

## TOXICIDAD BÓRICA EN LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO TEMPRANO DEL POROTO MUNG (*Vigna radiata* (L.) WILCZEK) CV. CRISTAL

Carolina Zimicz; Alicia Moretto

Centro Austral de Investigaciones Científicas, Ciencias Biológicas (FCEyN-UBA)  
Instituto de Ciencias Polares, Recursos Naturales y Ambiente (ICPA-UNTDF)-CADIC, Ciencias Agrarias (UNS)  
E-mail: carolina.zimicz01@gmail.com

Recibido: 17/01/2019

Aceptado: 16/05/2019

### RESUMEN

El boro es un micronutriente esencial presente en los suelos y en los cursos de agua, ya sea por causas naturales vinculadas a la geología del lugar o por la acción antrópica, cuya deficiencia y toxicidad ocasionan considerables reducciones en el rendimiento de numerosos cultivos. El objetivo de este estudio fue analizar los efectos del boro sobre la germinación y el desarrollo temprano del poroto mung (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) (variedad "Cristal"). Para ello, se realizaron ensayos de germinación con concentraciones crecientes de boro (0 mg.L<sup>-1</sup>, 44 mg.L<sup>-1</sup>, 87 mg.L<sup>-1</sup>, 175 mg.L<sup>-1</sup>, 350 mg.L<sup>-1</sup> y 700 mg.L<sup>-1</sup>) obtenidas al diluir ácido bórico en agua destilada. Se trabajó con 10 semillas por placa y cinco placas por tratamiento (réplicas). Transcurridos 9 días, se seleccionaron 10 plántulas de cada concentración y se las transfirió a macetas hasta completar 25 días de ensayo. Al comparar los efectos del boro sobre la germinación y el crecimiento temprano, se vio que estos fueron más pronunciados en la segunda etapa, observándose una reducción creciente en la longitud de radículas e hipocótilos, alturas y dimensiones foliares. A partir de la concentración de boro de 175 mg.L<sup>-1</sup>, se inhiben completamente parámetros como la altura y el desarrollo de las hojas, es decir se detiene el crecimiento de la porción aérea. Cuando se analiza el índice de crecimiento relativo para la raíz, se observa que, a partir de 44 mg.L<sup>-1</sup>, el boro ejerce un efecto inhibitorio. Finalmente, en la etapa germinativa sólo se vio una disminución en el porcentaje de semillas germinadas, con una reducción del 18% para la concentración de boro de 700 mg.L<sup>-1</sup>. Cuando las concentraciones de boro superen los 44 mg.L<sup>-1</sup>, si bien esperaríamos observar una buena germinación, los efectos negativos que se presentarían en las etapas iniciales del crecimiento y en consecuencia en las etapas posteriores, conducirían a rendimientos y calidad de grano inferiores.

**Palabras clave:** boro, fitotoxicidad, germinación, desarrollo temprano, poroto mung

## BORON TOXICITY ON GERMINATION AND EARLY SEEDLING GROWTH OF MUNG BEAN [*Vigna radiata* (L.) WILCZEK] CV. CRYSTAL.

### SUMMARY

Boron is an essential micronutrient present in soil and water, due to natural causes related with the geology of the site or due to anthropic activities, which deficiency and toxicity can provoke significant yield reductions. The aim of this study was to analyze the effects of boron on germination and early seedling growth of mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) (var. "Cristal"). To achieve this objective, seed germination was evaluated in response to increasing boron contents (0 mg.L<sup>-1</sup>, 44 mg.L<sup>-1</sup>, 87 mg.L<sup>-1</sup>, 175 mg.L<sup>-1</sup>, 350 mg.L<sup>-1</sup> and 700 mg.L<sup>-1</sup>, obtained by diluting boric acid in distilled water). Ten seeds per dish and five dishes per treatment (replicas) were used. After 9 days, we selected 10 seedlings per treatment that were transplanted to pots until completing 25 days. Comparing boron effects on germination and early seedling growth it could be observed that boron effects were more pronounced on the second

