

Girasol: respuesta a la aplicación foliar de boro en suelos del litoral suroeste de Uruguay

García Lamothe Adriana¹, Quincke J. Andrés¹

¹Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Estación Experimental La Estanzuela, Colonia 70000. Uruguay. Correo electrónico: agarcia@inia.org.uy

Recibido: 19/11/10 Aceptado: 26/12/11

Resumen

Si bien el área de siembra del cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) en Uruguay se redujo en la última década, se está promocionando la siembra de girasol para destinar el aceite a la producción de biodiesel. El girasol es un cultivo particularmente sensible a la deficiencia de boro (B) por lo cual el nutriente puede ser necesario para maximizar el rendimiento. En Argentina se ha encontrado respuesta a B foliar en girasol, pero no se dispone de información sobre el tema en Uruguay. Se instaló una serie de doce experimentos a campo en suelos representativos del litoral suroeste, cuya concentración de B osciló entre 0,45 y 1,19 μg^{-1} . Los tratamientos consistieron en aplicaciones foliares de 300, 600 y 900 g B ha^{-1} de B al estado de botón floral y un control. Ni el rendimiento ni el contenido de aceite mostraron aumentos significativos por la aplicación de boro. Sin embargo, en tres sitios el rendimiento disminuyó con la dosis de 900 g B ha^{-1} ($P < 0,10$). Los resultados indican que los suelos usados en este estudio tendrían un suministro adecuado de B para el girasol. Se concluyó que es poco probable encontrar respuesta a B en este tipo de suelo y que de aplicarse una dosis preventiva ésta no debería exceder 340 g B ha^{-1} de B para evitar riesgos de toxicidad.

Palabras clave: boro, *Helianthus annuus*

Summary

Sunflower: Response to Foliar Application of Boron in Southwest Coastal Uruguayan Soils

Although the cropping area of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in Uruguay decreased during the last decade, sunflower crop is being promoted for biodiesel production. Sunflower production is known to be particularly sensitive to boron (B) deficiency, therefore the nutrient may be beneficial to maximize yields. Crop response to foliar applied B has been reported in Argentina but there is no information available in Uruguay. A set of twelve field experiments was carried out on soils typical of the southwestern region with a B concentration that varied between 0.45 and 1.19 μg^{-1} . Boron treatments consisted of foliar applied B at 300, 600 and 900 g B ha^{-1} at flower bud stage plus a control. Boron application did not significantly increase grain yield or oil content. However, grain yield was reduced in three sites when B was applied at 900 g B ha^{-1} ($P < 0.10$). Results indicate that the soils of this study would have an adequate supply of B for sunflower. It was concluded that it is unlikely to find responses to B in this type of soil and a preventive application should not exceed 340 g B ha^{-1} to avoid the risk of toxicity.

Key words: boron, *Helianthus annuus*

Introducción

El área de siembra de girasol en Uruguay (*Helianthus annuus* L.) ha disminuido en los últimos años (DIEA, 2010), aunque en la actualidad se está incentivando la siembra de este cultivo para producir biodiesel. Tradicionalmente el girasol fue cultivado con escasa o nula fertilización, pero es sabido que el cultivo puede responder al agregado de nitrógeno (N) y fósforo (P) en suelos poco fértiles con buen nivel de humedad disponible y adecuada población de plantas (Fassio *et al.*, 1997). Aún en esos casos, las dosis recomendadas de N y P son generalmente moderadas, pues el girasol es menos exigente que otros cultivos como maíz y trigo (Wichmann, 2000).

Sin embargo, el girasol tiene requerimientos de boro (B) sensiblemente más altos que otras especies (Souza *et al.*, 2004). La removilización del B dentro de la planta no es eficiente y por eso los síntomas de deficiencia aparecen en los puntos de crecimiento y en las hojas jóvenes de girasol (Tanaka y Fujiwara, 2007), que presentan una coloración bronceada y se endurecen. Las pérdidas de rendimiento pueden asociarse con una disminución en el diámetro de aquenios y menor peso de granos (Bonacin *et al.*, 2008), mientras que con deficiencias más severas también ocurre malformación de capítulos (Blevins y Lukaszewski, 1998). El grado de manifestación de los síntomas no obstante difiere entre genotipos (Blamey *et al.*, 1979, 1980).

