



# XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

"Suelos: Desafíos para una producción y desarrollo sustentables"

Corrientes, Prov. de Corrientes, Argentina  
26 al 29 de mayo de 2020



## DIAGNÓSTICO DE LA DISPONIBILIDAD DE BORO PARA SOJA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE SUELO Y TEJIDO FOLIAR

Bustos, A.N.<sup>1</sup>, C. Alvarez<sup>1</sup>, P.A. Barbieri<sup>2,3</sup>, M. Eyherabide<sup>2</sup>, H.R. Sainz Rozas<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Estación Experimental Agropecuaria Manfredi, INTA, Ruta Nacional 9 km 636, (5988), Manfredi, Prov. de Córdoba; <sup>2</sup> Unidad Integrada INTA-FCA, Ruta Provincial 226 km 73.5, (7620), Balcarce, Prov. De Buenos Aires; <sup>3</sup> CONICET; bustos.natalia@inta.gov.ar

### RESUMEN

El boro (B) es un micronutriente limitante en los suelos de la región pampeana argentina (RPA). Sus funciones están relacionadas con el desarrollo de la pared celular, y mantenimiento y función de las membranas celulares. Sin embargo, el límite entre deficiencia y toxicidad es estrecho, por lo que es fundamental un adecuado diagnóstico de su disponibilidad. El objetivo de este trabajo fue comparar la efectividad de dos soluciones extractoras de B del suelo y de la concentración de B en la última hoja ( $CB_h$ ) para la estimación del B disponible en soja. Durante 2018 y 2019 se establecieron 10 ensayos a campo en la provincia de Córdoba, utilizando un diseño experimental en bloques completos aleatorizados (DCBA). Se evaluaron dos tratamientos: T0 y TB (sin agregado de B y con agregado de B) aplicado al follaje en V7. Se tomaron muestras de suelo (0-20 cm) a la siembra y de hoja en R2. El B se extrajo con agua caliente y  $CaCl_2$  (B- $CaCl_2$ ), y con acetato de amonio (B- $AcNH_4$ ). Se ajustaron niveles críticos (NC) utilizando modelos lineales y de arcoseno logaritmo, relacionando el B- $CaCl_2$ , el B- $AcNH_4$  y la  $CB_h$  con el rendimiento relativo (RR). Se detectó efecto significativo de la fertilización sobre el rendimiento en el 70% de los sitios evaluados, siendo el incremento medio de  $0,23 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Los contenidos de B disponible variaron entre  $0,35$  a  $0,75 \text{ mg kg}^{-1}$  para B- $CaCl_2$  y entre  $0,33$  a  $1,11 \text{ mg kg}^{-1}$  para B- $AcNH_4$ . De los extractantes evaluados, únicamente el B- $AcNH_4$  se relacionó con el RR y el NC fue de  $0,61 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $0,54 - 0,70 \text{ mg kg}^{-1}$ ). La  $CB_h$  varió entre  $37,9$  a  $70,64 \text{ mg kg}^{-1}$  y no se relacionó con el RR. Los resultados sugieren que el B- $AcNH_4$  es un indicador eficaz de disponibilidad de B en suelos Haplustoles de Córdoba.

**PALABRAS CLAVE:** micronutriente, fertilización, extractante, trifolío

La producción de soja (*Glycine max*) ocupa el primer lugar en la producción nacional y es tercer país productor, luego de EEUU y Brasil con 55, 120 y 117 millones de toneladas por año, respectivamente (USDA, 2020). Así mismo, a medida que la producción global se incrementa, existe una preocupación creciente sobre cómo las deficiencias de nutrientes en el suelo impactan en el rendimiento (Alloway, 2008), calidad de grano y susceptibilidad a plagas y patógenos (Cakmak I., 2002). Un estudio realizado por la FAO reveló que, la deficiencia de B es un problema que afecta a 8 millones de hectáreas en todo el mundo (Tariq & Mott, 2007). Del mismo modo, en la RPA, el B es el segundo micronutriente deficiente en los suelos agrícolas, luego del zinc. 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); siendo la zona núcleo de producción de soja una de las más afectadas.