stage, with a constant and increasing reduction on radicle and shoot lengths, heights and plant foliar dimensions. Height and leaves growth were completely inhibited at boron concentrations higher than 175 mg.L<sup>-1</sup>, resulting in aerial biomass growth suppression, and relative growth indexes were inhibited at boron concentrations higher than 44 mg.L<sup>-1</sup>. Finally, regarding germination, we only observed a decrease in germination percentages, with reduction of 18% with boron concentrations higher than 700 mg.L<sup>-1</sup>. When boron concentrations exceed 44 mg.L<sup>-1</sup>, although we would expect to observe good germination, the negative effects that would occur in the initial stages of growth and consequently in later ones, would lead to lower grain yields and quality.

**Key words:** boron, phytotoxicity, germination, early growth, mung bean.

## INTRODUCCIÓN

El boro es un micronutriente esencial para las plantas con un límite estrecho entre deficiencia y toxicidad (Reid *et al.*, 2004). Esto hace que su manejo en la agricultura sea una tarea no tan sencilla que requiere de un estricto control. La importancia de este elemento radica en las funciones celulares en las que se encuentra involucrado: metabolismo y transporte de carbohidratos, división celular, elongación, translocación y formación de paredes celulares (Iqbal *et al.*, 2012), lignificación y metabolismo de fenoles (Stangoulis *et al.*, 2001), desarrollo y maduración celular, síntesis proteica y de sustancias de interés, entre otras. Su concentración en los suelos varía entre 10 y 300 mg.kg<sup>-1</sup> dependiendo del tipo de suelo, y de la cantidad de materia orgánica y de lluvia (Ozturk *et al.*, 2010). La existencia de suelos con contenidos tóxicos de este elemento en regiones agrícolas del mundo provoca importantes disminuciones en el rendimiento de los cultivos (Nable *et al.*, 1997). Los principales efectos que las plantas exhiben ante concentraciones tóxicas son: clorosis y necrosis foliar, menor crecimiento de porción aérea y raíces (Princi *et al.*, 2016), poco desarrollo de raíces laterales (Huang y Graham, 1990) y frutos en menor número, tamaño y peso (Nable *et al.*, 1997).

El poroto mung (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) es un cultivo en creciente expansión en la Argentina, con tasas anuales de crecimiento promedio de 142% (Toledo, 2018), siendo Córdoba, Salta y Tucumán las principales pro-

vincias en las que se lo cultiva. En su mayoría, los cultivares que se siembran en nuestro país son de origen australiano. Es considerado una especie sensible al boro, siendo el rango de concentración aceptable en agua de riego de 1-2 mg.L<sup>-1</sup> (McFarland *et al.*, 2014). Tal como ocurre con otros cultivos, distintos estudios reportan para *Vigna radiata* patrones de respuesta a la toxicidad bórica que varían en función del cultivar analizado (Hasnain *et al.*, 2011; Balinado *et al.*, 2019). No obstante, podemos citar efectos en común: disminución en el porcentaje de germinación, altura de plántulas y área foliar (Hasnain *et al.*, 2011), reducción en el contenido de clorofilas y carotenoides y aumento en el contenido de fenoles y proteínas (Seth y Aery, 2014).

Salta, una de las provincias productoras de este cultivo, también posee entre sus principales actividades económicas la explotación y procesamiento de boratos. En el proceso de industrialización del boro, se han contaminado grandes superficies de suelo, aire y aguas que superan los niveles de tolerancia para la mayoría de las especies vegetales (Lomniczi., Musso y Pereyra, 1997). En un estudio realizado en el Valle de Lerma (Salta), Bundschuh (1992) reportó incrementos en las concentraciones de boro de hasta 6,2 mg.L<sup>-1</sup> en aguas subterráneas y de hasta 50 mg.L<sup>-1</sup> en el río Arenales, como consecuencia de aportes antropogénicos. Por su parte, Walter y Justo (2016) reportó concentraciones de boro en un rango de 2,5-3,5 mg.L<sup>-1</sup> en ríos del departamento de Molinos (Salta). En cuanto a su contenido en suelos, existen en la provincia

áreas fuertemente contaminadas, donde funcionaron plantas procesadoras de boratos, en las que la concentración de boro puede alcanzar incluso 985 ppm (Albarracín Franco, 2008).

