boron Deficiency and Toxicity in Maize. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(22), 2898-2911.
- Gupta, U.C., Jame, Y. W., Campbell, C. A., Leyshon, A. J. & Nicholaichuk, W. (1985). Boron toxicity and deficiency: A review. *Can. J. Soil Sci.* 65: 381-40.

- Khan, Z.D., Ryan, J. & Berger, K.C. (1979). Available boron in calcareous soils of Lebanon. *Agronomy Journal*, 71(4), 688-690.
- Keren, R. (1996). Boron. In: *SSSA Book Series, Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods*, Ed: Sparks, D.L. Cap. 21. 5.3:603-626. USA. 1390pp.
- Kumar A., Denre M., Prasad R. (2018). Critical limit of boron for maize (*Zea mays* L.) in red and lateritic soil of Jharkhand. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 49 (22), 2802-2813.
- Mahler, R. L., Naylor, D.V., & Fredrickson, M. K. (1984). Hot water extraction of boron from soils using sealed plastic pouches. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15(5), 479-492.
- Nelson K. A. & Meinhardt, C. G. (2011). Foliar boron and pyraclostrobin effects on corn Yield. *Agronomy Journal*, 103(5), 1352–1358.
- Pal, A. R., Motiramani, D. P., & Rathore, G. S. (1989). A model to predict the zinc status of soils for maize. *Plant and Soil*, 116, 49–55
- Pandey, A.N. & Verma, P. (2017). Boron deficiency and toxicity and their tolerance in plants: A review. *Journal of Global Biosciences*, 6, 4958–65.
- Phonglosa, A., Dalei, B. B., Nayak, R. K., Pattanayak, S. K., Kropi, J., & Saren, S. (2019). Response of boron on yield and economics of maize under Eastern Ghat High Land Zone of Odisha. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 12(1), 33-37.
- Rahman, M. S., Islam, M. T, Ishtiaque, S., Sarker, M. J, & Khan, A. M. (2018). Response of hybrid maize to boron application. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 43(2), 281-288.
- Ritchie, S. W., Hanway, J. J., & Benson, G. O. (1996). How a corn plant develops. *Spec. Rep. 48. Rev. ed. Iowa State Univ. Coop. Ext. Serv., Ames.*
- Sainz Rozas, H.; H.E. Echeverría & H. Angelini. 2011. Organic carbon and ph levels in agricultural soils of the pampa and extra-pampean regions of Argentina. *Cienc. Suelo* 29:29-37.
- Sainz Rozas, H.; H.E. Echeverría; M. Eyherabide; M. Barraco; G.N. Ferraris & H.P. Angelini. 2012. Niveles de boro disponible en suelos de la Región Pampeana Argentina. XIX. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Buenos Aires. Argentina.
- Sainz Rozas H. 2019. Resumen. Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la Región Pampeana. Simposio de Fertilidad, Rosario, pp. 8-9
- Sarwar, M. A., Tahir, M., Shehzad, W., Hussain, S., & Imran, M. (2018). Efficacy of boron as foliar feeding on yield and quality attributes of maize (*Zea mays* L.). *Biological Sciences-PJSIR*, 61(1), 9-14
- SAS Institute. 2008. *The SAS system for windows. Version 9.2.* SAS Institute, Cary, NC.
- Shabbir, R. N., Hussain, S., Ali, H., Areeb, A., Irfan, M., Ahmed, Z., & Manzoor, S. (2020). Boron fertilization improves quality and yield of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Arable Crops and Marketing*, 2(1), 01-07.
- Shorrocks, V. M. (1997). The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and soil*, 193(1-2), 121-148
- Silva, A. O. & Buso, W. H. D. (2020) Application of different sources and doses of boron in the corn crop. *Revista de agricultura neotropical*, 7(4), 23-28.
- Sims, J. R. & Bingham, F. T. (1968). Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials. *Soil Science Society of American Journal*, 32(3), 364-369.
- Sims, J. T., & Johnson, G. V. (1991). Micronutrient soil tests. p. 427-476. In J.J. Mortvedt et al. (ed.). *Micronutrients in agriculture.* SSSA Madison, WI.
- Stewart, Z. P., Papparozzi, E. T., Wortmann, C.S., Jha, P.K. & Shapiro, C.A. (2021). Effect of Foliar Micronutrients (B, Mn, Fe, Zn) on Maize Grain Yield, Micronutrient Recovery, Uptake, and Partitioning. *Plant*, 10(3), 528.
- Walkley, A. & Black, Y. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-37.
- Wear, J. I., & Patterson, R. M. (1962). Effect of soil pH and texture on the availability of water-soluble boron in the soil. *Soil Science Society of America Journal*, 26, 344-346.
- Wendt, J. W., & Rijpma, J. (1997). Sulphur, zinc, and boron deficiencies in the Dedza Hills and Thiwi-Lifidzi regions of Malawi. *Tropical agriculture*