El B es un micronutriente esencial y presenta escasa movilidad por floema en la mayoría de las plantas. Entre el 80-90% del B se localiza en las paredes celulares e interviene en la estructura y función de las membranas celulares, desarrollo de nódulos y fijación biológica de

Organizado por:



nitrógeno (Brdar-Jokanović, 2020). En cambio, en el suelo, el B es considerado como uno de los microelementos más móviles y concentraciones ligeramente altas de B pueden volverse tóxicas para las plantas; el rango entre deficiencia y toxicidad es estrecho.

Para la cuantificación de B disponible en el suelo, la metodología de extracción más difundida es mediante el empleo de agua caliente y cloruro de calcio (B-CaCl<sub>2</sub>) (Saha et al., 2017). Actualmente, se ha propuesto la utilidad del acetato de amonio (AcNH<sub>4</sub>) como extractante (B-AcNH<sub>4</sub>), dadas sus ventajas metodológicas y correlación con el B-CaCl<sub>2</sub> (Goldberg et al., 2002). Sin embargo, en trabajos previos se reportó baja capacidad de ambos extractantes para predecir la respuesta al agregado de B en soja, por lo que es necesario continuar con su evaluación en suelos de la RPA. Una herramienta complementaria al análisis de suelo, es el análisis de tejido ya que refleja el estado nutricional de la planta, resultante de la interacción entre el cultivo, el ambiente y su manejo (Correndo & García, 2012). En soja, en el estadio R2 casi el 40% del B se ha acumulado en la planta y más del 50% de ese contenido se concentra en las hojas, registrándose en dicha etapa, la máxima la tasa de acumulación de B en el follaje (Bender et al., 2005). Por lo tanto, es probable que su concentración en hoja funcione como indicador de su disponibilidad en suelo.

Como fue mencionado, el B es el segundo micronutriente deficiente en los suelos de la RPA, sin embargo, existe escasa información sobre la respuesta y el NC de B disponible para el cultivo soja. Los objetivos de este trabajo fueron evaluar el efecto de la fertilización con B sobre el rendimiento medio (Rm) en el cultivo de soja, y analizar y comparar herramientas de diagnóstico de B basadas en el análisis de suelo y planta.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Durante las campañas 2017/2018 y 2018/2019 se llevaron a cabo experimentos a campo en lotes de producción de soja en siembra directa y en seco, en 10 sitios ubicados en el centro oeste de la provincia de Córdoba. Los suelos predominantes fueron Haplustoles énticos y típicos. Se utilizó un DBCA con 4 repeticiones y las unidades experimentales (UE) fueron parcelas de 50 m<sup>2</sup>. En cada sitio se evaluaron 2 tratamientos: T0= testigo (sin aplicación de B) y TB= con aplicación de B. En la primera campaña se utilizaron 225 g B ha<sup>-1</sup>, aplicada de manera foliar entre los estadios V7-V8. En la campaña 2018/2019, la dosis de B se redujo a 100 g B ha<sup>-1</sup>. Todos los experimentos se fertilizaron con 24 kg de P ha<sup>-1</sup> y 16 kg S ha<sup>-1</sup>, dosis calculadas para cubrir los requerimientos del cultivo y no limitar la respuesta.