El objetivo de nuestro estudio en esta primera instancia fue analizar los efectos de concentraciones crecientes de boro sobre la germinación y crecimiento temprano (dos etapas fundamentales para el posterior desarrollo y rendimiento de un cultivo) de la variedad "Cristal" de poroto mung. De este modo, se lograría establecer el potencial impacto que tendría el crecimiento de esta leguminosa en zonas con alto contenido de este elemento, ya sea por motivos de la geología del lugar o por contaminación antrópica (empleo de aguas de riego con elevados tenores, por ejemplo).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo con una variedad comercial de poroto mung (variedad "Cristal", de origen australiano) producida en la provincia de Salta y seis concentraciones de boro (0 mg.L<sup>-1</sup>, 44 mg.L<sup>-1</sup>, 87 mg.L<sup>-1</sup>, 175 mg.L<sup>-1</sup>, 350 mg.L<sup>-1</sup> y 700 mg.L<sup>-1</sup>). Por disolución de ácido bórico en agua destilada, se obtuvo una solución madre de 1000 mg.L<sup>-1</sup> y a partir de esta, por dilución, se obtuvieron las concentraciones del ensayo. Durante el almacenamiento, las semillas se conservaron bajo condiciones adecuadas de temperatura y humedad.

En placas de Petri con discos de papel (80% celulosa, 10% polipropileno, que garantizaron mejores condiciones de humedad), se colocaron 10 semillas por concentración de boro (tratamiento) por placa (con cinco réplicas). Las placas se conservaron en cámara de germinación (a 25 °C ± 1,4 y 41,8% ± 5,2 de humedad, 24 hs luz) durante 9 días. Cada 48 horas se renovaron las placas y discos y se adicionaron 5 ml de solución. Posteriormente, diez plántulas de cada tratamiento fueron trasplantadas a macetas plásticas que contenían un sustrato comercial estéril (terrafertil

para cultivos, libre de boro), continuando con el riego (solución de boro) hasta completar 25 días de ensayo. Del día 1 al día 9 se registraron los siguientes parámetros: inicio de la germinación ( $t_0$ ), tiempo medio en alcanzar 50% de la germinación ( $t_{50}$ ) (Farooq *et al.*, 2005), porcentaje de germinación ([Número de semillas germinadas/ total de semillas] x 100%) y longitud de radículas e hipocótilos; mientras que del día 9 al 25 se midieron la altura de las plántulas y el ancho y largo de las láminas foliares basales (primer par de hojas). A partir de estos datos, se obtuvo la velocidad de germinación (Maguire, 1962), los índices de fitotoxicidad de raíz y tallo (Chou y Lin, 1976) y el índice de crecimiento relativo de raíz (Alvarenga *et al.*, 2007).

Las placas fueron dispuestas siguiendo un diseño en bloques completamente aleatorizados (DBCA), para evitar la incidencia de cualquier posible fluctuación en las condiciones dentro de la cámara de germinación. Para el análisis estadístico se utilizó el software Infostat, realizando para cada variable estudiada un análisis de la varianza (ANOVA), y empleando el test de Tukey para la comparación de medias ( $p=0,05$ ). En aquellos casos en que no se cumplía el supuesto de normalidad de ANOVA (longitud de radículas e hipocótilos e índice de crecimiento relativo de raíz), los datos fueron transformados mediante logaritmo decimal. Cuando la transformación no subsanó esta situación, se aumentó el nivel de significación de la prueba.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las concentraciones evaluadas en este ensayo han tratado de cubrir un amplio rango que se relaciona con los contenidos de boro detectados en distintas áreas de la provincia de Salta, ya sea en suelos o en cursos de agua. Si bien los niveles de boro a los que podría estar sujeto un cultivo estarían más próximos a los niveles máximos reportados en aguas (50 mg.L<sup>-1</sup>), se trató de analizar qué es lo que ocurriría con este cultivo bajo las condiciones extremas citadas