Por otro lado, un exceso de boro puede producir toxicidad al girasol, afectando negativamente el rendimiento y/o el contenido de aceite (Oyinlola, 2007). Entre los mecanismos fisiológicos, se ha encontrado que el exceso de B puede producir una menor conductividad estomática y una disminución de la relación tallo/raíz (Lovatt y Bates, 1984), así como también una reducción de la división celular (Liu *et al.*, 2000). Además, es relativamente estrecha la diferencia entre el nivel óptimo de B en planta y el nivel crítico de B en planta a partir del cual se genera toxicidad, y por lo tanto el rango de dosis adecuada es relativamente restringido (Marschner, 1995).

El boro puede estar presente en el suelo bajo distintas formas: como constituyente de minerales primarios (por ejemplo turmalina y micas) y secundarios; adsorbido a partículas de arcillas, óxidos hidratados y/o materia orgánica; como parte de la materia orgánica y de la biomasa microbiana; y en la solución del suelo (Shorrocks, 1997). En esta última, la forma más común es como H_3BO_3 (ácido bórico no disociado) y las plantas lo toman del suelo como tal (Marschner, 1995). Debido a que por la mineralización

de materia orgánica del suelo (MOS) se libera B, los contenidos de MOS y B en el suelo pueden estar fuertemente correlacionados (Elrashidi y O'Connor, 1982), y por ello el riesgo de deficiencia de B aumenta cuando decrece el contenido de materia orgánica (Shorrocks, 1997). Es un nutriente móvil (Kubota *et al.*, 1948) y puede ser lavado por la lluvia en suelos de textura gruesa, lo cual puede crear una deficiencia temporaria de boro. Cuando el tenor de la MOS es alto, el B puede ser repuesto rápidamente a través de la mineralización, pero si la MOS es relativamente baja o las condiciones ambientales son subóptimas para la actividad microbiana (por ejemplo baja temperatura o estrés hídrico), la reposición del B que se lavó será lenta y probablemente insuficiente para suplir los requerimientos de un cultivo de alta demanda de B (Shorrocks, 1997).

Al igual que con otros nutrientes, el análisis de suelo es una herramienta útil para pronosticar una deficiencia de B (Blamey *et al.*, 1978, 1997), en cuyo caso se puede corregir con la aplicación de un fertilizante foliar (Asad *et al.*, 2003). En la región pampeana argentina se ha encontrado respuesta positiva a la aplicación foliar de B en girasol en suelos con ciertas similitudes a los uruguayos (Díaz Zorita, 2002).

En Uruguay la respuesta a B en girasol no ha sido casi estudiada. El objetivo principal de este trabajo fue investigar la respuesta a la aplicación foliar de B en un cultivo de girasol manejado como para optimizar el rendimiento en suelos del litoral suroeste de Uruguay. Los objetivos específicos fueron: a) evaluar la respuesta en rendimiento de grano, b) determinar la dosis óptima y/o máxima para evitar pérdida de rendimiento por toxicidad, y c) determinar el efecto del B sobre la concentración de aceite en el grano.

Materiales y métodos

El trabajo consistió de doce experimentos de campo que se realizaron entre la estación de crecimiento 2003-04 y la del 2008-09 en suelos del litoral suroeste (200 m sobre el nivel del mar, 32-34 °S y 56-58 °W) bajo un sistema de producción de rotación de cultivos y pasturas. La mayoría de los experimentos se instalaron en la Estación Experimental La Estanzuela de INIA-Uruguay (EELE) y tres en chacras comerciales del área de influencia de la estación (Dolores, Palmitas y Young). Los suelos eran argisoles de texturas medias a finas, con pH ligeramente ácido, con relativamente baja capacidad de almacenamiento de agua disponible (80-120 mm) y un horizonte B arcilloso a aproximadamente 20-25 cm de profundidad.

Para una descripción detallada del suelo de cada experimento, previo a la siembra se tomaron muestras de suelo compuestas de 20 tomas individuales de los primeros 15 cm para determinar textura, pH en agua, carbono orgánico, fósforo disponible (Bray I), potasio intercambiable y contenido de sulfato en cada sitio experimental. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Suelos y Aguas de La Estanzuela y se muestran en el Cuadro 1. La concentración de B en el suelo se determinó por extracción con solución de BaCl_2 caliente siguiendo el método propuesto por Abreu *et al.* (1994) en el cual el calentamiento se efectúa con horno de microondas para luego medir el B con espectrometría de emisión atómica con fuente de plasma (ICP-AES) usando un equipo Perkin Elmer.