Previo a la siembra, se tomaron muestras compuestas de suelo de la capa superficial (0-20 cm) y se realizó la determinación de pH (1:2,5), materia orgánica del suelo (MO; Walkey & Black, 1934), fósforo extractable (P-Bray<sup>1</sup>), capacidad de intercambio catiónico (CIC; Schollenberger & Simon 1945), textura (Gee & Bauder, 1986), B-CaCl<sub>2</sub> (Bingham 1982; Mahler *et al.*, 1983) y B-AcNH<sub>4</sub> (Keren, 1996) cuantificados con azometinaH (Watson, 1998). Se realizaron muestreos del último trifolio desarrollado (sin pecíolo) en 30 plantas por UE en R2. La CB<sub>n</sub> se determinó por digestión seca (Lohse, 1982) y se cuantificó con azometinaH (Gaines & Mitchell, 1979). En madurez fisiológica, se determinó el rendimiento en grano y se expresó en Mg ha<sup>-1</sup> con 13,5% de humedad. La respuesta media a la fertilización ( $\Delta$  Rm) se calculó como la diferencia entre el Rm del TB y el T0 para cada sitio, expresado en Mg ha<sup>-1</sup>. Se determinó el rendimiento relativo del cultivo (RR) como el cociente entre el Rm del TB y el Rm del T0 multiplicado por 100.

Para el análisis estadístico se utilizó un modelo lineal y mixto, y las comparaciones se realizaron con un nivel de significancia del 5%. Las correlaciones entre las variables se evaluaron mediante el coeficiente de correlación de Pearson. El NC se determinó relacionando el RR con las variables medidas en suelo y planta ajustando modelos lineales o el del arcoseno-logaritmo (ALCC) (Correndo et al., 2017). Los análisis se efectuaron empleando el software R (R Core Team 2017) mediante la interfaz RStudio (Versión 0.99.903).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de las propiedades edáficas mostró una marcada variabilidad entre los sitios experimentales, principalmente en los contenidos de P-Bray<sup>-1</sup> y B-AcNH<sub>4</sub> (Tabla 1). Los contenidos de B disponible para estos sitios variaron en un rango entre 0,35 a 0,75 mg kg<sup>-1</sup> para B-CaCl<sub>2</sub> y entre 0,33 a 1,11 mg kg<sup>-1</sup> para B-AcNH<sub>4</sub>.

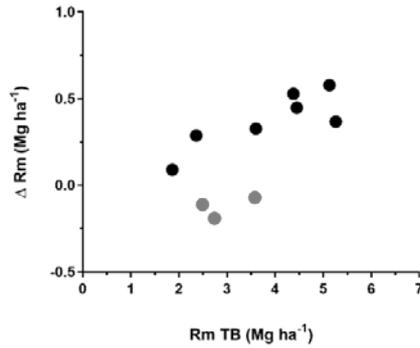
**Tabla 1.** Parámetros edáficos promedio de los sitios experimentales y estadísticos descriptivo media, mínimo(Mín), máximo(Máx) y coeficiente de variación (CV) para las variables pH; materia orgánica (MO); capacidad de intercambio catiónico (CIC); fósforo extractable (P-Bray<sup>-1</sup>); boro extractable con agua caliente y CaCl<sub>2</sub> (B-CaCl<sub>2</sub>); boro extractable con acetato de amonio (B-AcNH<sub>4</sub>) y componentes texturales (arcilla, limo, arena, como %)

Sitio	arcilla	limo	Arena	pH	MO	CIC	P-Bray <sup>-1</sup>	B-CaCl <sub>2</sub>	B-AcNH <sub>4</sub>
			%		%	cmol kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Cap. Garzón	19,65	63,29	17,06	6,45	1,96	17,65	8,19	0,68	0,72
Col. Almada	25,00	59,30	15,70	6,28	2,33	18,99	29,60	0,42	0,95
Laguna Larga	19,20	65,04	15,76	6,48	2,08	16,39	10,96	0,51	0,77
Manfredi	13,70	61,12	25,18	6,23	1,89	15,83	35,02	0,55	0,48
Manfredi-L20	21,20	57,40	21,40	6,32	1,93	19,82	48,57	0,59	0,49
Manfredi-L21	20,85	58,93	20,22	6,14	1,80	18,64	40,61	0,53	0,71
Oncativo	24,55	58,99	16,46	6,32	2,63	20,50	24,68	0,62	0,71
Pilar	17,85	64,22	17,93	6,44	1,95	18,00	7,05	0,47	0,65
Río Tercero	11,65	56,70	31,66	6,19	1,44	16,50	10,98	0,50	0,41
Tres Pozos	20,45	56,21	23,34	5,99	1,84	17,53	20,36	0,50	0,52
<b>Mín</b>	11,65	56,21	15,70	5,92	1,13	14,81	5,33	0,35	0,33
<b>Máx</b>	25,00	65,04	31,36	6,81	2,89	21,95	57,55	0,75	1,11
<b>CV(%)</b>	21,68	5,25	25,00	3,37	19,1	9,94	61,85	18,92	31,07
<b>Media</b>	19,41	60,12	20,47	6,28	1,99	17,99	23,60	0,54	0,65