para suelos de zonas más urbanas, en los que han funcionado las industrias borateras. Cabe destacar que en estas zonas, la población intenta, mayormente sin éxito, implantar cultivos o especies ornamentales, empleando estos suelos como sustrato.

## Germinación

El porcentaje de germinación se vio afectado por el contenido de boro presente en la solución de riego ( $F=7,41$ ,  $p=0,0003$ ), con reducciones que sólo fueron significativas para la concentración de  $700 \text{ mg.L}^{-1}$  (18% de reducción). Por el contrario, los parámetros temporales analizados ( $t_0$ ,  $t_{50}$  y velocidad de germinación) parecieran no verse afectados (Cuadro 1). Hasnain *et al.* (2011) detectaron una reducción para la concentración máxima de boro al evaluar la germinación en un rango acotado de concentraciones de este micronutriente (0 a  $20 \text{ mg.L}^{-1}$ ), en discrepancia con nuestros resultados en cuanto a

la concentración de boro a partir de la cual comienza a observarse dicha disminución. Esto puede estar vinculado al hecho de que los cultivos evaluados no son los mismos y es bien sabido que la tolerancia al boro presenta variaciones tanto inter como intraespecíficas.

## Longitud de radículas e hipocótilos, índices de fitotoxicidad y crecimiento relativo

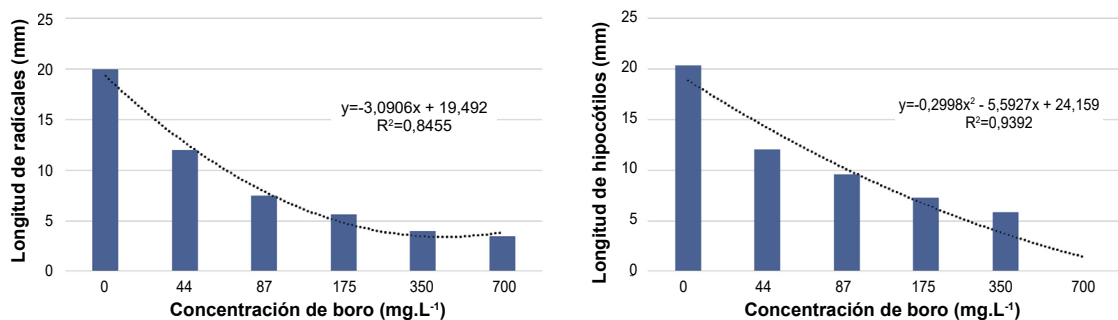
De los resultados presentados en la Figura 1 y el Cuadro 2, se observa que el incremento en el contenido de boro generó una disminución progresiva de la longitud de radículas e hipocótilos ( $F=82,06$ ,  $p<0,0001$ ;  $F=36,84$ ,  $p<0,0001$ ), con reducciones desde 40,2% a 82,9% ( $87$  a  $700 \text{ mgB.L}^{-1}$ ) y 41,08% a 100%, para cada caso.