Se sembraron híbridos comerciales de girasol (Cuadro 1) con el objetivo de lograr una población de 45 mil a 90 mil plantas ha^{-1} (según el sitio) con una distancia entre hileras de 0,70 m. Se aplicó N en forma de urea al estado de cuatro a seis hojas verdaderas, en dosis que variaron entre 30 y 90 kg ha^{-1} según el análisis de suelo. No se aplicó P porque no se consideró limitante. El girasol de primera se sembró en noviembre luego de un laboreo reducido del suelo, mientras que el cultivo de segunda se instaló con siembra directa en diciembre luego de la cosecha del cultivo de invierno (Cuadro 1).

Los tratamientos consistieron en aplicaciones foliares de tres dosis de boro (300, 600 y 900 g B ha^{-1}) y un tratamiento control sin B. Se utilizó Boroplus[®], que es una formulación líquida de boro complejado con etanolamina (con 15% de B), aplicado al cultivo en estado de botón floral (2 cm de diámetro) con una mochila manual.

El diseño experimental fue de bloques al azar con cuatro repeticiones y con parcelas de 18 m^2 de superficie. El rendimiento en grano por hectárea se calculó con base a la cosecha de dos hileras centrales de cada parcela (8 m^2). Luego de la cosecha se determinó el diámetro promedio de los capítulos en una submuestra de 10 capítulos, y el peso de mil granos pesando dos submuestras de 200 granos por parcela. En los experimentos 5 y 11 hubo daño de pájaros, por lo cual se estimó el rendimiento sin daño en base a la evaluación visual del daño en 10 capítulos tomados al azar. En el laboratorio de Calidad de Granos de EELE se determinó la concentración de aceite (porcentaje del peso seco) en las muestras de grano de cada parcela (aunque en los experimentos 3, 6 y 11 el análisis de aceite se realizó en una muestra compuesta de los cuatro bloques para cada tratamiento, es decir que no se dispone de repeticiones para esta variable en estos tres sitios).

Se realizó el análisis estadístico de las variables rendimiento y contenido de aceite para cada experimento individual, utilizando el modelo lineal general (GLM) de SAS y aplicando separación de medias cuando el efecto resultó significativo ($\alpha=0,10$). Además se ajustó una ecuación de regresión (MS Excel) con una función cuadrática para relacionar la dosis de B con el rendimiento. Para ello se usaron los sitios en que hubo efecto significativo del B (experimentos 8, 9 y 12), más los experimentos 2, 3, 6, 7 y 11, que si bien no tuvieron efecto significativo a B, mostraron un patrón de respuesta similar. Esto permitió obtener una curva de respuesta a B que fuera más representativa del conjunto de sitios de este estudio.

Resultados y discusión

Condiciones edafo-climáticas

En el Cuadro 2 se muestra la cantidad y distribución mensual de las precipitaciones para los seis años que comprendió este estudio. Las precipitaciones anuales variaron entre 1645 y 811 mm, y sólo en 2003-2004 la precipitación se aproximó al promedio histórico de 1300 mm año^{-1} . Hubo déficit hídrico durante las primaveras de 2007-08 y 2008-09, que impidieron instalar experimentos con girasol de segunda por la falta de agua en el suelo a la siembra. Además, en 2008-09 el déficit llevó a retrasar la siembra del girasol de primera a diciembre (experimento 12). En la última semana de enero de 2005 en el experimento 6 hubo un período de alta temperatura y humedad que favoreció la aparición de cancro del tallo (phomopsis) y que a pesar del tratamiento con fungicida afectó el rendimiento.

