

**FERTILIZACIÓN CON BORO EN TRIGO, SOJA y SÉSAMO EN SUELOS
DE DIFERENTES TEXTURAS**

ALICIA NOEMI GONZÁLEZ BLANCO

Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy W. Rasche Álvarez

Co-orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos A. Leguizamón R.

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Ingeniera Agrónoma.

Universidad Nacional de Asunción

Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

Área de Suelos y Ordenamiento Territorial

SAN LORENZO – PARAGUAY

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**FERTILIZACIÓN CON BORO EN TRIGO, SOJA y SÉSAMO EN SUELOS
DE DIFERENTES TEXTURAS**

Esta Tesis fue aprobada por la Mesa Examinadora como requisito parcial para optar por el grado de Ingeniera Agrónoma, otorgado por la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción.

Autora: Alicia Noemi González Blanco

Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy W. Rasche Álvarez

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos A. Leguizamón

Miembros del Comité Asesor

Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy W. Rasche Álvarez

Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos A. Leguizamón Rojas

Prof. Ing. Agr. (Dr.) Diego Augusto Fatecha Fois

Ing. Agr. Eugenio González Cáceres

San Lorenzo, 21 de mayo de 2018

DEDICATORIA

A mis padres Graciela y Teodosio

A mis hermanos David, Sofía y Dora^(†)

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen María por guiar cada paso de mi vida, por haberme regalado mi hermosa carrera.

A mis padres y hermanos, por ser mi fortaleza y sostén, por hacer posible este logro con incansable acompañamiento.

A mi Orientador el Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy Walter Rasche Álvarez, por toda su paciencia y acompañamiento durante el trabajo de tesis.

A mi Co-orientador el Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos Andrés Leguizamón Rojas, por la predisposición y apoyo al trabajo de tesis.

A mis profesores del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial de manera especial por su profesionalismo y excelencia en cada una de las áreas, así como a todos los profesores que me brindaron su sabiduría en todos los años de carrera.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico y logístico para la realización de la tesis enmarcada en el proyecto 14-INV-130 “Manejo sostenible de la fertilidad del suelo para la producción de alimentos”.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción por toda la formación profesional recibida, así como el apoyo mediante la utilización de materiales necesarios para el trabajo de campo y laboratorio.

A mis amigas, Alicia Rivas, Leticia Osorio, Julia Argüello y Valeria Paredes, así como a todos aquellos compañeros y compañeras con los que compartí a lo largo de la carrera.

A todas aquellas personas que colaboraron con mi formación profesional y humana dentro y fuera del campus universitario.

FERTILIZACIÓN CON BORO EN TRIGO, SOJA y SÉSAMO EN SUELOS DE DIFERENTES TEXTURAS

Autora: Alicia Noemi González Blanco

Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy Walter Rasche Álvarez

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos Andrés Leguizamón Rojas

RESUMEN

El boro es un micronutriente esencial encargado del alargamiento celular, así como de funciones reproductivas que optimizan el desarrollo de los cultivos, con niveles de deficiencia y toxicidad estrechos. El objetivo de este experimento fue evaluar el efecto de la aplicación de boro sobre algunas características agronómicas de los cultivos de trigo, soja y sésamo en dos suelos de diferentes texturas. El experimento se realizó en macetas de 5 kg de suelo, utilizando el invernadero del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial, FCA-UNA, sede San Lorenzo, Central, en el periodo de febrero 2017 a enero 2018. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo bifactorial, los factores evaluados fueron: dos texturas de suelo (Factor 1) y cinco dosis de boro (Factor 2). Las dosis de boro evaluadas fueron (0, 10, 20, 30 y 40 mg kg⁻¹), con 5 repeticiones. Las clases texturales de suelo utilizadas fueron franco arenosa y arcillosa. Se encontró significancia en el Factor 1, en la variable altura de la planta de trigo con 63,6 y 59,8 cm, sin diferencia significativa en la variable materia seca. En el cultivo de soja no se encontraron diferencias significativas en las variables altura de la planta, materia seca aérea, materia seca de raíces y número de nódulos, sin embargo se obtuvo significancia en el peso de nódulos. Se encontró significancia para las variables altura de planta y materia seca para el cultivo de sésamo, con medias de 75,9 y 83 cm; 30 y 37 g. Con la aplicación de boro hubo diferencias significativas para todas las variables evaluadas en trigo, soja y sésamo, excepto la materia seca acumulada por el cultivo de sésamo. La dosis de B recomendada para los cultivos es de 10 mg kg⁻¹ en trigo y soja, 20 mg kg⁻¹ en sésamo.

Palabras clave: nivel crítico de boro, textura.

FERTILIZAÇÃO COM BORO NO TRIGO, SOJA E GERGILEM EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS

Autora: Alicia Noemi González Blanco
Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy Walter Rasche Alvarez
Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos Andrés Leguizamón Rojas

RESUMO

O boro é um micronutriente essencial responsável pelo alongamento das células, bem como funções reprodutivas que otimizam o desenvolvimento das culturas, com estreitos níveis de deficiência e toxicidade. O objetivo deste experimento foi avaliar o efeito da aplicação de boro em algumas características agrônômicas das culturas de trigo, soja e gergelim em dois solos de diferentes texturas. O experimento foi realizado em vasos de 5 kg de solo, utilizando a casa de vegetação da Área de Solos e Ordenamento do Território, FCA-UNA, com base San Lorenzo, Central, no período de fevereiro de 2017 para Janeiro de 2018. O projeto foi inteiramente casualizado com arranjo bifatorial, os fatores avaliados foram: duas texturas do solo (Fator 1) e cinco doses de boro (Fator 2). As doses de boro avaliadas foram (0, 10, 20, 30 e 40 mg kg⁻¹), com 5 repetições. As classes texturais do solo utilizadas foram franco-arenosa e argilosa. A significância foi encontrada no Fator 1, na variável altura da planta de trigo com 63,6 e 59,8 cm, sem diferença significativa na variável matéria seca. No cultivo de soja não foram encontradas diferenças significativas nas variáveis altura da planta, massa seca aérea, massa seca das raízes e número de nódulos, entretanto, foi obtida significância no peso dos nódulos. Foi encontrada significância para as variáveis altura de plantas e matéria seca para a cultura do gergelim, com médias de 75,9 e 83 cm; 30 e 37 g. Com a aplicação do boro houve diferenças significativas para todas as variáveis avaliadas em trigo, soja e gergelim, exceto a matéria seca acumulada pela cultura do gergelim. A dose recomendada de B para as culturas é de 10 mg kg⁻¹ em trigo e soja, 20 mg kg⁻¹ em gergelim.

Palavras-chave: nível crítico de boro, textura.

FERTILIZATION WITH BORO IN WHEAT, SOYBEAN AND SESAME IN SOILS OF DIFFERENT TEXTURES

Author: Alicia Noemi González Blanco

Adviser: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy Walter Rasche Alvarez

Co- Adviser: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos Andrés Leguizamón Rojas

SUMMARY

Boron is an essential micronutrient responsible for cell lengthening, as well as reproductive functions that optimize the development of crops, with narrow levels of deficiency and toxicity. The objective of this experiment was to evaluate the effect of boron application on some agronomic characteristics of wheat, soybean and sesame crops in two soils of different textures. The experiment was carried out in pots of 5 kg of soil, using the greenhouse of the Soil and Land Management Area, FCA-UNA, San Lorenzo, Central, in the period from February 2017 to January 2018. A completely randomized design was used with a bifactorial arrangement, the factors evaluated were: two soil textures (Factor 1) and five doses of boron (Factor 2). The doses of boron evaluated were (0, 10, 20, 30 and 40 mg kg⁻¹), with 5 repetitions. The soil textural classes used were sandy loam and clayey. Significance was found in Factor 1, in the variable height of the wheat plant with 63.6 and 59.8 cm, without significant difference in the variable dry matter. In the cultivation of soybean no significant differences were found in the variables plant height, aerial dry matter, dry matter of roots and number of nodules, however, significance was obtained in the weight of nodules. Significance was found for the variables plant height and dry matter for the sesame crop, with averages of 75.9 and 83 cm; 30 and 37 g. With the application of boron there were significant differences for all the variables evaluated in wheat, soybean and sesame, except the dry matter accumulated by the sesame crop. The recommended dose of B for crops is 10 mg kg⁻¹ in wheat and soybeans, 20 mg kg⁻¹ in sesame.

Keywords: critical level of boron, texture.

ÍNDICE

| | Página |
|--|-----------|
| DEDICATORIA | iii |
| AGRADECIMIENTOS | iv |
| RESUMEN | v |
| RESUMO..... | vi |
| SUMMARY | vii |
| ÍNDICE..... | viii |
| LISTA DE TABLAS | x |
| LISTA DE FIGURAS..... | xi |
| LISTA DE ANEXOS..... | xii |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1 El boro en el suelo y su disponibilidad para las plantas | 3 |
| 2.2 El boro en la planta | 4 |
| 2.3 Niveles críticos y de toxicidad del boro para las plantas..... | 6 |
| 2.4 Respuesta de cultivos al boro | 7 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS | 10 |
| 3.1 Localización y caracterización del área experimental | 10 |
| 3.2 Diseño experimental y tratamientos | 10 |
| 3.3 Implementación y manejo de la investigación..... | 10 |
| 3.3.1 Suelos utilizados..... | 10 |
| 3.3.2 Siembra y manejo de los cultivos..... | 11 |
| 3.4 Variables de medición | 12 |
| 3.5 Modelo de análisis de los resultados | 13 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 14 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4.1 | Altura de planta y materia seca de trigo | 14 |
| 4.2 | Altura de planta, materia seca aérea, materia seca de raíces, número y peso de nódulos de soja | 16 |
| 4.3 | Altura de planta y materia seca de sésamo | 22 |
| 5. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 25 |
| 6. | REFERENCIAS | 26 |
| 7. | ANEXOS | 31 |

LISTA DE TABLAS

| | Página |
|---|--------|
| 1. Características químicas de los suelos utilizados en el experimento. San Lorenzo, 2017 | 11 |
| 2. Altura de la planta y materia seca del cultivo de trigo por efecto de la aplicación de dosis de boro, en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo. 2017. | 14 |
| 3. Altura de la planta, materia seca aérea (MS Aérea), materia seca de raíces (MS Raíces), número de nódulos y peso de nódulos del cultivo de soja con aplicación de dosis de boro, en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo. 2017 | 17 |
| 4. Altura de la planta y materia seca acumulada por el cultivo de sésamo con aplicación de dosis de boro, en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo. 2018..... | 22 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|--|--------|
| 1. Altura de la planta de trigo con la aplicación de dosis de boro en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2017. | 15 |
| 2. Materia seca acumulada por la planta de trigo con la aplicación de dosis de boro en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2017. | 16 |
| 3. Altura de la planta de soja con la aplicación de dosis de boro en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2017. | 17 |
| 4. Materia seca aérea acumulada por la planta de soja con la aplicación de dosis de boro en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2017. | 19 |
| 5. Materia seca de raíces acumulada por la planta de soja con la aplicación de dosis de boro en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2017. | 20 |
| 6. Número de nódulos de soja con la aplicación de dosis de boro en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2017. | 20 |
| 7. Peso de nódulos de soja con la aplicación de dosis de boro en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2017. | 21 |
| 8. Altura de la planta sésamo con la aplicación de dosis de boro en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018. | 23 |
| 9. Materia seca de la planta sésamo con la aplicación de dosis de boro en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018. | 24 |

LISTA DE ANEXOS

| | Página |
|---|--------|
| 1. Análisis de varianza de la variable altura de la planta de trigo..... | 31 |
| 2. Análisis de varianza de la variable materia seca de la planta de trigo. | 31 |
| 3. Análisis de varianza de la variable altura de la planta de soja. | 31 |
| 4. Análisis de varianza de la variable masa seca de la parte aérea de la planta de soja. | 32 |
| 5. Análisis de varianza de la variable masa seca radical de la planta de soja. | 32 |
| 6. Análisis de varianza de la variable número de nódulos de la planta de soja. | 32 |
| 7. Análisis de varianza de la variable peso de nódulos de la planta de soja. | 33 |
| 8. Análisis de varianza de la variable altura de la planta de sésamo..... | 33 |
| 9. Análisis de varianza de la variable materia seca de la planta de sésamo. | 33 |
| 10. Tabla general de datos de las variables evaluadas con aplicación de dosis de boro en suelos de diferentes texturas en el cultivo de trigo. San Lorenzo, Central, 2017. | 34 |
| 11. Tabla general de datos de las variables evaluadas con aplicación de dosis de boro en suelos de diferentes texturas en el cultivo de soja. San Lorenzo, Central, 2017... | 35 |
| 12. Tabla general de datos de las variables evaluadas con aplicación de dosis de boro en suelos de diferentes texturas en el cultivo de sésamo. San Lorenzo, Central, 2018..... | 36 |
| 13. Ilustraciones de las actividades realizadas y resultados obtenidos durante el período del experimento. | 38 |

1. INTRODUCCIÓN

El boro es uno de los micronutrientes esenciales que las plantas requieren para la formación de todas las células estructurales debido a que el elemento participa en el proceso de alargamiento celular. Necesario para el crecimiento de raíces, en etapa reproductiva, para el desarrollo óptimo del tubo polínico, del polen y viabilidad de la semilla, factores directamente relacionados con el rendimiento de los cultivos. Participa en la fijación biológica de nitrógeno (FBN), y sigue en estudio su participación en otras funciones en la planta (Hänsch y Mendel 2009; Bolaños et al. 2004; González et al. 2016).