Los índices de fitotoxicidad son una medida del efecto tóxico que un compuesto tiene sobre

**Cuadro 1.** Porcentajes de germinación y parámetros temporales del proceso germinativo.

[B] ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Germinación (%)	$t_0$	$t_{50}$	Velocidad de Germinación
0	100,00 $\pm$ 0,00 (a)	2,00 $\pm$ 0,00 (a)	3,60 $\pm$ 0,55 (a)	2,82 $\pm$ 0,17 (a)
44	100,00 $\pm$ 0,00 (a)	2,20 $\pm$ 0,45 (a)	3,60 $\pm$ 0,89 (a)	2,65 $\pm$ 0,33 (a)
87	98,00 $\pm$ 4,47 (a)	2,20 $\pm$ 0,45 (a)	3,60 $\pm$ 0,89 (a)	2,67 $\pm$ 0,64 (a)
175	92,00 $\pm$ 8,37 (ab)	2,20 $\pm$ 0,45 (a)	3,80 $\pm$ 0,45 (a)	2,35 $\pm$ 0,26 (a)
350	94,00 $\pm$ 8,94 (a)	2,00 $\pm$ 0,00 (a)	3,20 $\pm$ 0,45 (a)	2,83 $\pm$ 0,45 (a)
700	82,00 $\pm$ 4,47 (b)	2,40 $\pm$ 0,89 (a)	4,00 $\pm$ 1,00 (a)	2,16 $\pm$ 0,22 (a)

Parámetros de germinación evaluados. Se indica valor medio  $\pm$  desvío estándar (DE). Entre paréntesis, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p<0,05$ ).



**Figura 1.** Longitud de radículas e hipocótilos vs concentración de boro. Las barras indican el valor medio para cada concentración. Se aplicó a los datos un ajuste polinómico (línea punteada), del cual se presenta la ecuación y el  $R^2$  correspondiente.

**Cuadro 2.** Datos de longitud de radículas e hipocótilos.

[B] (mg.L <sup>-1</sup> )	longitud de radícula (mm)	longitud de hipocótilo (mm)
0	19,88 ± 9,34 (a)	20,30 ± 12,28 (a)
44	11,89 ± 5,29 (b)	11,96 ± 6,12 (b)
87	7,42 ± 2,45 (c)	9,51 ± 3,56 (bc)
175	5,53 ± 2,43 (cd)	7,23 ± 2,65 (cd)
350	3,93 ± 1,10 (de)	5,79 ± 1,77 (d)
700	3,40 ± 1,14 (e)	0,00 ± 0,00 (e)

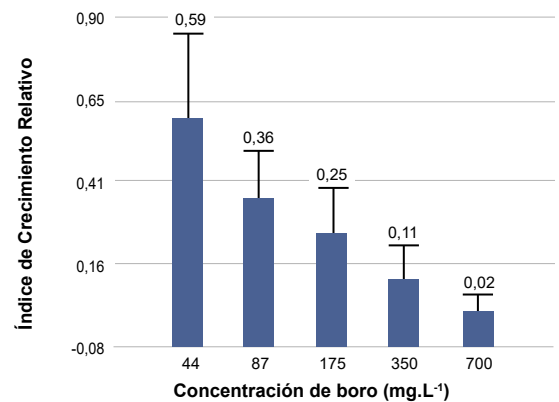
Longitud de radículas e hipocótilos. Se indica valor medio ± DE. Entre paréntesis, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

el crecimiento de las plantas, es decir, a medida que los índices de fitotoxicidad se elevan, aumenta la inhibición del crecimiento y se reducen las longitudes de radículas e hipocótilos, por ejemplo. En este estudio, dichos índices exhibieron un incremento significativo ( $F=101,91$ ,  $p < 0,0001$ ;  $F=74,26$ ,  $p < 0,0001$ ) al aumentar las concentraciones de boro (Figura 2). Tanto para 44 como para 700 mg.L<sup>-1</sup>, se observa que los índices son similares para ambos órganos, mientras que para concentraciones intermedias la toxicidad bórica afecta más a las radículas.