En el Cuadro 1 se resumen los resultados de análisis de suelos para los doce experimentos. El tenor de materia orgánica fue variable pero siempre dentro de tenores medios (1,75 a 3,14% de carbono orgánico) y el pH osciló entre 5,1 y 6,3, rango dentro del cual no es esperable que la disponibilidad de B esté disminuida significativamente (Marchner, 1995). Las concentraciones de B en el suelo determinadas variaron entre 0,45 y 1,19 mg g^{-1} . Solamente los experimentos 4 y 12 estuvieron levemente por debajo del valor crítico de 0,5 mg mg^{-1} citado por Bradford (1966), pero es de destacar que en el mundo hay un amplio rango de niveles críticos de B. Si bien la mayoría de las guías de fertilización en Eurasia y Estados Unidos manejan valores entre 0,5 y 1,0 mg mg^{-1} , en Brasil se considera deficiente un suelo que contenga menos de 0,2 mg mg^{-1} (Abreu *et al.*, 1994). En Argentina, Díaz Zorita (2002) reportó datos que

Cuadro 1. Ubicación de los sitios experimentales, datos de siembra, cultivares y propiedades del suelo en los sitios experimentales.

Verano/	2003-2004				2004-2005	
Experimento N°	1	2	3	4	5	6
Localidad	EELE* Colonia	EELE Colonia	EELE Colonia	EELE Colonia	EELE Colonia	Palmitas Soriano
Cultivo (1 ^{era} , 2 ^{da})	1era	2da	1era	1era	2da	1era
/mes de siembra	diciembre	diciembre	diciembre	noviembre	diciembre	diciembre
Laboreo (SD, LR)	LR	SD	SD	LR	SD	SD
Uso anterior	Barbecho	Cebada	Barbecho	Avena	Trigo	Soja
Híbrido	DKSOL 3940	DKSOL 3940	DKSOL 3940	DKSOL 4000CL	DKSOL 4000CL	DKSOL 4000CL
Plantas ha ⁻¹	50 mil	45 mil	45 mil	90 mil	35 mil	45 mil
Datos de algunas propiedades físico-químicas del Suelo						
Textura	franco-arcillo- limosa	franco-arcillo- limosa	franco-arcillo- limosa	franco-arcillo- limosa	limo-arcillosa	franca
pH (agua)	5,8	6,2	6	5,7	5,9	6
C. Orgánico (%)	2,31	1,96	2,11	2	1,83	3,14
P-Bray (mg kg ⁻¹)	24,8	21,1	32	23,5	39,8	24,1
K intercambiable (meq 100 g ⁻¹)	0,61	0,89	1,2	1,1	0,51	0,59
S-SO ₄ (mg kg ⁻¹)	6	4,1	5,3	3,2	5,2	7,6
B (mg kg ⁻¹)	0,81	0,77	0,81	0,45	0,76	0,69
Verano/	2005-2006		2006-2007	2007-2008	2008-2009	
Experimento	7	8	9	10	11	12
Localidad	EELE Colonia	EELE Colonia	Dolores, Soriano	EELE Colonia	EELE Colonia	Young Río Negro
Cultivo (1 ^{era} , 2 ^{da})	1era	2da	1era	1era	1era	1era
/mes de siembra	noviembre	diciembre	noviembre	noviembre	noviembre	diciembre
Laboreo (SD, LR)	LR	SD	LR	LR	LR	LR
Uso anterior	Barbecho	Trigo	Barbecho	Barbecho	Barbecho	Soja
Híbrido	DKSOL 4040	DKSOL 4040	DKSOL 3810	DK SOL 3810	DKSOL 3810	PAN 7355
Plantas ha ⁻¹	45 mil	45 mil	70 mil	90 mil	55 mil	65 mil
Datos de algunas propiedades físico-químicas del Suelo						
Textura	franco-arcillo- limosa	franco-arcillo- limosa	franca	franco-arcillo- limosa	franco-limosa	areno-arcillosa
pH (agua)	5,9	6,3	5,8	6,1	5,4	5,1
C. Orgánico (%)	2,14	2,2	2,07	1,75	1,81	1,96
P-Bray (mg kg ⁻¹)	18,8	16	21	16,9	22,2	19
K intercambiable (meq.100 g ⁻¹)	0,97	1	0,98	0,9	0,63	0,49
S-SO ₄ (mg kg ⁻¹)	13,7	10	4,4	5,5	5	11
B (mg kg ⁻¹)	0,8	0,77	0,55	1,19	0,63	0,49

*EELE significa Estación Experimental La Estanzuela.

Cultivo 1^{era} y 2^{da}: sembrado después de un barbecho, o luego de la cosecha de invierno, respectivamente.