No se detectó correlación significativa entre los extractantes de B (p-valor= 0,8042) a diferencia de lo encontrado por Goldberg *et al.* (2002), quienes reportaron correlaciones positivas entre ambos y en diferentes profundidades de suelo (r=0,88). Por otra parte, no se determinaron correlaciones entre el B-CaCl<sub>2</sub> y las variables edáficas determinadas. Sin embargo, la concentración de B-AcNH<sub>4</sub> se asoció con la MO (r = 0,39). Esto se debe a que existe una correlación altamente significativa entre la retención de B de las diferentes fracciones disponibles y el contenido de carbono orgánico de los suelos. A su vez, la adsorción de B sobre la MO se reduce a medida que disminuye el pH de la solución; por lo que la extracción utilizando AcNH<sub>4</sub> (pH=5), favorece la desorción de B de los enlaces con los complejos orgánicos y la disolución de algunos componentes del suelo que adsorben B, liberando H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> que luego puede ser cuantificado (Mandal *et al.*, 1993; Acuña A. M., 2005).

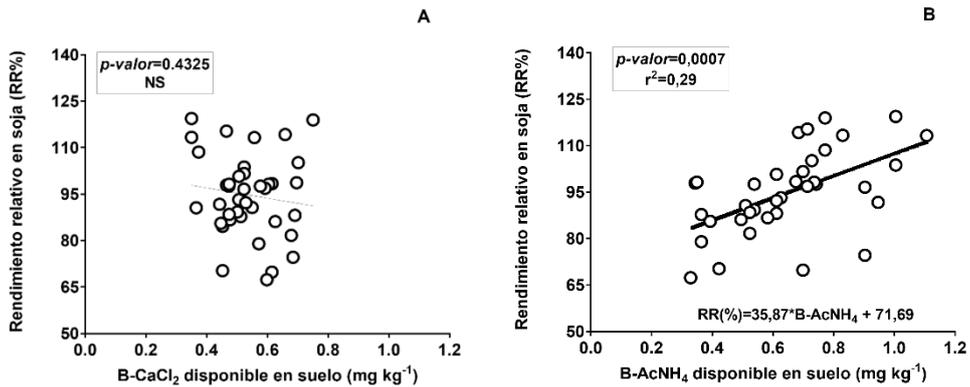
Los rendimientos de los experimentos oscilaron entre 1,5 y 5,59 Mg ha<sup>-1</sup> y se detectó efecto significativo del tratamiento sobre el Rm (p-valor = 0,0037) en el 70% de los sitios evaluados. El Rm del T0 fue de 3,36 Mg ha<sup>-1</sup> y para el TB fue de 3,58 Mg ha<sup>-1</sup>, siendo el incremento promedio del Rm debido al agregado de B de 0,23 Mg ha<sup>-1</sup>.