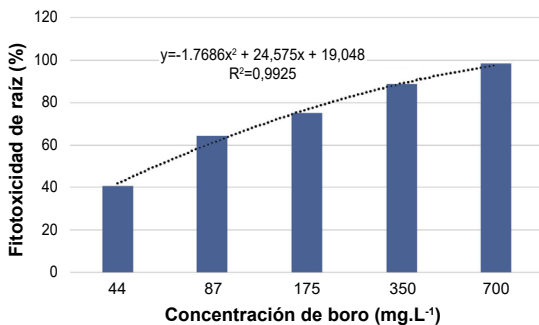
El patrón descrito para longitudes e índices de fitotoxicidad coincide con los resultados de Ozturk *et al.* (2010) para una variedad de cultivos sometidos a concentraciones en el rango de 0-1000 mg.L<sup>-1</sup>.

El índice de crecimiento relativo (ICR) experimentó una disminución progresiva ( $F= 49,09$ ,  $p < 0,0001$ ). Para este índice, los valores entre 0

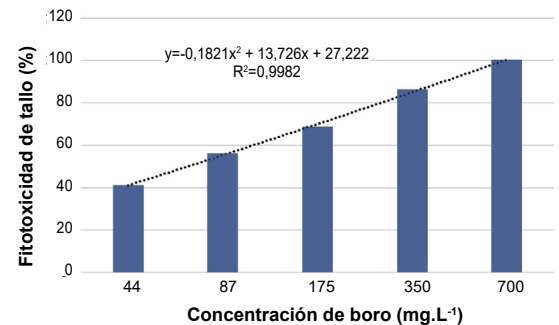
y 0,8 indican inhibición, por encima de 1,2 denotan efectos positivos, mientras que los valores entre 0,8 y 1,2 implican efectos no significativos (Young *et al.*, 2012). Para este cultivar de *Vigna radiata*, todas las concentraciones evaluadas causarían inhibición (Figura 3).



**Figura 3.** Índice de crecimiento relativo vs concentración de boro. Se muestra la media para cada concentración. Las barras verticales representan el DE.



**Figura 2.** Índice de Fitotoxicidad de radículas e hipocótilos vs concentración de boro. Las barras indican el valor medio para cada concentración. Se aplicó a los datos un ajuste polinómico (línea punteada), del cual se presenta la ecuación y el R<sup>2</sup> correspondiente



### Crecimiento temprano

Tanto la altura ( $F=14,37$ ,  $p<0,0001$ ) como las dimensiones foliares ( $F=34,26$ ,  $p<0,0001$ ;  $F=24,70$ ,  $p<0,0001$ ) evaluadas experimentaron una disminución al incrementarse la concentración de boro en la solución adicionada (Cuadro 3). A partir de los 175 mg.L<sup>-1</sup> se detuvo por completo el crecimiento de tallos y hojas. Para la altura, las reducciones fueron de 27,82% (44 mg.L<sup>-1</sup>) a 100% ( $[B] \geq 87$  mg.L<sup>-1</sup>), mientras que para las dimensiones foliares las disminuciones fueron de 68,87% a 100% y de 67,49% a 100%, para ancho y largo respectivamente.

Hasnain *et al.* (2011) evaluaron la respuesta del cultivo (para concentraciones entre 0-20 mg.L<sup>-1</sup>), observando un incremento inicial en la altura para 10 mg.L<sup>-1</sup> con la posterior reducción para 20 mg.L<sup>-1</sup>. Del mismo modo, Sotiropoulos *et al.* (2002) y Niaz *et al.* (2008) reportaron una reducción en el crecimiento en altura de kiwi y algodón respectivamente, en respuesta al aumento en los contenidos de boro. Si bien el estudio de Hasnain *et al.* (2011) no analiza las dimensiones,

foliares, detecta una reducción en el área foliar.