SD= siembra directa.

LR= laboreo reducido.

Cuadro 2. Precipitaciones mensuales (mm) en Estación Experimental La Estanzuela.

	Precipitaciones mensuales acumuladas (mm)					
	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009
Junio	29	14	92	266	41	44
Julio	39	42	57	39	7	31
Agosto	67	62	120	40	84	21
Setiembre	175	26	78	25	99	27
Octubre	57	124	51	171	186	47
Noviembre	149	85	29	50	36	20
Diciembre	109	31	44	200	42	124
Enero	86	212	201	65	111	28
Febrero	107	31	155	111	40	240
Marzo	183	94	118	427	88	150
Abril	276	122	23	148	11	23
Mayo	56	63	15	105	30	57
Σ mm	1333	907	984	1645	774	811

permiten establecer un nivel crítico de 0,30 mg mg⁻¹ en suelos del oeste de la provincia de Buenos Aires.

Rendimiento en grano

El rendimiento promedio por sitio osciló entre 1316 y 3977 kg ha⁻¹. El más bajo correspondió a un cultivo de segunda con siembra directa con una población sub-óptima de plantas que dificultó el control de malezas (experimento 5), mientras que el rendimiento más alto fue un girasol de primera con laboreo reducido (experimento 10).

Hubo tres experimentos con efecto significativo (P<0,10) de la fertilización con boro (experimentos 8, 9 y 12), debido a un efecto negativo con la dosis de 900 g ha⁻¹ (Cuadro 3).

Se destaca el experimento 12 donde el efecto fue altamente significativo (P<0,01) causando una pérdida superior a 1000 kg ha⁻¹ que se puede vincular con un menor peso de mil semillas y sobretodo con un menor diámetro promedio de los capítulos (Cuadro 4). En el caso de los experimentos 8 y 9, la pérdida de rendimiento (de menor magnitud que en el experimento 12) parece asociarse solamente a un menor peso de mil semillas. En cualquier caso, el efecto negativo del B puede ser atribuido al desarrollo de toxicidad del nutriente en las plantas (Gupta, 1993). Con la información obtenida en el presente estudio, no es posible inferir cuál o cuáles mecanismos habrían operado para causar pérdida de rendimiento. Sin embargo es interesante que el experi-

Cuadro 3. Resumen de resultados del análisis de varianza para rendimiento en grano y medias de tratamientos (kg ha⁻¹).

Parámetros estadísticos determinados para rendimiento en grano												
Experimento N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R ²	0,2723	0,2442	0,4101	0,1474	1014	0,3618	0,4915	0,6462	0,6733	0,5716	0,6476	0,9771
Coef. Variación	10,6	13,67	28,25	10,23	9,43	7,39	5,68	5,42	6,44	5,97	11,7	4,61
Media (kg ha ⁻¹)	2369	2506	1722	3501	1316	2235	2310	2300	2571	3977	2202	2740
Pr > F	0,65	0,52	0,78	0,68	0,91	0,30	0,24	0,10	0,09	0,67	0,43	<0,01
MDS (P<0,05)	402	536	778	573	199	264	210	199	199	380	418	265
Tratamientos												
Control	2247a	2341a	1657a	3547 a	1325 a	2115 a	2191 a	2303ab	2584 ab	3989 a	2119 a	3085 a
B 300 g ha ⁻¹	2352a	2423a	1936a	3350 a	1321 a	2300 a	2391 a	2408 a	2731 a	4028 a	2201 a	2980 a
B 600 g ha ⁻¹	2408a	2595a	1687a	3457 a	1340 a	2196 a	2325 a	2321ab	2533 ab	4027 a	2352 a	3047 a
B 900 g ha ⁻¹	2468a	2667a	1608a	3652 a	1280 a	2330 a	2334 a	2167 b	2435 b	4040 a	2097 a	1849 b

Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente a P < 0,10. Pr>F es el nivel de significación del efecto tratamiento.

Cuadro 4. Diámetro del capítulo (cm) y peso de 1000 granos (g).