La respuesta media en rendimiento ( $\Delta$  Rm) fluctuó entre 0,09 y 0,58 Mg ha<sup>-1</sup>; y al analizar la relación entre el Rm del TB y la  $\Delta$  Rm observamos que las mayores diferencias se obtuvieron en los sitios de mayor rendimiento (Fig. 1). Este se debe a que el B es móvil en el suelo y por lo tanto su respuesta está influenciada con el rendimiento de cada sitio o por utilizar variedades con rendimientos superiores

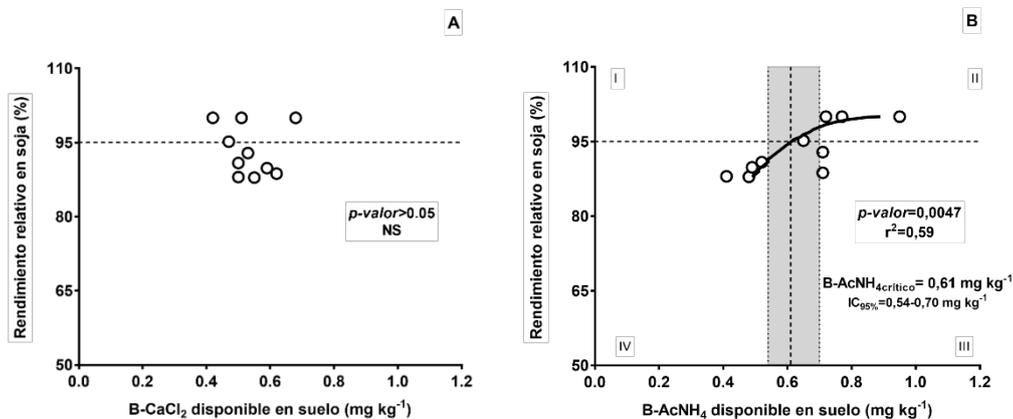


**Figura 1.** Relación entre la respuesta de rendimiento medio de grano de soja en  $\text{Mg ha}^{-1}$  ( $\Delta Rm$ ), y rendimiento medio del tratamiento fertilizado con B en  $\text{Mg ha}^{-1}$  ( $Rm TB$ ) en los 10 sitios evaluados. (●) Círculos llenos color negro representan los sitios con respuesta positiva y (●) círculos llenos color gris los sitios sin respuesta positiva.

Al relacionar el RR con los contenidos de B disponible en suelo para ambos extractantes (Fig. 2 A y B), se detectaron relaciones lineales significativas únicamente con el B- $\text{AcNH}_4$  ( $p\text{-valor}=0,0007$ ). Si bien dicho ajuste fue significativo, su coeficiente de regresión fue bajo ( $r^2=0,29$ ); por lo que se intentó mejorar el ajuste utilizando el modelo de ALCC (Fig. 3 A y B).



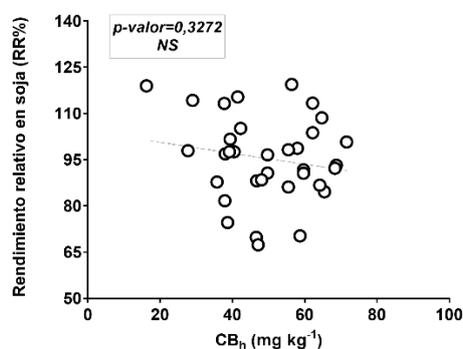
**Figura 2.** Relación con ajuste lineal entre el rendimiento relativo (RR%) y en análisis de boro disponible en 0-20cm de profundidad con (A) boro extractable con  $\text{CaCl}_2$  (B- $\text{CaCl}_2$ ) y (B) boro extractable con acetato de amonio (B- $\text{AcNH}_4$ ).



**Figura 3.** Relación entre el rendimiento relativo (RR%) y en análisis de B disponible en suelo (0-20cm) ajustado con el modelo arcoseno logaritmo. (a) B extractable con agua y  $\text{CaCl}_2$  (B- $\text{CaCl}_2$ ); (b) B extractable con acetato de amonio (B- $\text{AcNH}_4$ ).