La disponibilidad del boro para los distintos cultivos de consumo puede variar de acuerdo a la textura del suelo. En suelos arcillosos el boro se encuentra disponible con mayor facilidad, a diferencia de los suelos arenosos, en que por la falta de cargas sufren pérdidas de boro por lixiviación, cada tipo de suelo por sus características influyen en la disponibilidad del mismo.

Otros factores como el pH y la materia orgánica también inciden en la disponibilidad del boro, los principales son el pH y la materia orgánica (MO), que al ser manejados correctamente permiten el aumento de los niveles del micronutriente en el suelo. En relación al pH, la disponibilidad del B disminuye a pH ácido.

Existe dificultad en definir las dosis adecuadas y eficientes de boro a los distintos cultivos debido a que la franja entre los niveles críticos y tóxicos, es bastante estrecha.

En la actualidad la investigación sobre boro en Paraguay se ha limitado a las

aplicaciones foliares, por ello es necesario directamente determinar los efectos sobre los cultivos aplicando el micronutriente al suelo y ajustar los niveles adecuados, de acuerdo a la necesidad de cada cultivo.

El trabajo tuvo por objetivo general evaluar el efecto de la aplicación de dosis de boro sobre algunas características agronómicas de los cultivos de trigo, soja y sésamo en dos suelos de texturas diferentes. Los objetivos específicos fueron: determinar la altura de planta y materia seca de trigo, soja y sésamo, determinar la cantidad de nódulos, peso de nódulos, y masa seca de raíces en el cultivo de soja por efecto de las dosis de B.

Como hipótesis se plantea que con la aplicación de dosis de boro se obtendrá aumento en la altura y acumulación de materia seca, así como el aumento en el número y peso de nódulos del cultivo de soja. Además de una mayor disponibilidad del elemento en el suelo de textura franco arenosa que en el suelo arcilloso.

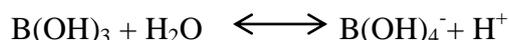
2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El boro en el suelo y su disponibilidad para las plantas

El boro (B) es un elemento esencialmente litófilo (elemento concentrado en minerales del tipo silicatos y posee gran afinidad al oxígeno), encontrándose siempre combinado con el oxígeno con un número de oxidación 3 y en algunos pocos minerales con un número de oxidación 4 (Camargo 1988). Forma parte del grupo de los metaloides, es decir, presenta propiedades intermedias entre metales y no metales, que lo caracteriza por su cualidad semiconductor (Malavé y Carrero 2007).

De acuerdo al material de origen los niveles de boro varían en rocas ígneas de 5 ppm a 10 ppm, y de 3 a más de 300 ppm en rocas sedimentarias. Se encuentran alrededor de 50 ppm de B en la litósfera, según Tiecher (2015) presenta un valor circundante a los 20 mg kg⁻¹ en el suelo. El boro se ve bastante influenciado por los procesos de sedimentación, la fracción disponible del elemento varía entre 0,4 a 5 mg kg⁻¹ (Rivero et al. 2006). Doncel et al. (1996) observaron que de 246 muestras evaluadas en España, 224 muestras (91%) presentaban deficiencia de boro.

El átomo de B es muy pequeño y posee una deficiencia de electrones tal como sucede con el átomo de carbono (Malavé 2005). De acuerdo con Malavé y Carrero (2007) se encuentra principalmente como ácido bórico B(OH)₃ y como anión borato B(OH)₄⁻, según la siguiente ecuación de disociación:



Por debajo de pH 7,0 el boro aparece en el suelo principalmente como B(OH)₃. Apenas encima de ese pH es que la especie B(OH)₄⁻ comienza a aparecer.

La biodisponibilidad de este micronutriente es mayor entre pH 5,5 y 7,5, sin embargo al ocurrir una disminución o aumento de esta franja también disminuye la biodisponibilidad, provocado por las reacciones dependientes del pH. Esto sucede debido a la baja solubilidad que posee el anión borato a pH 7, cuando ocurre una reducción del pH cercano a las raíces el anión borato tiende a convertirse en ácido bórico, su forma disponible para las plantas (Souza et al. 2010).

En sus estudios sobre la adsorción de boro en ácidos húmicos Gu y Lowe (1990) determinaron que solo en suelos con altos niveles de pH y materia orgánica la contribución de los ácidos es considerable, como también la presencia de arcilla y sesquióxidos (unión de 3 átomos de oxígeno a dos átomos de otro elemento como por ejemplo Al_2O_3) reducen la adsorción de B por ácidos húmicos.

Trautmann et al. (2014) relacionando el contenido de agua de un suelo con textura arenosa y la disponibilidad de boro en cultivo de soja, constataron que un potencial mátrico del suelo de hasta $-0,1$ MPa, no fue limitante para la absorción del nutriente por el cultivo, además la aplicación de dosis crecientes de B de $0,32$ mg dm^{-3} a 2 mg dm^{-3} evidenció efecto negativo en el desarrollo del sistema radicular, pero no influyó en el desarrollo de los brotes. La fertilización con boro aumenta el contenido relativo de agua con tensión de humedad de suelo de $-0,1$ MPa.

Rasche et al. (2017) clasificaron la disponibilidad de micronutrientes en el departamento de Itapúa, determinando que solo un 2% de las muestras de B se clasificaron con un nivel alto, el 75% con niveles medios y el 23% de con niveles considerados bajos, desde el punto de vista de la fertilidad química del suelo a base de micronutrientes. Los niveles medios y bajos con posibilidades de respuesta a la fertilización con boro.

2.2 El boro en la planta

Malavé y Carrero (2007) destacan que la esencialidad del boro para los vegetales ha sido muy bien establecida, a diferencia de su papel dentro del

metabolismo de las mismas que no ha sido del todo definido (Bolaños et al. 2004, Tanaka y Fujiwara 2007, Hänsch y Mengel 2009).

Malavé y Carrero (2007); Bolaños et al. (2004) afirman su participación dentro del mantenimiento de las funciones de la membrana celular, como cofactor y en la formación de la pared celular, sostienen que dentro de la membrana celular promueve la actividad de la ATPasa y regula el potencial de la misma. Como cofactor dentro de la fotosíntesis, sin conocer cuál es el proceso específico que cumple, algunos estudios indican a las membranas cloroplásticas como el posible lugar en el que desempeña esta función y que en caso de deficiencia de B se produce una interrupción en el transporte de electrones y ocurre deficiencia de energía.

Por otro lado sostienen que la primera molécula que posee ácido bórico es la ramnogalacturonano II (RGII), un dímero donde el B, a través de un puente borato, se une a dos monómeros de RGII, cuya función es fundamental para el crecimiento de la planta, este dímero se encuentra disuelto en la matriz péctica. En caso de deficiencia de B no existiría dimerización de la RGII por consecuencia tampoco sucedería una correcta expansión de la pared celular primaria y ensamblaje de la pared celular secundaria (Malavé y Carrero 2007, Bolaños et al. 2004).

Yamada (2000) menciona que en caso de deficiencia de B en el metabolismo fenólico y lignificación ocurre acumulación de compuestos fenólicos degradando el Ácido Indolacético (AIA, auxina promotora de crecimiento, floración, otros), formando quinonas tóxicas observándose síntomas tales como inhibición del crecimiento, muerte apical y necrosis.

Furlani et al. (2003) afirman que el boro es de suma importancia para la división celular en los órganos florales y tejidos meristemáticos, la germinación y alargamiento correcto del tubo polínico, fertilidad de las flores masculinas, debido a que la microsporogénesis es afectada, interfiriendo la generación de semillas viables y formación del fruto. Estos autores indican que semillas con déficit del micronutriente promueven la emergencia de plántulas de aspecto anormal, muerte en

las puntas y acortamiento de las raíces lo que provoca un desbalance entre el crecimiento de la zona radicular y la parte aérea

Bolaños et al. (2004) señalan la importancia del boro para la nodulación en las raíces de las leguminosas para el correcto establecimiento simbiótico de la planta y la bacteria. En este caso, entre el *Rhizobium* y la raíz de la leguminosa, el boro funciona como activador del gen de nodulación mediante exudados, específicamente glicoproteínas, que expulsan las raíces a las superficies celulares de los rizobios, dando lugar al inicio de los nódulos vía el hilo de infección. Por tanto tiene injerencia sobre la fijación de nitrógeno atmosférico, debido a que el B dentro de la planta induce el establecimiento del bacteroide, encargado de la función fijadora, mediante la orientación de las glicoproteínas.

2.3 Niveles críticos y de toxicidad del boro para las plantas

En un experimento realizado por Souza et al. (2007) constataron que con dosis de B (0, 2, 4, 6 y 12 mg dm⁻³) en diez suelos del estado Pernambuco, Brasil, en plantas de maíz, los niveles críticos y tóxicos en el suelo variaron de 0,4 a 2,3 mg de B kg⁻¹ y de 1,8 a 8,3 mg de B kg⁻¹, respectivamente. En el tejido de las plantas de maíz los niveles críticos variaron de 13,8 a 126,6 mg kg⁻¹, en cuanto que los tenores tóxicos fueron entre 43,3 y 372,2 mg kg⁻¹.

Los mismos autores verificaron que el aumento en el contenido de arcilla y materia orgánica, afectaron negativamente la disponibilidad del elemento en el suelo con el extractor HCl 0,05 mol L⁻¹ y los tenores de B en las hojas. Suelos de textura arenosa, con bajo tenor de materia orgánica, favorecen la disponibilidad del micronutriente, por lo tanto, las plantas con mayor nivel de B en el tejido vegetal mostraron síntomas más graves de toxicidad.

Por su parte según Santos et al. (2004) mencionan que el rendimiento de la alfalfa cv. criolla fue afectado por la concentración de boro en la solución nutritiva, las concentraciones fueron de 0; 0,0625; 0,125; 0,25; 0,50; 1,00 y 2,00 mg L⁻¹. A una concentración menor de 0,1 mg de B L⁻¹ de solución, se observó una muy baja

acumulación de materia seca, esta aumentó de forma directa conforme aumentaba la concentración de B en la solución nutritiva de entre 0,025 a 2 mg L⁻¹, inclusive a niveles mayores. Esto evidenció la alta concentración de boro en las leguminosas, siendo estos equivalentes a 109 mg kg⁻¹ en las hojas a una concentración de 1,62 mg L⁻¹ y 66 mg kg⁻¹ en el tallo a una concentración de 1,53 mg L⁻¹.