Experimento N°	Diámetro del Capítulo (cm)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Control	17,3	17,8	19,7	17,7	11,5	17,5	18,4	20,0	19,3	12,9	17,6	15,0
B 300 g ha ⁻¹	17,4	17,3	19,9	18,5	11,0	17,7	18,0	20,5	19,8	12,9	17,7	14,3
B 600 g ha ⁻¹	17,2	16,9	18,7	19,1	12,7	18,8	18,8	19,3	18,9	13,3	17,6	14,0
B 900 g ha ⁻¹	17,7	17,4	19,9	18,9	11,4	18,2	18,7	18,7	18,2	12,8	16,6	13,3
Experimento N°	Peso de 1000 granos (g)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Control	63,9	68,3	73,9	51,2	54,1	43,8	42,2	44,0	59,0	60,4	64,7	56,0
B 300 g ha ⁻¹	65,9	63,6	73,9	50,2	53,7	43,0	43,3	44,7	59,8	59,4	64,5	57,0
B 600 g ha ⁻¹	66,1	66,6	76,5	50,4	54,8	42,5	42,6	45,2	59,4	60,0	64,5	54,3
B 900 g ha ⁻¹	63,9	63,5	79,6	51,1	55,6	41,2	42,4	44,7	58,2	57,0	63,0	45,0

mento 12 (el sitio con mayor pérdida por toxicidad) estaba ubicado más al norte (Young), donde las temperaturas máximas en verano son 2-3 °C más altas, y además recibió las precipitaciones más bajas comparado con los experimentos de otros años (Cuadros 1 y 2). Según Ghanati *et al.* (2002, 2005) el exceso de B puede restringir el movimiento radial del agua debido a una excesiva deposición de suberina en la paredes celulares en las puntas de raíces. Debido a este proceso se afectaría la eficiencia de uso del agua, haciendo al cultivo menos tolerante frente a un déficit hídrico. Por lo tanto, el exceso de boro podría acentuar el efecto negativo del estrés hídrico, lo cual puede haber ocurrido en el experimento 12.

No hubo incrementos estadísticamente significativos en respuesta a la aplicación foliar de boro (Cuadro 3). Sin embargo, se observaron tendencias de respuesta en cinco casos, con incrementos en rendimiento de 5% o más respecto al testigo (experimentos 2, 3, 6, 7, y 11). Estos leves incrementos en rendimiento se observaron mayoritariamente con la dosis de 300 y/o 600g ha⁻¹ de B foliar.

Con base al promedio de los datos obtenidos en estos cinco experimentos, más los experimentos 8, 9 y 12, se ajustó una curva de respuesta promedio al B del tipo cuadrático representada por la ecuación $Y = 2640 + 0,47B - 0,0007 B^2$ ($R^2 = 0,87$). De acuerdo con esta ecuación, la dosis de B requerida para obtener el máximo rendimiento de girasol fue 338 g ha⁻¹, mientras que dosis mayores implican menores rendimientos. El incremento en grano obtenido con la aplicación de esa dosis fue cercano a 80 kg ha⁻¹, mientras que la disminución en rendimiento causada por la dosis alta alcanzó a 142 kg ha⁻¹.

En el presente estudio, la concentración promedio en los 12 suelos fue 0,72 mg g⁻¹. En Argentina se determinó la

concentración de B en los 20 cm superficiales de suelo en un amplio rango de Argisoles usando CaCl₂ caliente para la extracción y los valores obtenidos oscilaron entre 0,39 y 1,25 mg mg⁻¹ (Ratto y Diggs, 1990). Sin embargo, muchos de los suelos agrícolas de La Pampa son Hapludults, con características texturales que los hacen más susceptibles al lavado de B y, por lo tanto, con más probabilidad de presentar tenores bajos de B y de responder al agregado del nutriente. Ese hecho podría explicar los incrementos significativos en grano debido a la fertilización foliar con B reportados por Díaz Zorita (2002). La baja o nula respuesta positiva a la aplicación foliar de B puede indicar que la bio-disponibilidad de este elemento en los suelos de este estudio es adecuada para suplir las necesidades nutricionales del girasol. Además, el nivel crítico de B en suelos semejantes a éstos (con nivel medio de carbono orgánico, texturas medias y pH ligeramente ácido) probablemente sea menor a 0,45 mg mg⁻¹, lo que sería concordante con lo encontrado para suelos argentinos (Díaz Zorita, 2002). En tal sentido, los suelos utilizados en el presente trabajo no registraron análisis menores que 0,45 mg mg⁻¹ de boro.