Al utilizar el modelo ALLC se logró mejorar el ajuste ( $r^2=0,59$ ), y al igual que lo observado con el ajuste lineal fue significativo solamente para el B-AcNH<sub>4</sub> ( $p$ -valor=0,0047) (Fig. 3 A y B). El 80% de los sitios fueron correctamente diagnosticados (sitios en los cuadrantes positivos II y IV; Fig. 3 B). El valor de B-AcNH<sub>4</sub> calculado para un RR=95% fue de 0,61 mg kg<sup>-1</sup> y su IC95% 0,54 y 0,70 mg kg<sup>-1</sup>. Si bien el valor crítico de B-AcNH<sub>4</sub> no difirió significativamente entre los dos ajustes, el rango de NC obtenido con el ajuste por ALCC, fue determinado con mayor precisión, siendo fundamental para el caso de B, donde el rango entre disponibilidad y toxicidad es particularmente estrecho. En nuestro estudio, 5 de los 10 sitios evaluados presentaron contenidos de B-AcNH<sub>4</sub> menores al NC ajustado, y en 4 de éstos sitios se halló respuesta.

Al estudiar el análisis de tejido foliar, no se encontró correlación significativa entre el RR y la CB<sub>h</sub> (Fig. 4). Los valores promedio de CB<sub>h</sub> fueron de 53,86 mg kg<sup>-1</sup> (rango de 37,91-68,73 mg kg<sup>-1</sup>) en el tratamiento T0 y de 55,79 mg kg<sup>-1</sup> (rango de 34,71-70,64 mg kg<sup>-1</sup>) para el tratamiento TB. El rango de suficiencia de CB<sub>h</sub> propuesto por Bryson et al. (2014) es de 20 a 60 mg kg<sup>-1</sup>, y valores superiores a 63 mg kg<sup>-1</sup> fueron referidos como tóxicos para soja (J. R. Woodruff, 1979).



**Figura 4.** Relación entre el rendimiento relativo en soja (RR%) y la concentración total de B en el último trifolio desarrollado en R2 en mg kg<sup>-1</sup> (CB<sub>h</sub>)

En nuestro trabajo, ninguno de los casos estuvo por debajo de los 20 mg kg<sup>-1</sup> y, sin embargo, hallamos respuesta al agregado de B. El 70,4% por ciento de los casos estuvieron dentro de este rango. Por otro lado, en el 29% de los casos la CB<sub>h</sub> estuvo por encima de los niveles de suficiencia, lo que coincidió en algunas parcelas, con el desarrollo de síntomas de toxicidad y reducción en rendimiento. Por lo tanto, para evaluar el estado de B en la planta de soja, se necesita un enfoque más sensible que el análisis de la CB<sub>h</sub>, ya que, éste análisis, sólo es buen indicador en especies que contienen polialcoholes, encargados de la translocación y removilización de B por floema (Brown and Shelp, 1997). En cambio, para el diagnóstico en especies o cultivares que no presenten dichas moléculas, el análisis de la fracción “más fácilmente extractable” (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> libre o complejos de B solubles) en tejidos jóvenes, puede ser mejor indicador del estado nutricional de la planta. Por último, mientras que, en otros cultivos, se encontraron relaciones entre el B-AcNH<sub>4</sub> y la CB<sub>h</sub> (Goldberg *et al.*, 2002), en nuestro trabajo no se detectó dicha correlación ( $p$ -valor=0.4053). Esto puede deberse a la escasa capacidad del B total en planta para detectar deficiencias.