Fageria (2000) comprobó el requerimiento de B de diferentes cultivos. El mismo estableció de menor a mayor el siguiente orden arroz, trigo, poroto, soja y maíz, que evidencia la mayor necesidad del maíz por tener disponible el elemento. Las dosis de boro que permitieron la máxima producción de materia seca oscilaron entre los 0,4 y 4,7 mg B kg⁻¹ de suelo, en los cultivos mencionados; para los mismos cultivos las dosis tóxicas se encuentran en un rango de 3 y 8,7 mg B por kg⁻¹ de suelo.

2.4 Respuesta de cultivos al boro

Furlani et al. (2001) sostienen que para mejorar la eficiencia de la utilización de micronutrientes debe ser tomada en cuenta la variedad del cultivo, por lo cual fueron probadas cuatro variedades de soja (IAC-1, IAC-8, IAC-15 e IAC-17) con cinco dosis de boro (0,0; 0,05; 0,20; 0,80 y 2,00 mg B dm⁻³). La variedad IAC-1 se mostró como la más susceptible a la deficiencia y toxicidad, mientras que la variedad IAC-17 fue más tolerante.

Por otro lado, los límites de contenido de B en las hojas dependían de la variedad, los mismos fueron de entre 25 y 30 mg kg⁻¹ para la deficiencia y un tenor ligeramente menor a 83 mg kg⁻¹ para la toxicidad. Las variedades con mayor eficiencia de absorción fueron la IAC-8 y IAC-15, afirman también que los nutrientes P, K, Ca y Mg en las hojas no presentaron interacción con el boro, tampoco variaron entre dosis desde 0,05 hasta 2,0 mg L⁻¹ B (Furlani et al. 2001).

Brunes et al. (2015) aplicando boro al suelo en trigo, combinaron estadios de aplicación y dosis (0, 1, 2, 3, 4 y 5 kg de B ha⁻¹), antes de la siembra y en el

macollaje, siendo la fuente utilizada el tetraborato de sodio o bórax con un 11,5% de B. Observaron que la aplicación en la siembra, no afectó la germinación de trigo ni el número de semillas por plantas. Al aumentar la dosis, se incrementó el nivel de boro en la hoja, siendo este de 28 g kg^{-1} en siembra, sin embargo, aplicado en macollaje el nivel fue de $54,2 \text{ g kg}^{-1}$.

Así también la producción de granos aumentó cuadráticamente con una dosis de máxima eficiencia de $2,49 \text{ kg de B ha}^{-1}$ aplicado en la siembra con una producción de 64,5 semillas por planta, en tanto no presentó diferencias significativas al aplicar B en el estadio de macollaje (Brunes et al. 2015).

Pegoraro et al. (2008) promediando dos temporadas de evaluación de producción de materia seca del cultivo de soja, en suelos de texturas arenosa, media y arcillosa, con dosis crecientes de B (0; 1,5; 3; 6; 9 y 15 mg dm^{-3}) correlacionaron la cantidad de B presente en el suelo y en la planta, con dos extractores H_2O y CaCl_2 . Verificaron que aumenta la absorción de las plantas a medida que las dosis de B aumentan, a partir de $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$, en contrasentido ocurre una reducción en la producción de materia seca de la parte aérea en las tres texturas de suelo estudiadas. La planta de soja extrajo mayor cantidad de boro del suelo arenoso, seguido el suelo de textura media y por último el arcilloso, ambos métodos de determinación de B arrojaron resultados semejantes.

Aguayo et al. (2015) evaluando la efectividad de la fertilización foliar con dosis de 2,8; 3,7; 4,6; 5,6; 6,5; 7,4; 8,3; 9,3 y $10,2 \text{ g ha}^{-1}$ de B aplicados en la floración, en el cultivo de soja observaron que el número de vainas, el rendimiento y peso de 1.000 granos, aumentaron con la aplicación de B foliar, sin afectar la altura de las plantas de soja. Además, recomendaron la utilización de dosis más elevadas a las sugeridas por el fabricante del producto ($5,55 \text{ g ha}^{-1}$), considerando de que aún no se llegó al rendimiento máximo de granos.

Brunes et al. (2015) sostienen que la deficiencia de boro en la planta puede afectar la fertilidad de las flores de trigo induciendo a menor producción de granos.

La fertilización foliar puede ser una buena alternativa para los micronutrientes como el boro, cuando el mismo posee bajos niveles en el suelo (Musskopf y Bier 2010).

Musskopf y Bier (2010) evaluando la aplicación de dosis de boro y calcio vía foliar, en estadio R1 y R3 del cultivo de soja constataron respuesta cuadrática en el número de vainas por plantas, siendo la mejor dosis de 1 kg de B ha⁻¹, sin embargo, no observaron alteración en el número de granos por vainas de soja por efecto de la aplicación de boro.

Según Favaretto et al. (2007) luego de recrear un perfil de suelo ácido de 60 cm de profundidad determinó que el boro inhibe la toxicidad del aluminio, sin afectar la longitud de las raíces además de aumentar el crecimiento de las raíces por debajo de los 20 cm de profundidad.

Según Farooq et al. (2012) el rendimiento del trigo, garbanzo y lentejas puede reducirse notoriamente en caso de deficiencia de B. También constataron que con la aplicación de 100 mg de Bórax kg⁻¹ de semillas de *Vigna unguiculata* o frijol caupí el peso de la vaina aumentó un 37,25% respecto al testigo, afirman además que con aplicación de 0,5 a 2 g kg⁻¹ de boro a las semillas de arroz, aumenta el porcentaje de germinación.

Fageria (2000) comprobó que el boro influye en la producción de materia seca de la parte aérea y de las raíces, así como en la longitud de las raíces de los cultivos de arroz, frijol, maíz, soja y trigo, la respuesta varía de acuerdo al cultivo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y caracterización del área experimental

Esta investigación constituye parte del Proyecto 14-INV-130 “Manejo sostenible de la fertilidad del suelo para la producción de alimentos”, financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). La misma se realizó en invernadero, localizado en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, en la ciudad de San Lorenzo, Departamento Central.

3.2 Diseño experimental y tratamientos

El trabajo se implementó en un diseño experimental completamente al azar en un esquema bifactorial, donde el factor 1 consistió en dos texturas de suelo, un Rhodic Kandiudox (Arcilloso) y un Rhodic Paleudult (Franco arenoso); el factor 2 consistió en cinco dosis de boro (0, 10, 20, 30 y 40 mg de B kg⁻¹ de suelo) con cinco repeticiones, totalizando 50 unidades experimentales. Se evaluaron tres cultivos (trigo, soja, sésamo). La fuente de boro utilizada fue el tetraborato de sodio (Bórax) con 11,5% de B, aplicado en vez única antes de la implantación del primer cultivo (trigo), se evaluó el efecto residual en los cultivos de soja y sésamo.

3.3 Implementación y manejo de la investigación

3.3.1 Suelos utilizados

Los suelos utilizados fueron colectados de la camada 0-20 cm de dos texturas de suelo, uno franco arenoso, colectado en el distrito de San Lorenzo

clasificado como Rhodic Paleudult, y un suelo arcilloso clasificado como Rhodic Kandiudox, extraído del distrito de Katueté, Canindeyú. El primero se describe como: suelo mineral, con horizonte iluvial de arcillas y baja saturación de bases, buena aireación y permeabilidad, con poca plasticidad y pegajosidad, además de una buena retención de agua en las capas más profundas. El suelo arcilloso que se caracteriza por ser intemperizado y de baja fertilidad, con buen nivel de humedad durante el año, con textura más gruesa en la superficie, de color rojo oscuro (López et al. 1995).

Tabla 1. Características químicas de los suelos utilizados en el experimento. San Lorenzo, 2017

| Análisis de suelo | pH | M.O. % | P mg kg ⁻¹ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | cmol _c kg ⁻¹ | | | Clase Textural |
|-------------------|-----|-----------|--------------------------|------------------|------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|----------------|
| | | | | | | K ⁺ | Na ⁺ | Al ⁺⁺³ +H ⁺ | |
| Katueté | 4,5 | 2,66 | 0,19 | 0,38 | 0,45 | 0,04 | 0,00 | 1,25 | Arcillosa |
| San Lorenzo | 5,2 | 0,42 | 6,3 | 0,43 | 0,18 | 0,09 | 0,01 | 0,87 | Franco arenosa |

3.3.2 Siembra y manejo de los cultivos

Se utilizaron macetas de 5 kg, cargadas con suelo tamizado con tamiz de 4 mm, encalado y con aplicación de N en el trigo y sésamo, además se aplicó P y K. Luego se agregaron las dosis de B de acuerdo a cada tratamiento, este se aplicó solo en el primer cultivo (trigo), observándose su efecto residual en los demás, soja y sésamo, respectivamente.

Se esperó una semana, para que el B reaccione con el suelo, y se sembraron 8 semillas de trigo por maceta, correspondiente al cultivo 1. Se dejaron cinco plantas por maceta y se cosecharon a los 73 días después de la siembra. Las macetas fueron regadas diariamente y se aplicó nitrógeno (0,6 g maceta⁻¹) diluido en 5 L de agua, se distribuyó en 100 ml por cada maceta, cada 10 días.

Luego de la cosecha del primer cultivo (trigo), se realizó la siembra de 10 semillas de soja por maceta, inoculadas con *Bradyrhizobium japonicum*,

posteriormente se dejaron seis plantas por maceta y fueron cosechadas a los 61 días después de la siembra, también fueron regadas periódicamente. Al finalizar la cosecha del segundo cultivo se procedió a la siembra del tercer y último cultivo, correspondiente al sésamo, con 10 semillas por maceta, se dejaron seis plantas en cada una, la cosecha se realizó a los 60 días después de la siembra. Se realizó el mismo procedimiento de aplicación de N que en el trigo. Los tres cultivos fueron cosechados en etapa de floración.

Ante el ataque de *Spodóptera frugiperda* en los tres cultivos implantados se aplicó Betacyfluthrin y Clorpirifós, 1cm^{-3} por cada dos litros de agua, aplicado con un atomizador pequeño. Se realizó dos aplicaciones en el cultivo de trigo, una aplicación en los cultivos de soja y sésamo.

3.4 Variables de medición

Altura de la planta: se midió la altura de todas las plantas de cada unidad experimental con una cinta métrica, desde la base hasta el ápice de la planta, los resultados fueron promediados y expresados en centímetros. La medición se realizó al momento de la cosecha para determinar la materia seca, a los 73 días (trigo), a los 61 días (soja) y a los 60 días (sésamo), luego del corte de las mismas.

Materia seca de la parte aérea y de raíces: se cortaron todas las plantas (trigo, soja y sésamo) de cada unidad experimental al ras del suelo, las cuales fueron llevadas a estufa a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 72 horas, posteriormente fueron pesadas. En la soja fue cosechada la parte de raíces, y determinado su peso. Los resultados de la materia seca se expresaron en g maceta^{-1} .

Número y peso de nódulos: en el cultivo de soja los nódulos fueron separados de las raíces al momento de la cosecha e inmediatamente colocados en 20 mL de alcohol al 70% en frascos de plástico, se procedió al conteo y posterior pesaje de los mismos, los resultados se expresaron en número de nódulos y $\text{g de nódulos maceta}^{-1}$.

3.5 Modelo de análisis de los resultados

Una vez obtenidos los datos, fueron sometidos a análisis de varianza (ANAVA) según modelo factorial, para determinar si hubo o no diferencia significativa entre los tratamientos aplicados. Con aquellos tratamientos que presentaron diferencias significativas se procedió a realizar la comparación de medias con el test de Tukey al 5% de probabilidad de error y análisis de regresión. Los resultados fueron presentados e interpretados a través de figuras y tablas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Altura de planta y materia seca de trigo

En la Tabla 2 se presentan los valores obtenidos de las variables altura de la planta y materia seca de trigo en los dos tipos de suelos, donde se observa diferencia significativa en la altura pero no en la producción de materia seca por efecto de la textura del suelo. Por otro lado, las dosis de B afectaron significativamente la altura del trigo y materia seca (Figura 1 y 2). No se encontró interacción entre dosis y textura del suelo para ambas variables (Anexos 1 y 2).