### CONCLUSIONES

Al comparar los efectos de la toxicidad bórica en las etapas ontogenéticas consideradas en este estudio, parece ser que estos son más pronunciados en las fases posteriores a la germinación, afectando de manera notable variables como longitud de radícula e hipocótilo, altura y dimensiones foliares. Cabría esperar que en presencia de altos contenidos de boro ( $[B] \geq 44$  mg.L<sup>-1</sup>) en suelos o aguas de riego, el cultivar "Cristal" de poroto mung aquí evaluado exhiba una germinación exitosa pero un crecimiento posterior deficiente, lo cual podría conducir a una disminución en el establecimiento de plántulas. Del mismo modo, el menor desarrollo de raíces y biomasa aérea registrados, conllevarían a la obtención de bajos rendimientos y muy probablemente a semillas de calidad inferior. Cabe señalar la importancia que tendría evaluar la persistencia del compuesto en los granos y sus implicancias sobre la salud del consumidor.

**Cuadro 3.** Altura y Dimensiones Foliares

	Altura (mm)	Ancho de lámina foliar (mm)	Largo de lámina foliar (mm)
0	115,00 ± 83,23 (a)	9,64 ± 1,08 (a)	22,86 ± 2,98 (a)
44	83,00 ± 40,38 (ab)	3,00 ± 4,93 (b)	7,43 ± 12,28 (b)
87	43,60 ± 41,29 (bc)	1,21 ± 3,09 (b)	3,57 ± 9,08 (b)
175	0,00 ± 0,00 (c)	0,00 ± 0,00 (b)	0,00 ± 0,00 (b)
350	0,00 ± 0,00 (c)	0,00 ± 0,00 (b)	0,00 ± 0,00 (b)
700	0,00 ± 0,00 (c)	0,00 ± 0,00 (b)	0,00 ± 0,00 (b)

Altura y dimensiones foliares. Se indica valor medio ± DE. Entre paréntesis, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p<0,01$ ).

### BIBLIOGRAFÍA

- Albarracín Franco, S. (2008). *Fitorremediación: evaluación del potencial de especies nativas en la remediación de suelos contaminados con boro* (Tesis de grado). Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina.
- Alvarenga, P., Palma, P., Gonçalves, A. P., and Fernandes, R. M. (2007). Evaluation of chemical and ecotoxicological characteristics of biodegradable organic residues for application to agricultural land. *Environment International* 33 (4), 505–513. doi: 10.1016/j.envint.2006.11.006
- Balinado, L., Manzano, R. M. E., Ate, C. M., Fernandez, M., and Chan, M. A. (2019). Early vegetative growth responses of *Vigna radiata* L. (Mungbean) cv NSIC Mg 17 to boron toxicity. *Journal of Nature Studies*, 18 (1), 11-21.