## CONCLUSIONES

El agregado de B incrementó el Rm del cultivo en el 70% de los sitios, siendo la respuesta media de 0,23 Mg ha<sup>-1</sup> (entre 0,09 y 0,58 Mg ha<sup>-1</sup>). El análisis de B-AcNH<sub>4</sub> como herramienta de diagnóstico es un buen indicador de la disponibilidad de B en el suelo, que se relacionó con la respuesta y permitió determinar un NC de B en soja. Para la región evaluada, suelos con contenidos de B-AcNH<sub>4</sub> menores a 0,61 mg kg<sup>-1</sup> son deficientes para el cultivo de soja y existe probabilidad de respuesta a la fertilización foliar con B. El análisis de la CB<sub>h</sub> no fue un indicador útil para el diagnóstico de deficiencia de B en el cultivo de soja para las condiciones estudiadas.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue cofinanciado por el Laboratorio de Suelos y Agua de INTA EEA Manfredi, el PN SUELOS 1134024 “Estado y dinámica de nutrientes”, el PE de INTA “Intensificación Sustentable de la Agricultura en la Región Pampeana” (Perfil- 2019-PE-E1-1011-001) y por el PICT 2017-0757 del Foncyt.

## BIBLIOGRAFÍA

Acuña, A. M. 2005. Los suelos como fuente de boro para las plantas. *Revista Científica UDO Agrícola*, 5(1), 10-26.

Alloway, B. J. 2008. *Micronutrient deficiencies in global crop production*. Berlin, Germany: Springer Science & Business Media.

Bender, R. R., Haegele, J. W., & Below, F. E. 2015. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern soybean varieties. *Agronomy Journal*, 107(2), 563-573.

Bingham, F. T. 1982. Boron. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Pp 431-447.

Brdar-Jokanović, M. 2020. Boron Toxicity and Deficiency in Agricultural Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4), 1424.

Brown, P. H., & Shelp, B. J. 1997. Boron mobility in plants. *Plant and soil*, 193,85-101.

Cakmak, I. 2002. Plant nutrition research: priorities to meet human needs for food in sustainable ways. *Plant and Soil* 247 (1):3–24.

Correndo, A. A.; Salvagiotti, F.; García, F. O. & Gutiérrez Boem, F. H. 2017. A modification of the arcsine–log calibration curve for analysing soil test value–relative yield relationships. *Crop and Pasture Science*. 68(3): 297-304.

Gaines, T.P. & Mitchell, G.A., 1979. Boron determination in plant tissue by the azomethine H method. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 10(8), pp.1099-1108.

Goldberg, S., Shouse, P. J., Lesch, S. M., Grieve, C. M., Poss, J. A., Forster, H. S., & Suarez, D. L. 2002. Soil boron extractions as indicators of boron content of field-grown crops. *Soil Science*, 167(11), 720-728.

Gupta, S.K., & Steward, J.W.B. 1975. The extraction and determination of plant-available boron in soils. *Schweiz. Landwirtsch. Forsch.*14:153-169.

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. doi:10.2136/sssabookser5.3.c21.

Lohse, G., 1982. Microanalytical azomethine-H method for boron determination in plant tissue. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 13(2), pp.127-134.

Mandal, B., T. K. Adhikari, and D. K. De. 1993. Effect of lime and organic matter application on the availability of added boron in acidic alluvialsoil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24:1925 -1935

R Core Team. 2015. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [en línea] < [www.R-project.org](http://www.R-project.org)>

Ritchie, S. W.; Hanway, J. J. & Thompson, H. E. 1985. *How a soybean plant develops*. Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service.

Saha, A., Mani, P. K., Hazra, G. C., & Mitran, T. 2017. Assessing suitability of different extractants for determining available boron in soil. *Journal of Plant Nutrition*, 40(19), 2651-2661.

Tariq, M., & Mott, C. J. B. 2007. The significance of boron in plant nutrition and environment- A review. *Journal of Agronomy*, 6(1), 1.

USDA, NRCS. 2020. The PLANTS Database (<http://plants.usda.gov>, 3 March 2020). National Plant Data Team, Greensboro, NC 27401-4901 USA.

Walkey, A., & Black, I. A. 1934. Determination of organic matter in soil. *Soil Science*, 37, 549-556.

Watson, M. E. 1998. Boron test. En: *Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region*, North Central Regional Publication No 221 (revised).

Woodruff, J. R. 1979. Soil boron and soybean leaf boron in relation to soybean yield. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 10(6), 941-952.