Tabla 2. Altura de la planta y materia seca del cultivo de trigo por efecto de la aplicación de dosis de boro, en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo. 2017.

| Textura del suelo (Factor 1) | Altura de la planta (cm) | Materia seca (g maceta ⁻¹) |
|---------------------------------|--------------------------|--|
| Franco Arenosa | 63,56 a | 8,82 ^{ns} |
| Arcillosa | 59,84 b | 9,22 |
| Media | 61,7 | 9,02 |
| CV (%) | 6,3 | 12,37 |

CV (%): Coeficiente de variación. ns: no significativas. Medias seguidas por diferentes letras en las columnas difieren estadísticamente entre sí por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

La altura del trigo fue superior en el suelo franco arenoso alcanzando un promedio de 3,72 cm superior al obtenido en el suelo arcilloso.

En relación al efecto de las dosis de boro, se observa que la altura de planta de trigo, se ajustó a una ecuación cuadrática, (Altura de planta = 63,902 + 0,3332 dosis de B – 0,0148 (dosis de B)²); con coeficiente de determinación R²=0,99. La

máxima altura de planta se obtiene con la aplicación de 11,3 mg de B kg⁻¹ de suelo, alcanzando 65,8 cm, a partir del cual empieza a disminuir la altura, posiblemente por efectos de toxicidad por exceso de boro (Figura 1).

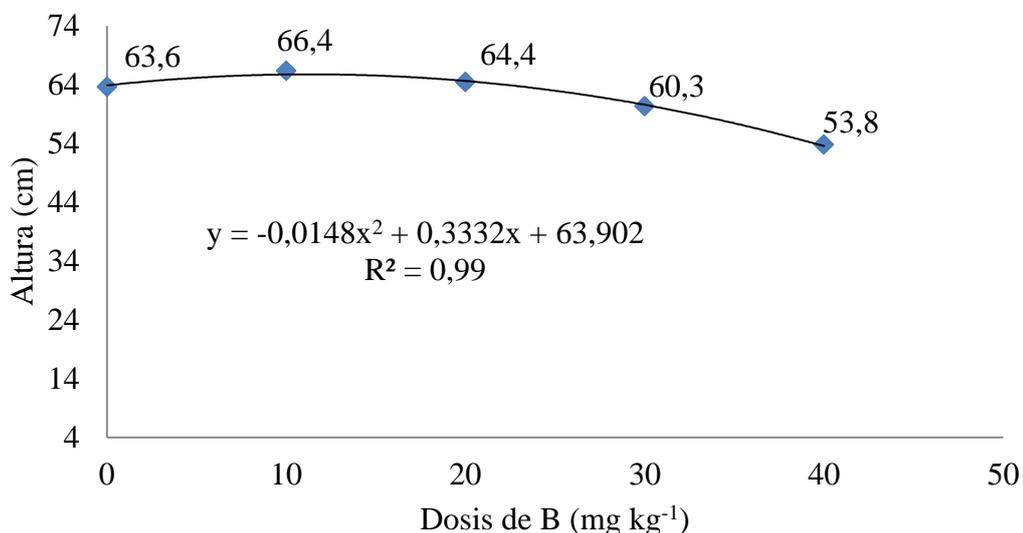


Figura 1. Altura de la planta de trigo con la aplicación de dosis de boro en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2017.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Furlani et al. (2003) quienes al comparar cuatro variedades de trigo (IAC 24, IAC 60, IAC 287 y IAC 289), obtuvieron mayor altura en la variedad IAC 287 aplicando 0,2 mg B L⁻¹ de solución, con 95 cm de altura. Lata et al. (2015) por su parte observaron gran reducción en la altura de planta mediante efectos combinados de exceso de boro y la salinidad en las variedades de trigo.

En tanto los promedios de materia seca oscilaron entre 13,15 g obtenidos en el testigo y 9,62 g en el T5 (Figura 2), observándose una disminución de la misma a medida que aumentó la dosis de boro, dándose la menor acumulación con la dosis de 34,5 mg de B kg⁻¹ de suelo, siendo el posible motivo de disminución, la toxicidad del B.

Resultados similares obtuvieron Ashagre et al. (2014) quienes observaron la influencia del boro en la germinación y crecimiento de las plántulas de trigo, cuya dosis con mejor efecto sobre la acumulación de peso seco de plántulas y el menor

índice de toxicidad de brotes fue de 0,25 mg B L⁻¹ de solución, determinando que a concentraciones mayores (0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 y 16 mg de B por L⁻¹ de solución) existe toxicidad del elemento para el cultivo.

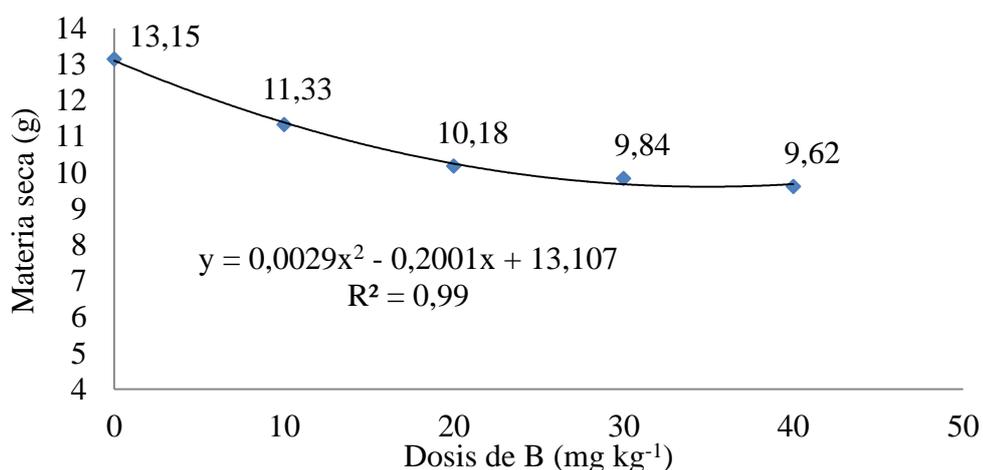


Figura 2. Materia seca acumulada por la planta de trigo con la aplicación de dosis de boro en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2017.

Por su parte Fageria (2000) evaluando niveles críticos y tóxicos de boro en la producción de arroz, poroto, maíz, soja y trigo, en un suelo de textura arcillosa, constató que los tratamientos resultaron significativos para los demás cultivos pero no para la acumulación de materia seca aérea y radicular del cultivo de trigo.

4.2 Altura de planta, materia seca aérea, materia seca de raíces, número y peso de nódulos de soja

Los valores obtenidos de las variables altura, materia seca de la parte aérea, materia seca de raíces, número y peso de nódulos de soja, obtenidos bajo los dos tipos de suelos se presentan en la Tabla 3. Con excepción del peso de nódulos, donde el número de nódulos fue superior en el suelo franco arenoso (2,49 g de nódulos) comparado con el suelo arcilloso (2,18 g de nódulos), no hubo diferencia significativa entre las variables por efecto de la textura del suelo, sin interacción entre dosis de B y textura del suelo (Anexo 3 al 7).

Tabla 3. Altura de la planta, materia seca aérea (MS Aérea), materia seca de raíces (MS Raíces), número de nódulos y peso de nódulos del cultivo de soja con aplicación de dosis de boro, en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo. 2017

| Textura del suelo (Factor 1) | Altura (cm) | MS Aérea (g maceta ⁻¹) | MS Raíces (g maceta ⁻¹) | Número nódulos (maceta ⁻¹) | Peso nódulos (g maceta ⁻¹) |
|------------------------------|---------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| Franco Arenosa | 57,46 ^{ns} | 4,44 ^{ns} | 1,77 ^{ns} | 10,65 ^{ns} | 2,49 a |
| Arcillosa | 54,33 | 4,21 | 1,75 | 9,98 | 2,18 b |
| Media | 55,89 | 4,32 | 1,76 | 10,31 | 2,33 |
| CV (%) | 11,37 | 12,52 | 11,18 | 19,85 | 17,18 |

CV (%): Coeficiente de variación. ns: Diferencias no significativas. Medias seguidas por diferentes letras en las columnas difieren estadísticamente entre sí por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Al contrario del presente experimento Souza et al. (2010) realizando estudios sobre el pH rizosférico y no rizosférico en un suelo arcilloso y otro arenoso, y la influencia de este en la absorción de B y otros micronutrientes, no hallaron diferencias significativas en el peso de nódulos de soja cosechada a los 54 días después de la emergencia.

La altura de la planta de soja se ajustó a la ecuación $\bar{y} = 57,748 + 0,2044$ dosis de B $- 0,0099$ (dosis de B)²; con $R^2=0,86$. La máxima altura de planta se obtiene con la aplicación de 10,3 mg de B kg⁻¹ de suelo, alcanzando 58,8 cm, a partir del cual empieza a disminuir (Figura 3), posiblemente por efectos de toxicidad a concentraciones mayores a la dosis de boro mencionada.

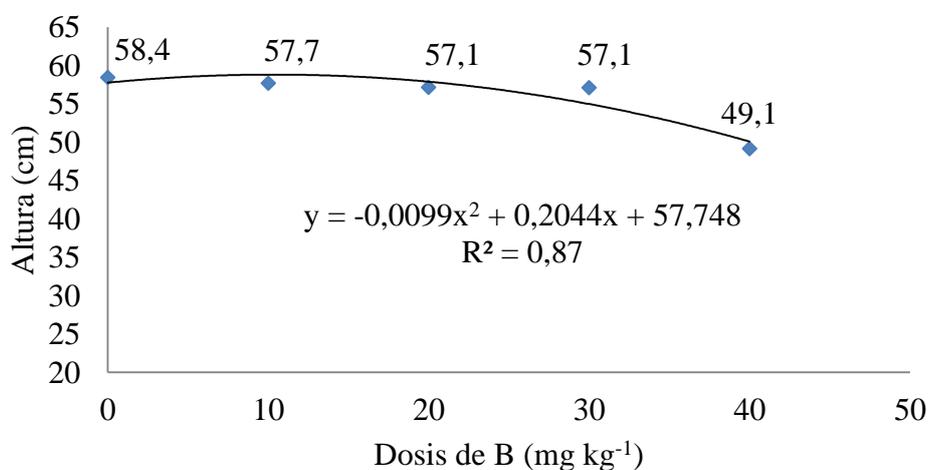


Figura 3. Altura de la planta de soja con la aplicación de dosis de boro en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2017.

Del mismo modo Kappes et al. (2008) verificaron la significancia de las dosis de boro aplicadas (0, 100, 200, 300 y 400 g B ha⁻¹) en distintos estados fenológicos de la soja, en un suelo arcilloso, cuyo mejor tratamiento para la variable altura fue el de 200 g B ha⁻¹ en los momentos V5 y V9, debido a que el cultivo aprovecha mejor el elemento durante la acumulación de materia seca.

También Raimundi et al. (2013) mediante distintos métodos de aplicación de 10 kg de B ha⁻¹ al suelo en el cultivo de soja en un suelo arcilloso de Alto Paraná, observaron que el testigo obtuvo mayor altura, con 122 cm, en comparación a los que contaron con fertilización con boro, que en promedio alcanzaron 106 cm de altura.