Concentración de aceite en el grano

La aplicación foliar de B tuvo efecto sobre porcentaje de aceite del grano ($P < 0,10$) en los experimentos 8 y 9 (Cuadro 5) debido a una disminución en el contenido de aceite cuando se aplicó 900 g ha⁻¹ de B foliar. Es escasa la información existente acerca del efecto del B sobre la concentración de aceite en oleaginosas. Nuttall *et al.* (1987) observaron que la aplicación de B y N en canola disminuyó la proteína del grano e incrementó el aceite. En Nigeria, Oyilola (2007) reportó para suelos deficientes en boro un incremento en la concentración de aceite luego de aplicar dosis

Cuadro 5. Resumen de resultados del análisis de varianza para porcentaje de aceite y medias de tratamientos (%).

Experimento N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R ²	0,4791	0,2727	ND	0,2856	0,3611	ND	0,6159	0,6751	0,6751	0,7291	ND	0,9555
Coef. Variación	2,06	3,01	ND	2,76	2,75	ND	1,17	1,42	1,42	0,91	ND	1,13
Media (kg ha ⁻¹)	44,2	44,1	ND	42,6	40,1	ND	44,5	41,2	41,7	40,3	ND	40,3
Pr > F	0,49	0,53	ND	0,73	0,77	ND	0,24	0,07	0,09	0,29	ND	0,82
MDS (P<0.05)	1,5	2,1	ND	1,9	1,8	ND	1,2	0,9	0,9	1,17	ND	5,7
Tratamientos												
Control	44,6 a	44,3 a	43,2	42,7 a	39,8 a	36,7	44,0 a	41,1 a	41,9 ab	40,6 a	40,5	40,8 a
B 300	43,9 a	43,4 a	43,1	43,2 a	40,6 a	38,4	44,5 a	41,1 ab	42,5 a	40,4 a	39,4	40,3 a
B 600	43,8 a	44,0 a	44,5	42,3 a	40,1 a	37,4	45,2 a	42,0 ab	41,5 ab	40,3 a	39,2	40,0 a
B 900	44,6 a	44,8 a	44,5	42,1 a	40,0 a	39,4	44,7 a	40,8 b	41,1 b	39,8 a	39,5	40,0 a

Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente a $P < 0,10$.

Pr>F es el nivel de significación del efecto tratamiento.

ND= no determinado.

moderadas de B foliar. Con la dosis más alta, al igual que en los experimentos 8 y 9 del presente trabajo, Oyínola (2007) observó una caída en el contenido de aceite. Además, en dicho estudio se encontró una asociación positiva entre el contenido de aceite y el tamaño del capítulo y el peso de los granos.

Conclusiones

La escasa respuesta encontrada en este trabajo es indicativa de un buen suministro de B en los suelos de este estudio, de textura media a fina y de tenores medios de carbono orgánico. El estrecho rango entre deficiencia y toxicidad del B hace necesario el análisis de suelo y/o de plantas para decidir su aplicación, y se debería recomendar aplicar B cuando se haya determinado deficiencia de B por medio de análisis o se hayan observado síntomas de deficiencia de boro. En suelos con contenido marginal de B y/o condiciones climáticas que pudieran causar una deficiencia transitoria de B, podría considerarse una aplicación preventiva de B a una dosis que no debería exceder los 340 g ha⁻¹.

Debido a que la frontera agrícola está avanzando hacia tierras marginales con menor tenor de carbono orgánico y texturas más livianas, la probabilidad de respuesta a B puede ser diferente. Por otro lado, en la región agrícola tradicional el aporte de B del suelo puede disminuir debido al manejo más intensivo propio de los sistemas de agricultura continua. Esto también puede cambiar la magnitud y/o la probabilidad de respuesta a B en girasol.