- Bunds Schuh, J. (1992). Boron contamination of the ground- and surface waters of Lerma Valley, Argentina. *Journal of water supply research and technology Aqua*, 41 (1), 13-17.
- Chou, C. H., and Lin, H. J. (1976). Autointoxication mechanism of *Oriza sativa* L., phytotoxic effects of decomposing rice residues in soil. *Journal of Chemical Ecology* 2 (3), 353-367. doi: 10.1007/BF00988282
- Farooq, M., Basra, S. M. A., Ahmad, M., and Hafeez, K. (2005). Thermal hardening: a new seed vigor enhancement tool in rice. *Journal of Integrative Plant Biology* 47 (2), 187-193. doi: 10.1111/j.1744-7909.2005.00031.x
- Hasnain, A., Mahmood, S., Akhtar, S., and Malik S. A. (2011). Tolerance and toxicity levels of boron in mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) cultivars at early growth stages. *Pakistan Journal of Botany*, 43 (2), 1119-1125.
- Huang, C., and Graham, R. D. (1990). Resistance of wheat genotypes to boron toxicity is expressed at the cellular level. *Plant and Soil* 126 (2), 295-300. doi: 10.1007/BF00012832
- Iqbal, S. M., Farooq, A., Nawaz, A. U., and Rehman, A. (2012). Optimizing boron seed priming treatments for improving the germination and early seedling growth of wheat. *Journal of Agriculture & Social Sciences*, 8 (2), 57-61.
- Lomniczi, I., Musso, H., and Pereyra, R. (1997). Assessment of boron concentration in surface and groundwaters in the Lerma and Calchaquí Valleys (Salta province-Argentina). *Anales de la Asociación Química Argentina*, 85, 283-293.
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2, 176-177. doi: 10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x
- McFarland, M. L., Provin, T. L., Redmon, L. A., Boellstorff, D. E., McDonald, A. K., Stein, L. A., and Wherley, B. G. (2014). An index of salinity and boron tolerance of common native and introduced plant species in Texas. *Texas Agrilife extension* 2014, (1), 3-45.
- Nable, R. O., Bañuelos, G. S., and Paull, J. G. (1997). Boron toxicity. *Plant and Soil* 193 (1-2), 181-196. doi: 10.1023/A:1004272227886
- Niaz Ahmed, Muhammad Abid, and Fiaz Ahmad (2008). Boron toxicity in irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 40 (6), 2443-2452.
- Ozturk, M., Sakcali, S., Gucl, S., and Tomboluglu, S. (2010). Boron and Plants. En Ashraf, M., Ozturk, M., Ahmad, M. S. A. (Ed.), *Plant adaptation and phytoremediation* (pp. 275-311). London, New York: Springer.
- Princi, M. P., Lupini, A., Longo, C., Miller, A.J., Sunseri, F., and Abenavoli, M. R. (2016). Long- and short-term effects of boron excess to root form and function in two tomato genotypes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 109, 9-19. doi: 10.1016/j.plaphy.2016.08.023
- Reid, R. J., Hayes, J. E., Post, A., Stangoulis, J. C. R., and Graham, R. D. (2004). A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. *Plant Cell and Environment* 25, 1405-1414. doi: 10.1111/j.1365-3040.2004.01243.x
- Seth, K., and Aery, N. C. (2014). Effect of boron on the contents of chlorophyll, carotenoid, phenol and soluble leaf protein in Mung Bean, *Vigna radiata* (L.) Wilczek. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences* 84 (3), 713-719. doi: 10.1007/s40011-013-0293-4
- Sotiropoulos, T. E., Therios, I. N., Dimassi, K., and Bosabalidis, A. (2002). Nutritional status, growth, CO<sub>2</sub> assimilation and leaf anatomical responses in two kiwifruit species under boron toxicity. *Journal of Plant Nutrition*, 25 (6), 1249-1261. doi: 10.1081/PLN-120004386
- Stangoulis, J. C. R., Reid, R. J., Brown, P. H., and Graham, R. D. (2001). Kinetic analysis of boron transport in Chara. *Planta* 213 (1), 142-146. doi: 10.1007/s004250000484
- Toledo, R.E. (2018). Bases ecofisiológicas para el manejo de poroto mung [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. Libro 50 aniversario de la Facultad de Ciencias Agropecuarias-Universidad Nacional de Córdoba, 50 años, 50 historias.
- Walter, P., y Justo, A. L. (Mayo 2016). Implementación y adopción de sistemas de reducción de contenidos de boro en aguas del valle calchaquí salteño (Argentina) con estudio de impacto económico. En G. Rodríguez (Presidencia), "Antropología y ruralidad: presente, transformaciones y perspectivas". VI Congreso Argentino y Latinoamericano de Antropología Rural, Núcleo Argentino de Antropología Rural (NADAR), Salta, Argentina.
- Young, B. J., Riera, N. I., Beily, M. E., Bres, P. A., Crespo, D. C., and Ronco, A. E. (2012). Toxicity of the effluent from an anaerobic bioreactor treating cereal residues on *Lactuca sativa*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 76 (1), 182-186. doi: 10.1016/j.ecoenv.2011.09.019