A diferencia de los resultados obtenidos por el presente experimento Aguayo et al. (2015) en un suelo arcilloso, de Alto Paraná, aplicaron dosis de 2,8; 3,7; 4,6; 5,6; 6,5; 7,4; 8,3; 9,3 y 10,2 g ha⁻¹ de B en etapa de floración, tratamientos que no produjeron respuestas significativas; se observaron de igual modo, síntomas de toxicidad con las dosis más elevadas, representada por la tendencia de disminución de la altura que varió de 57,0 a 60,3 cm. Gomes et al. (2017) tampoco obtuvieron significancia, solo diferencias entre las variedades de soja comparadas, al aplicar dosis de B.

Con respecto a la masa seca aérea de la soja, se observa incremento de la misma con la aplicación de dosis de boro, ajustándose a la siguiente ecuación: $\text{Materia seca aérea} = 4,4809 + 0,0218 \text{ dosis de B} - 0,001 (\text{dosis de B})^2$; con $R^2=0,90$. La máxima acumulación de materia seca aérea se obtendría con la aplicación de 10,9 mg de B kg⁻¹ de suelo, alcanzando 4,6 g, a partir del cual empieza a disminuir la acumulación de la misma, posiblemente por efectos de toxicidad por exceso de boro (Figura 4).

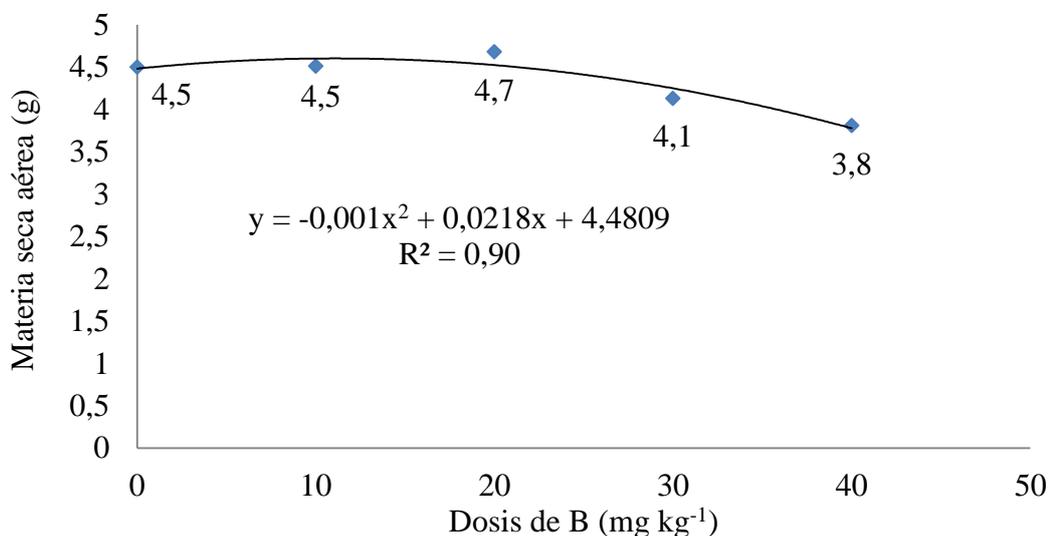


Figura 4. Materia seca aérea acumulada por la planta de soja con la aplicación de dosis de boro en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2017.

De manera similar a los resultados del presente experimento, Oliveira et al. (2014) obtuvieron diferencias significativas al observar en un suelo arcilloso que a mayor acumulación de B y otros micronutrientes ocurre mayor acumulación de materia seca.

Al contrario de los resultados obtenidos en el presente experimento Cereta et al. (2005) no encontraron diferencias significativas en la acumulación de materia seca del cultivo de soja con la aplicación del micronutriente (B) en un suelo de textura arcillosa.

El efecto de las dosis de boro en la acumulación de materia seca de raíces de soja, se observó con incremento de la misma (Figura 5), respondiendo de manera cuadrática, ajustándose a la siguiente ecuación: Materia seca de raíces = $1,6626 + 0,0232 \text{ dosis de B} - 0,0006 (\text{dosis de B})^2$; con $R^2=0,89$. La máxima acumulación de materia seca de raíces se obtiene con la aplicación de $19,3 \text{ mg de B kg}^{-1}$ de suelo, alcanzando $1,9 \text{ g}$, a partir del cual empieza a disminuir la acumulación de la misma, posiblemente por efectos de toxicidad de dosis muy elevadas.

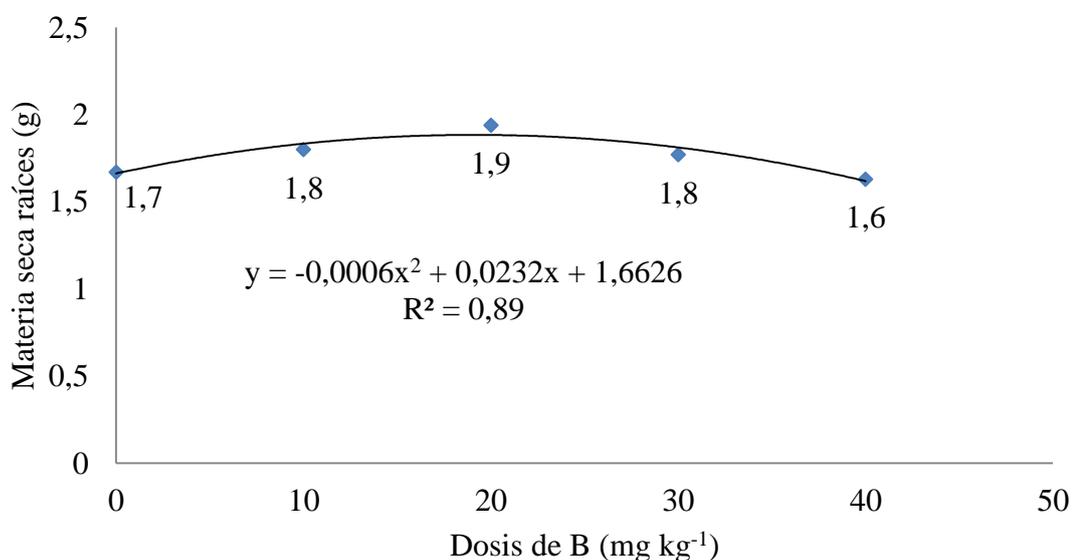


Figura 5. Materia seca de raíces acumulada por la planta de soja con la aplicación de dosis de boro en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2017.

Se observa en la Figura 6 la disminución del número de nódulos a partir de la dosis eficiente de 1,1 mg de B kg⁻¹ de suelo, alcanzando un número máximo de 11,9 nódulos maceta⁻¹, dosis ajustada a la ecuación $\bar{y} = 11,899 + 0,0065 \text{ dosis de B} - 0,0029 (\text{dosis de B})^2$; con coeficiente de determinación $R^2=0,85$.

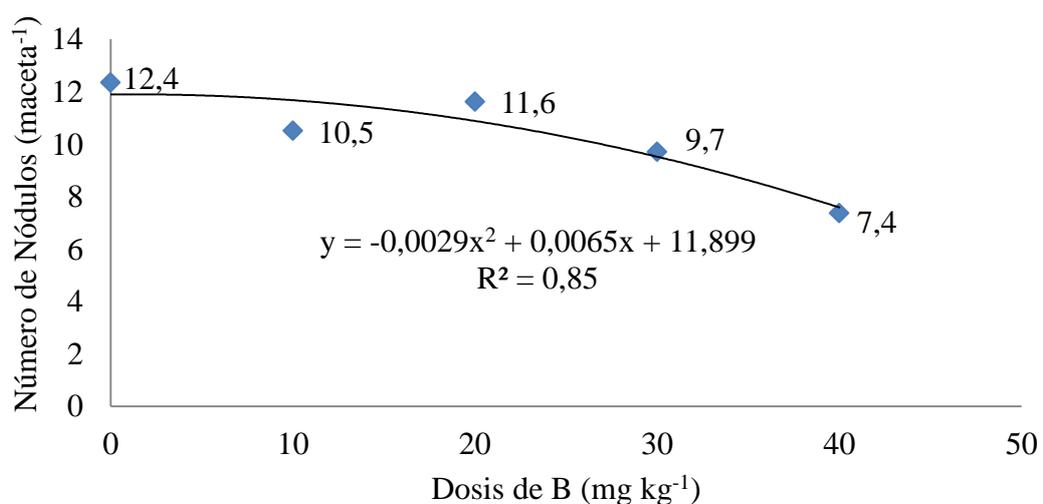


Figura 6. Número de nódulos de soja con la aplicación de dosis de boro en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2017.

Bellaloui et al. (2014) realizaron estudios sobre la importancia del boro en el crecimiento de los nódulos y la fijación de nitrógeno, mediante la aplicación de 1,1 kg ha⁻¹ de boro foliar en distintas condiciones de estrés hídrico en las etapas de floración y llenado de granos, respectivamente, en cuatro variedades de soja. Obtuvieron diferencias significativas, de la misma forma que el presente experimento, para la variable número de nódulos siendo la variedad Pella la que obtuvo mayor cantidad de nódulos, con un promedio de 44 nódulos planta⁻¹ en condiciones de buen riego más boro, siendo la variedad Hutcheson con el menor promedio con 36 nódulos planta⁻¹.

Con la aplicación de 10,8 mg de B kg⁻¹ de suelo, se obtiene el máximo peso de nódulos 2,6 g, a partir del cual empieza a disminuir, por efectos de toxicidad de boro (Figura 7). Dosis ajustada a la ecuación $\bar{y} = 2,4794 + 0,0151 \text{ dosis de B} - 0,0007 (\text{dosis de B})^2$; con coeficiente de determinación $R^2=0,91$.

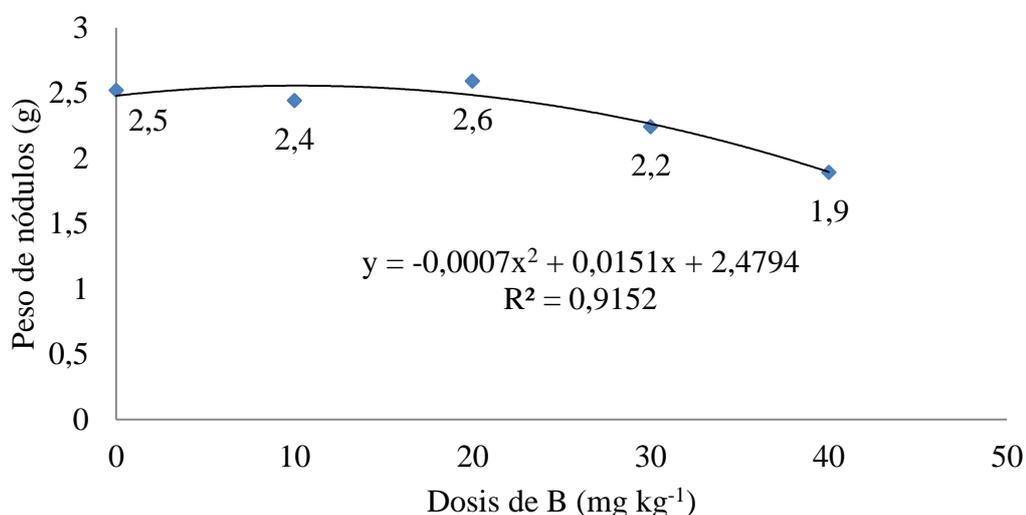


Figura 7. Peso de nódulos de soja con la aplicación de dosis de boro en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2017.

Bellaloui et al. (2010) mediante la fertilización foliar con boro en aplicaciones de 0,45 kg ha⁻¹ en el cultivo de soja, durante las etapas V5; R2 y la combinación de ambas, observaron el aumento de la masa de nódulos respecto al

control, obteniendo 83 mg de nódulos planta⁻¹ aplicando boro tanto en V5 como en R2, a diferencia de las plantas control con 71 mg planta⁻¹, con resultados similares obtenidos por el presente experimento.