Bibliografía

- Abreu CA, Abreu MF, Van Raij B, Andrade JC. 1994. The extraction of boron from soil by microwave heating for ICP-AES determination. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25: 3321 - 3333.
- Asad A, Blamey PC, Edwards DG. 2003. Effects of boron foliar applications on vegetative and reproductive growth of sunflower. *Annals of Botany*, 92: 565 - 570.
- Blamey FPC, Zollinger RK, Schneiter AA. 1997. Sunflower production and culture. En: Schneiter AA. [Ed.]. *Sunflower Technology and Production*. Madison : ASA. pp. 595 - 670.
- Blamey FPC, Vermeulen WJ, Chapman J. 1980. Variations within sunflower cultivars and inbred lines in leaf composition. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 11: 1067 - 1075.
- Blamey FPC, Mould D, Chapman J. 1979. Critical boron concentrations in plant tissues of two sunflower cultivars. *Agronomy Journal*, 71: 243 - 247.
- Blamey FPC, Mould D, Mathanson K. 1978. Relationship between B deficiency symptoms in sunflower and the B and Ca/B status in plant tissues. *Agronomy Journal*, 70: 376 - 380.
- Blevins DG, Lukaszewski KM. 1998. Boron in plant structure and function. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49: 481 - 500.
- Bonacin GA, Rodrigues TJD, Cruz MCP, Banzatto DA. 2008. Características morfológicas de sementes e produção de girasol em função de boro no solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13: 111 - 116.
- Bradford GR. 1966. Boron. En: Chapman HD. [Ed.]. *Diagnostic criteria for plants and soil*. Riverside : Univ. Calif. pp. 33 - 61.
- Díaz Zorita, M. 2002. Nutrición mineral y fertilización. En: Díaz Zorita M, Duarte GA. [Eds.]. *Manual práctico para el cultivo de girasol*. Buenos Aires : Editorial Hemisferio Sur. pp. 77 - 96.
- DIEA. 2010. Anuario Estadístico Agropecuario 2010 [En línea]. Montevideo : MGAP. Consultado 26 abril 2012. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxp001.aspx?7,5,352,0,5,0,MNU,E:27:6,MNU,;>
- Elrashidi MA, O'Connor GA. 1982. Boron sorption and desorption in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 46: 27 - 31.
- Fassio A, Tojo C, Sawchik J. 1997. Girasol : Algunos factores para el logro de un mejor cultivo. Montevideo : INIA. 63p. (Serie Técnica ; 92).

- Ghanati F, Morita A, Yokota H. 2005. Deposition of suberin in roots of soybean induced by excess boron. *Plant Science*, 168: 397 - 405.
- Ghanati F, Morita A, Yokota H. 2002. Induction of suberin and increase of lignin content by excess boron in tobacco cells. *Soil Science and Plant Nutrition*, 48: 357 - 364.
- Gupta UC. 1993. Factors affecting boron uptake by plants. En: Boron and its role in crop production. Boca Raton : CRC Press. pp 87 - 104.
- Kubota J, Berger JC, Troug E. 1948. Boron movement in soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, 13: 130 - 134.
- Liu P, Wu JZ, Yang YA. 2000. The research development of boron in soil and its effect in plant. *Agro-Environmental Protection*, 19: 119 - 122.
- Lovatt CJ, Bates LM. 1984. Early effects of excess boron on photosynthesis and growth of Cucurbita pepo. *Journal of Experimental Botany*, 35: 297 - 305.
- Marschner H. 1995. Functions of mineral nutrients: Micronutrients. En: Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. London : Academic Press. pp. 379 - 396.
- Nuttall WF, Ukrainetz H, Stewart JWB, Spurr DT. 1987. The effect of nitrogen sulphur and boron on yield and quality of rapeseed. *Canadian Journal of Soil Science*, 67: 545 - 559.
- Oyinlola EY. 2007. Effect of boron fertilizer on yield and oil content of three Sunflower cultivars in the Nigerian Savanna. *Journal of Agronomy*, 6: 421 - 426.
- Ratto S, Diggs A. 1990. Niveles de Boro en suelo de la pradera pampeana, aplicación al cultivo de girasol. *Ciencia del Suelo*, 8: 95 - 100.
- Shorrocks VM. 1997. The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and Soil*, 193: 121 - 148.
- Souza A, Olivera MF, Castiglioni VBR. 2004. O boro na cultura de girassol. *Semina: Ciências Agrárias*, 25: 27 - 34.
- Tanaka M, Fujiwara T. 2007. Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives from plants. *Pflügers Archiv : European Journal of Physiology*, 456: 671-677.
- Wichmann W. 2000. IFA : World Fertilizer Use Manual. Germany : BASF AG. 600p.