Por su parte también Yamagishi y Yamamoto (1994) observaron diferencias significativas del efecto del boro sobre el desarrollo de la nodulación y la fijación biológica de nitrógeno en las plantas de soja, a los 35, 40 y 72 días de crecimiento del cultivo en solución nutritiva, constatando que la mejor dosificación para un mejor desarrollo de los nódulos iba de 15 a 180 micro gramos del elemento L⁻¹ de solución.

4.3 Altura de planta y materia seca de sésamo

En la Tabla 4 se observa la comparación de medias obtenidas para las variables altura de la planta y materia seca acumulada por la planta de sésamo. Tanto la altura de la planta de sésamo como la materia seca acumulada tuvieron diferencias estadísticamente significativas por efecto de la textura (Anexo 8 y 9). Por otro lado las dosis de boro aplicadas tuvieron efecto sobre la altura pero no sobre la materia seca acumulada por el cultivo. No existió interacción entre los factores en estudio.

Tabla 4. Altura de la planta y materia seca acumulada por el cultivo de sésamo con aplicación de dosis de boro, en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo. 2018

| Textura del suelo (Factor 1) | Altura de la planta (cm) | Materia seca (g maceta⁻¹) |
|-------------------------------------|---------------------------------|---|
| Franco Arenosa | 75,85 b | 30,05 b |
| Arcillosa | 83,05 a | 36,62 a |
| Media | 79,45 | 33,33 |
| CV (%) | 9,42 | 15,02 |

CV (%): Coeficiente de variación. Ns: Diferencias no significativas. Medias seguidas por diferentes letras en las columnas difieren estadísticamente entre sí por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

El factor 1 arrojó significancia para las variables estudiadas, las medias fueron de 75,85 cm para la textura franco arenosa y 83,05 cm para la textura arcillosa, con una diferencia de 7,2 cm entre ambas. Por otro lado la materia seca

acumulada fue de 30,05 g en la textura franco arenosa y 36,62 g en la arcillosa, siendo la diferencia entre ambos de 6,57 g.

La altura de la planta de sésamo incrementó con la aplicación de dosis de boro, de forma más notoria en la textura arcillosa, la misma se ajustó a la ecuación $\bar{y} = 70,142 + 1,765 \text{ dosis de B} - 0,0373 (\text{dosis de B})^2$; con $R^2=0,98$. La dosis de máxima eficiencia para esta variable es de 23,7 mg de B kg^{-1} de suelo, alcanzando 91 cm de altura. En tanto en el suelo franco arenoso la dosis más eficiente es de 23,2 mg B kg^{-1} alcanzando 86 cm de altura. Esta dosis se ajustó a la ecuación $\bar{y} = 67,811 + 1,1364 \text{ dosis de B} - 0,0245 (\text{dosis de B})^2$; con $R^2=0,99$. A partir de las dosis mencionadas anteriormente, la altura comienza a disminuir por exceso de B en ambas texturas de suelo (Figura 8).

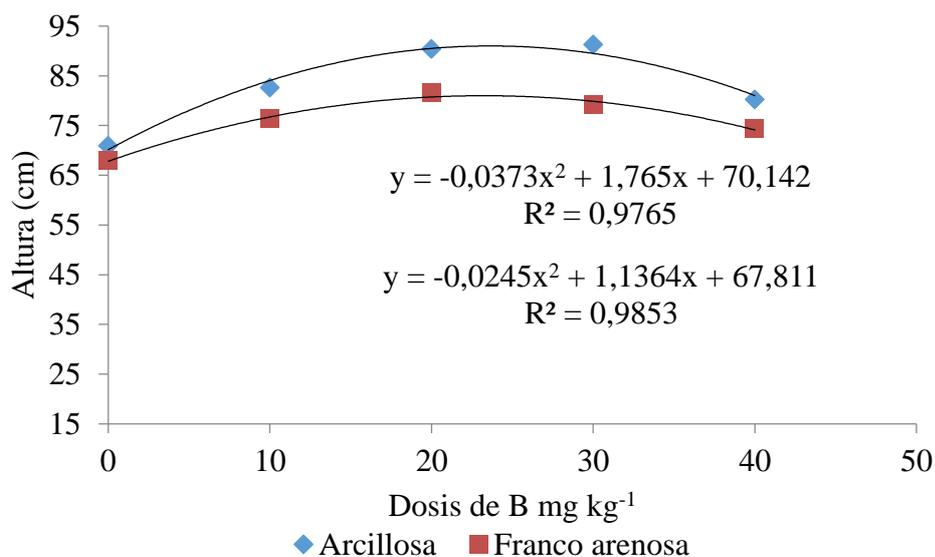


Figura 8. Altura de la planta sésamo con la aplicación de dosis de boro en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.

Hamideldin y Hussein (2014) estudiando la repuesta del sésamo al rociado foliar con concentraciones de 20, 30 y 40 ppm de boro, obtuvieron respuestas bastantes similares al experimento realizado. La mejor respuesta se dio con la aplicación de 20 ppm de concentración de Boro, con 177,0 cm de altura en

comparación al testigo con 146,2 cm de altura, por tanto concluyeron que el boro es esencial para mejorar las características agronómicas del sésamo.

Según la Figura 9, la aplicación de dosis de B no presentó diferencias significativas (Anexo 9) para la variable materia seca de la planta de sésamo. Sin embargo existió un cierto aumento hasta la dosis de 20 mg kg⁻¹ en la textura arcillosa siendo el promedio numérico más alto de 39,9 g. Con la misma dosis, en la textura franco arenosa la mejor media numérica fue de 34,7 g.

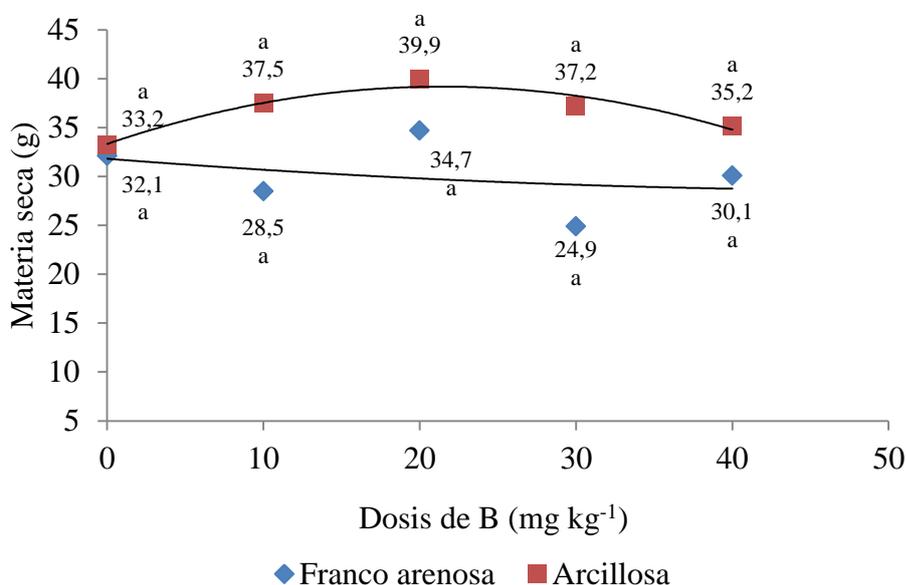


Figura 9. Materia seca de la planta sésamo con la aplicación de dosis de boro en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.

Hamideldin y Hussein (2014) estudiando la repuesta del sésamo al rociado foliar con concentraciones de 20, 30 y 40 ppm de boro, la mejor respuesta con la aplicación de 20 ppm de concentración de Boro. La materia seca acumulada por el cultivo con esta dosis alcanzó 63,42 g siendo en el testigo 26,24 g.

Lima et al. (2010) observaron el efecto de la aplicación de boro y zinc en el cultivo de sésamo, no obtuvieron diferencias significativas entre las dosis aplicadas de ambos elementos para la variable materia seca del mismo modo que el presente experimento.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En las condiciones que se llevó a cabo la investigación se puede concluir que:

La altura de planta y materia seca del trigo es afectada por la aplicación de boro, resultando tóxicas dosis mayores a 10 mg kg^{-1} .

La altura, materia seca aérea, materia seca de raíces, número y peso de nódulos del cultivo de soja, resultaron afectados por la aplicación de B, constatándose la toxicidad del mismo a dosis superiores a 10 mg kg^{-1} .

La altura del sésamo es máxima con la aplicación de 20 mg kg^{-1} , la materia seca del cultivo no responde a la aplicación de boro.

Los tres cultivos evaluados, en general, responden negativamente a la aplicación de boro en las dosis utilizadas, excepto la materia seca del sésamo. La textura arcillosa es mejor que la franco arenosa para el cultivo de sésamo, sin embargo no resulta significativamente diferente para los cultivos de trigo y soja.

Se recomienda utilizar dosis más bajas a las utilizadas en el experimento, debido a la notoria toxicidad del mismo. Realizar estudios tanto en variedades del mismo cultivo, además de comparar el efecto del elemento en distintos cultivos y evaluar variables de rendimiento.

6. REFERENCIAS

- Aguayo, S; Rasche, JW; Britos, CS; Karajallo, JC; González, AL. 2015. Fertilización foliar con Boro en el cultivo de la soja. *Investig. Agrar.*; 17(2): 129-137.
- Ashagre, H; Hamza, I; Fita, U; Nedesa, W. 2014. Influence of boro non seed germination and seedling growth of (*Triticum aestivum* L.) *African Journal Plant Science*; 8(2): 133-139.
- Azevedo, WY; Faquin, V; Souza, FM; Claret, A; Cardoso, C. 2002. Efeito do boro na nodulação da ervilha cultivada em solos de várzea. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília; 37(8): 1137-1143.
- Bolaños, L; Lukaszewski, K; Ildefonso, B; Dale, B. 2004. Why boron?. *Plant Physiology and Biochemistry*; 42: 907-912.
- Bellaloui, N; Reddy, KN; Gillen, AM; Abel, CA. 2010. Nitrogen metabolism and seed composition as influence by foliar boron application in soybean. *Plant Soil*; 336:143–155.
- Bellaloui, N; Mengistu, A; Kassem, M; Abel, CA; Zobiole, LHS. 2014. Role of Boron Nutrient in Nodules Growth and Nitrogen Fixation in Soybean Genotypes Under Water Stress Conditions. *Web of Science*; 237-258.
- Brunes, AP; Oliveira S de; Lesmes, SE; Tavares, LC; Gehling, VM; Dias, LW; Villela, FA. 2015. Adubação boratada e produção de sementes de trigo. *Ciência Rural, Santa Maria*, 45(9): 1572-1578.
- Camargo, O (EMBRAPA, Centro Nacional de Investigación de la Soja; IAPAR Instituto Agronómico del Paraná; Sociedad Brasileira del Suelo). 1988. Micronutrientes en el suelo. In: Reunião brasileira de fertilidade do solo. (17. 1988. Londrina, PR). Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. LANTMAN, I; BORKERT, C (Ed.). Londrina, PR. p. 103 - 120.

- Cereta, CA; Pavinato, A; Pavinato, PS; Lopes, IC; Giroto, E; Trentin, EE. 2005. Micronutrientes na soja: produtividade e análise econômica. *Ciência Rural*, Santa Maria; 35(3): 576-581.
- Doncel, AJ; Iniguez, J; Val Legaz, RM. 1996. Relación del contenido de boro soluble con distintos parámetros edáficos y ambientales en suelos de Navarra. *MUNIBE*. 48: 21-38.
- Fageria, NK. 2000. Níveis adequados e tóxicos de boro na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, Campina Grande; 4(1): 57-62.
- Farooq, M; Wahid, A; Siddique, K. 2012. Micronutrient application through seed treatments – a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*; 12(1): 125-142.
- Favaretto, N; Vargas, AC; Barick, C; Campos, SBL; Comin, JJ. 2007. Shoot and Root Responses of *Trifolium vesiculosum* to Boron Fertilization in an Acidic Brazilian Soil; 50(4): 597-604.
- Furlani, AMC; Tanaka, RT; Tarallo, M; Verdial, MF; Mascarenhas, HAA. 2001. Exigência a boro em cultivares de soja. *R. Bras. Ci. Solo*; 25:929-937.
- Furlani, AMC; Carvalho, CP; Freitas, JG; Fontanetti, M. 2003. Wheat cultivar tolerance to boron deficiency and toxicity in nutrient solution. *Scientia Agricola*; 60(2): 359-370.
- Gomes, I; Benett, CG; Silva, RL; Xavier, R; Silva, K; Silva, RA da; Coneglian, R. 2017. Boron fertilisation at different phenological stages of soybean. *Australian Journal of Crop Science*; 11(08):1026-1032.
- González, A; Herrera, MB; Martín, EM; Navarro, MT; Rexach, J; Camacho, JJ. 2016 Responses to Boron Deficiency Mediated by Ethylene. *Frontiers in Plant Science*; 6(1103): 1-6.
- Gu, B; Lowe, LE. 1990. Studies on the adsorption of boron on humic acids. *Can. J. Soil Sci.*; 70: 305-311.
- Hänsch, R; Mengel, R. 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*; 12:259–266.

- Hamideldin, N; Hussein, OS. 2014. Response of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Plants to Foliar Spray with Different Concentrations of Boron. *Journal of the American Oil Chem. Soc.*; 91:1949–1953.
- Kappes, C; Golo, AL; Carvalho, MA. 2008. Doses e épocas de aplicação foliar de boro nas características agronômicas e na qualidade de sementes de soja. *Scientia Agraria*; 9(3): 291-297.
- Lata, C; Kumar, A; Sharma, SK; Setter, TL; Singh, M; Prasad, KRK; Yaduvanshi, NPS. 2015. Combined Effects of Excess Boron and Salinity in Wheat Varieties Differing in Tolerance to These Stresses. *Journal of Soil Salinity and Water Quality*; 7(2), 107-114
- Lima, V; Macêdo, N; Pires, J; Cavalcanti, W; Rodrigues, J. 2010. Crescimento e produção de gergelim Cv. G3 em função de Boro e Zinco. *Congreso Brasileiro de Mamona, 4 y Simposio Internacional de Oleaginosas Energética, 1, João Pessoa. Embrapa Algodão*; p. 556-560.
- López, O; González, E; Llamas, P; Molinas, A; Franco, E; García, S; Ríos, E. 1995. Estudio de reconocimiento de los suelos, capacidad del uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la región oriental del Paraguay. Vol. 1. Paraguay. 246 p.
- Malavé, A. 2005. Los suelos como fuente de boro para las plantas. *UDO Agrícola*; 5(1): 10-26.
- Malavé, A; Carrero, PE. 2007. Desempeño funcional del boro en las plantas. *UDO Agrícola*; 7(1): 1-14.
- Musskopf, C; Bier, VA. 2010. Efeito da aplicação de fertilizante mineral cálcio e boro via foliar na cultura da soja (*Glycine Max*). *Cultivando o Saber, Cascavel*; 3(4): 83-91.
- Oliveira, A; Castro, C; Oliveira, FA; Foloni, JSS. 2014. Marcha de absorção e acúmulo de zinco, manganês, ferro, cobre e boro em soja com tipo de crescimento indeterminado. *Comissão de Nutrição vegetal, Fertilidade e Biologia dos Solos*; 137-140.
- Pegoraro, RF; Santos, JA dos; Ribeiro, I; Ferreira, RL; Ferreira, A; Fonseca, F. 2008. Crescimento de soja em solos em resposta a doses de boro, calagem e textura do solo. *Ciênc. agrotec., Lavras*; 32(4): 1092-1098.

- Raimundi, DL; Moreira, GC; Turri, LT. 2013. Modos de aplicação de boro na cultura da soja. *Cultivando o Saber*, Cascavel; 6(2): 112-121.
- Rasche, JW; Ortiz, C; Cabral, ND; Fatecha, DA; González, AN; Quiñónez, LR. 2017. Disponibilidade de micronutrientes em solos del Departamento de Itapúa. II Congreso Paraguayo de Ciencia del Suelo y V Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos. LEGUIZAMON, CA; GONZÁLEZ, AL; PANIAGUA, JR; HAHN, EO (Ed.). Encarnación. p. 98-101.
- Rivero, E; Cruzate, GA; Turati, R. 2006. Azufre, Boro y Zinc: Mapas de disponibilidad y reposición en suelos de la región Pampeana. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Rosolem, CA; Zancanaro, L; Bísvaro, T. 2008. Boro disponível e resposta da soja em latossolo vermelho-amarelo do Mato Grosso. *R. Bras. Ci. Solo*; 32:2375-2383.
- Santos, AR; Teixeira, W; Da Silva, AA; Monteiro, FA; Dias, B; Gupta, UC. 2004. Boron nutrition and yield of alfalfa cultivar crioula in relation to boron supply. *Sci. Agric.*, Piracicaba; 61(5): 496-500.
- Souza L, JCP de; Araujo, CW; Da Costa, JG; Andrade, M. 2007. Níveis críticos e tóxicos de boro em solos de Pernambuco determinados em casa de vegetação. *R. Bras. Ci. Solo*; 31:73-79.
- Souza, LH; Ferreira, R; Alvarez, VH; Albuquerque, EM. 2010. Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. *R. Bras. Ci. Solo*; 34: 1641-1652.
- Tanaka, M; Fujiwara, T. 2007. Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives from plants. *Pflugers Arch - Eur J Physiol.*; 456: 671–677.
- Tiecher, T. 2015. A química antes da química do solo. Brasil. Associação Brasileira de Editoras Universitárias. 92 p. ISBN 978-85-7796-168-9.
- Trautmann, RR; Carmo, M; Guimarães, VF; Gonçalves, AC; Steiner, F. 2014. Potencial de água do solo e adubação com boro no crescimento e absorção do nutriente pela cultura da soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 38:240-251.
- Yamada, T. 2000. Boro: será que estamos aplicando a dose suficiente para o adequado desenvolvimento das plantas. *POTAFOS: Informações Agronômicas* 90: 1-5.

Yamagishi, M; Yamamoto, Y. 1994. Effects of Boron on Nodule Development and Symbiotic Nitrogen Fixation in Soybean Plants, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 40 (2): 265-274.

7. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza de la variable altura de la planta de trigo.

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
|--|---------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Altura (cm) | 50 | 0,67 | 0,59 | 6,30 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 1216,26 | 9 | 135,14 | 8,94 | <0,0001 |
| Factor 1 | 172,65 | 1 | 172,65 | 11,42 | 0,0016 |
| Factor 2 | 976,50 | 4 | 244,12 | 16,15 | <0,0001 |
| Factor 1*Factor 2 | 67,12 | 4 | 16,78 | 1,11 | 0,3651 |
| Error | 604,49 | 40 | 15,11 | | |
| Total | 1820,75 | 49 | | | |

Anexo 2. Análisis de varianza de la variable materia seca de la planta de trigo.

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
|--|--------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Materia seca (g) | 50 | 0,58 | 0,49 | 12,37 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 99,56 | 9 | 11,06 | 6,17 | <0,0001 |
| Factor 1 | 2,78 | 1 | 2,78 | 1,55 | 0,2200 |
| Factor 2 | 84,99 | 4 | 21,25 | 11,84 | <0,0001 |
| Factor 1*Factor 2 | 11,78 | 4 | 2,95 | 1,64 | 0,1827 |
| Error | 71,76 | 40 | 1,79 | | |
| Total | 171,31 | 49 | | | |

Anexo 3. Análisis de varianza de la variable altura de la planta de soja.

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
|--|---------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Altura(cm) | 50 | 0,33 | 0,18 | 11,37 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 792,46 | 9 | 88,05 | 2,18 | 0,0444 |
| Factor 1 | 122,93 | 1 | 122,93 | 3,04 | 0,0887 |
| Factor 2 | 582,51 | 4 | 145,63 | 3,61 | 0,0133 |
| Factor 1*Factor 2 | 87,01 | 4 | 21,75 | 0,54 | 0,7081 |
| Error | 1615,04 | 40 | 40,38 | | |
| Total | 2407,50 | 49 | | | |

Anexo 4. Análisis de varianza de la variable masa seca de la parte aérea de la planta de soja.

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
|--|-------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Materia seca p.a. (g) | 50 | 0,38 | 0,24 | 12,52 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 7,08 | 9 | 0,79 | 2,68 | 0,0154 |
| Factor 1 | 0,70 | 1 | 0,70 | 2,37 | 0,1314 |
| Factor 2 | 4,86 | 4 | 1,22 | 4,15 | 0,0067 |
| Factor 1*Factor 2 | 1,52 | 4 | 0,38 | 1,29 | 0,2885 |
| Error | 11,74 | 40 | 0,29 | | |
| Total | 18,81 | 49 | | | |

Anexo 5. Análisis de varianza de la variable masa seca radical de la planta de soja.

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
|--|------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Materia seca r. (g) | 50 | 0,30 | 0,15 | 11,18 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 0,68 | 9 | 0,08 | 1,94 | 0,0732 |
| Factor 1 | 0,01 | 1 | 0,01 | 0,22 | 0,6429 |
| Factor 2 | 0,59 | 4 | 0,15 | 3,77 | 0,0107 |
| Factor 1*Factor 2 | 0,08 | 4 | 0,02 | 0,54 | 0,7040 |
| Error | 1,55 | 40 | 0,04 | | |
| Total | 2,23 | 49 | | | |

Anexo 6. Análisis de varianza de la variable número de nódulos de la planta de soja.

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
|--|--------|----------------|-------------------|-------|---------|
| N° de nódulos | 50 | 0,52 | 0,41 | 19,85 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 181,07 | 9 | 20,12 | 4,80 | 0,0002 |
| Factor 1 | 5,64 | 1 | 5,64 | 1,35 | 0,2528 |
| Factor 2 | 149,60 | 4 | 37,40 | 8,93 | <0,0001 |
| Factor 1*Factor 2 | 25,83 | 4 | 6,46 | 1,54 | 0,2089 |
| Error | 167,62 | 40 | 4,19 | | |
| Total | 348,69 | 49 | | | |

Anexo 7. Análisis de varianza de la variable peso de nódulos de la planta de soja.

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
|--|-------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Peso de nódulos (g) | 50 | 0,43 | 0,30 | 17,18 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 4,89 | 9 | 0,54 | 3,37 | 0,0037 |
| Factor 1 | 1,24 | 1 | 1,24 | 7,68 | 0,0084 |
| Factor 2 | 3,15 | 4 | 0,79 | 4,90 | 0,0026 |
| Factor 1*Factor 2 | 0,50 | 4 | 0,12 | 0,77 | 0,5493 |
| Error | 6,44 | 40 | 0,16 | | |
| Total | 11,32 | 49 | | | |

Anexo 8. Análisis de varianza de la variable altura de la planta de sésamo.

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
|--|---------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Altura (cm) | 50 | 0,54 | 0,43 | 9,42 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 2582,51 | 9 | 286,95 | 5,12 | 0,0001 |
| Factor 1 | 649,44 | 1 | 649,44 | 11,59 | 0,0015 |
| Factor 2 | 1816,68 | 4 | 454,17 | 8,11 | 0,0001 |
| Factor 1*Factor 2 | 116,40 | 4 | 29,10 | 0,52 | 0,7218 |
| Error | 2240,51 | 40 | 56,01 | | |
| Total | 4823,02 | 49 | | | |

Anexo 9. Análisis de varianza de la variable materia seca de la planta de sésamo.

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
|--|---------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Materia seca (g) | 50 | 0,49 | 0,37 | 15,02 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 944,59 | 9 | 104,95 | 4,19 | 0,0007 |
| Factor 1 | 539,89 | 1 | 539,89 | 21,54 | <0,0001 |
| Factor 2 | 220,35 | 4 | 55,09 | 2,20 | 0,0866 |
| Factor 1*Factor 2 | 184,35 | 4 | 46,09 | 1,84 | 0,1405 |
| Error | 1002,80 | 40 | 25,07 | | |
| Total | 1947,39 | 49 | | | |

Anexo 10. Tabla general de datos de las variables evaluadas con aplicación de dosis de boro en suelos de diferentes texturas en el cultivo de trigo. San Lorenzo, Central, 2017.

| Suelo | Dosis B (mg kg ⁻¹) | Altura (cm) | Materia seca (g) |
|----------------|--------------------------------|-------------|------------------|
| Franco arenoso | 0 | 62,6 | 11,7 |
| Franco arenoso | 0 | 66,3 | 14,6 |
| Franco arenoso | 0 | 66,9 | 11,7 |
| Franco arenoso | 0 | 69,1 | 14,7 |
| Franco arenoso | 0 | 68,7 | 11,2 |
| Arcilloso | 0 | 63,7 | 16,2 |
| Arcilloso | 0 | 60,2 | 13,4 |
| Arcilloso | 0 | 60,1 | 13,9 |
| Arcilloso | 0 | 62,1 | 13,6 |
| Arcilloso | 0 | 56,7 | 10,5 |
| Franco arenoso | 10 | 61,5 | 13,3 |
| Franco arenoso | 10 | 66,5 | 12,5 |
| Franco arenoso | 10 | 71,0 | 11,4 |
| Franco arenoso | 10 | 64,0 | 13,9 |
| Franco arenoso | 10 | 71,0 | 9,0 |
| Arcilloso | 10 | 67,3 | 11,0 |
| Arcilloso | 10 | 59,3 | 10,4 |
| Arcilloso | 10 | 69,6 | 10,3 |
| Arcilloso | 10 | 68,2 | 11,0 |
| Arcilloso | 10 | 65,0 | 10,5 |
| Franco arenoso | 20 | 62,7 | 8,5 |
| Franco arenoso | 20 | 65,7 | 9,3 |
| Franco arenoso | 20 | 67,3 | 9,2 |
| Franco arenoso | 20 | 67,2 | 9,5 |
| Franco arenoso | 20 | 67,9 | 9,3 |
| Arcilloso | 20 | 64,5 | 10,4 |
| Arcilloso | 20 | 65,1 | 10,7 |
| Arcilloso | 20 | 64,9 | 9,2 |
| Arcilloso | 20 | 65,8 | 9,9 |
| Arcilloso | 20 | 53,1 | 12,4 |
| Franco arenoso | 30 | 59,6 | 8,5 |
| Franco arenoso | 30 | 61,1 | 10,2 |
| Franco arenoso | 30 | 63,9 | 9,0 |
| Franco arenoso | 30 | 64,3 | 9,6 |
| Franco arenoso | 30 | 69,1 | 9,5 |
| Arcilloso | 30 | 54,5 | 10,0 |
| Arcilloso | 30 | 57,8 | 11,2 |
| Arcilloso | 30 | 56,8 | 10,5 |
| Arcilloso | 30 | 64,1 | 9,7 |
| Arcilloso | 30 | 52,1 | 8,0 |
| Franco arenoso | 40 | 49,4 | 9,1 |
| Franco arenoso | 40 | 59,2 | 10,0 |
| Franco arenoso | 40 | 59,6 | 7,6 |
| Franco arenoso | 40 | 48,9 | 11,4 |
| Franco arenoso | 40 | 55,6 | 10,0 |

Anexo 10. (Continuación) Tabla general de datos de las variables evaluadas con aplicación de dosis de boro en suelos de diferentes texturas en el cultivo de trigo. San Lorenzo, Central, 2017.

| Suelo | Dosis B (mg kg ⁻¹) | Altura (cm) | Materia seca (g) |
|-----------|--------------------------------|-------------|------------------|
| Arcilloso | 40 | 52,1 | 10,4 |
| Arcilloso | 40 | 55,8 | 10,9 |
| Arcilloso | 40 | 56,0 | 12,6 |
| Arcilloso | 40 | 53,0 | 9,0 |
| Arcilloso | 40 | 48,3 | 10,8 |

Anexo 11. Tabla general de datos de las variables evaluadas con aplicación de dosis de boro en suelos de diferentes texturas en el cultivo de soja. San Lorenzo, Central, 2017.

| Suelo | Dosis B (mg kg ⁻¹) | Altura (cm) | Masa seca de la Parte Aérea (g) | Masa seca Radicular (g) | Nº de nódulos | Masa de Nódulos (g) |
|----------------|--------------------------------|-------------|---------------------------------|-------------------------|---------------|---------------------|
| Franco arenoso | 0 | 57,9 | 25,1 | 2,5 | 200 | 7,0 |
| Franco arenoso | 0 | 58,8 | 21,9 | 3,0 | 189 | 7,4 |
| Franco arenoso | 0 | 63,3 | 24,2 | 3,4 | 207 | 7,5 |
| Franco arenoso | 0 | 63,4 | 23,0 | 2,9 | 118 | 7,7 |
| Franco arenoso | 0 | 64,8 | 26,6 | 3,2 | 183 | 9,8 |
| Arcilloso | 0 | 54,6 | 10,8 | 1,8 | 99 | 3,4 |
| Arcilloso | 0 | 58,1 | 17,9 | 2,5 | 124 | 5,8 |
| Arcilloso | 0 | 57,3 | 15,7 | 2,3 | 130 | 5,2 |
| Arcilloso | 0 | 56,1 | 19,9 | 3,3 | 138 | 4,8 |
| Arcilloso | 0 | 50,2 | 20,0 | 3,2 | 162 | 6,0 |
| Franco arenoso | 10 | 58,3 | 21,3 | 3,0 | 84 | 7,6 |
| Franco arenoso | 10 | 58,6 | 23,3 | 3,0 | 181 | 6,4 |
| Franco arenoso | 10 | 61,0 | 24,5 | 4,2 | 126 | 6,9 |
| Franco arenoso | 10 | 47,8 | 11,3 | 2,2 | 31 | 2,9 |
| Franco arenoso | 10 | 61,1 | 22,7 | 3,6 | 91 | 7,7 |
| Arcilloso | 10 | 58,8 | 16,7 | 3,0 | 121 | 5,1 |
| Arcilloso | 10 | 64,4 | 23,5 | 4,1 | 130 | 5,7 |
| Arcilloso | 10 | 64,4 | 22,7 | 3,4 | 165 | 6,4 |
| Arcilloso | 10 | 58,4 | 21,1 | 3,3 | 100 | 6,1 |
| Arcilloso | 10 | 43,8 | 18,2 | 3,0 | 119 | 5,7 |
| Franco arenoso | 20 | 57,1 | 24,1 | 3,7 | 157 | 7,4 |
| Franco arenoso | 20 | 52,8 | 19,7 | 5,5 | 140 | 6,5 |
| Franco arenoso | 20 | 60,9 | 24,2 | 3,8 | 146 | 8,2 |
| Franco arenoso | 20 | 59,2 | 24,1 | 3,7 | 103 | 7,9 |
| Franco arenoso | 20 | 61,6 | 23,0 | 3,4 | 207 | 7,4 |
| Arcilloso | 20 | 52,8 | 18,2 | 4,1 | 112 | 5,7 |
| Arcilloso | 20 | 52,4 | 17,3 | 3,3 | 117 | 5,2 |
| Arcilloso | 20 | 61,3 | 21,6 | 2,9 | 107 | 5,5 |
| Arcilloso | 20 | 59,2 | 24,5 | 3,0 | 111 | 5,7 |
| Arcilloso | 20 | 54,0 | 22,9 | 4,4 | 167 | 7,8 |

Anexo 11. (Continuación) Tabla general de datos de las variables evaluadas con aplicación de dosis de boro en suelos de diferentes texturas en el cultivo de soja. San Lorenzo, Central, 2017.

| Suelo | Dosis B (mg kg ⁻¹) | Altura (cm) | Masa seca de la Parte Aérea (g) | Masa seca Radicular (g) | Nº de nódulos | Masa de Nódulos (g) |
|----------------|--------------------------------|-------------|---------------------------------|-------------------------|---------------|---------------------|
| Franco arenoso | 30 | 54,1 | 20,6 | 4,4 | 126 | 6,8 |
| Franco arenoso | 30 | 60,5 | 17,6 | 3,1 | 138 | 6,3 |
| Franco arenoso | 30 | 61,1 | 15,0 | 2,6 | 101 | 5,7 |
| Franco arenoso | 30 | 61,5 | 21,4 | 3,2 | 117 | 7,1 |
| Franco arenoso | 30 | 63,0 | 17,9 | 2,6 | 107 | 5,3 |
| Arcilloso | 30 | 61,6 | 18,4 | 2,9 | 124 | 4,2 |
| Arcilloso | 30 | 60,6 | 17,8 | 3,1 | 102 | 4,9 |
| Arcilloso | 30 | 51,6 | 16,4 | 4,2 | 45 | 3,9 |
| Arcilloso | 30 | 43,3 | 9,6 | 2,7 | 24 | 1,8 |
| Arcilloso | 30 | 54,0 | 17,6 | 2,8 | 101 | 5,4 |
| Franco arenoso | 40 | 48,7 | 14,6 | 2,8 | 48 | 4,5 |
| Franco arenoso | 40 | 58,3 | 22,5 | 2,9 | 107 | 7,5 |
| Franco arenoso | 40 | 52,2 | 11,5 | 2,6 | 61 | 1,8 |
| Franco arenoso | 40 | 32,6 | 6,8 | 1,7 | 7 | 1,7 |
| Franco arenoso | 40 | 58,0 | 16,1 | 2,8 | 60 | 5,1 |
| Arcilloso | 40 | 54,7 | 20,8 | 3,4 | 95 | 5,3 |
| Arcilloso | 40 | 47,4 | 9,3 | 1,9 | 7 | 0,3 |
| Arcilloso | 40 | 51,7 | 20,5 | 3,5 | 88 | 6,4 |
| Arcilloso | 40 | 33,6 | 6,8 | 1,5 | 37 | 2,0 |
| Arcilloso | 40 | 54,3 | 23,2 | 4,0 | 108 | 5,5 |

Anexo 12. Tabla general de datos de las variables evaluadas con aplicación de dosis de boro en suelos de diferentes texturas en el cultivo de sésamo. San Lorenzo, Central, 2018.

| Suelo | Dosis B (mg kg ⁻¹) | Altura (cm) | Materia seca (g) |
|----------------|--------------------------------|-------------|------------------|
| Franco arenoso | 0 | 62,3 | 26,5 |
| Franco arenoso | 0 | 66,3 | 33,0 |
| Franco arenoso | 0 | 65,3 | 32,7 |
| Franco arenoso | 0 | 68,2 | 32,7 |
| Franco arenoso | 0 | 77,5 | 35,7 |
| Arcilloso | 0 | 64,1 | 25,9 |
| Arcilloso | 0 | 71,8 | 33,5 |
| Arcilloso | 0 | 75,3 | 38,7 |
| Arcilloso | 0 | 78,3 | 37,9 |
| Arcilloso | 0 | 65,0 | 30,0 |

Anexo 12. (Continuación) Tabla general de datos de las variables evaluadas con aplicación de dosis de boro en suelos de diferentes texturas en el cultivo de Sésamo. San Lorenzo, Central, 2018.

| Suelo | Dosis B (mg kg ⁻¹) | Altura (cm) | Materia seca (g) |
|----------------|-----------------------------------|-------------|------------------|
| Franco arenoso | 10 | 74,4 | 33,4 |
| Franco arenoso | 10 | 73,3 | 27,7 |
| Franco arenoso | 10 | 74,0 | 24,1 |
| Franco arenoso | 10 | 80,2 | 32,1 |
| Franco arenoso | 10 | 79,3 | 25,1 |
| Arcilloso | 10 | 82,8 | 40,7 |
| Arcilloso | 10 | 89,3 | 40,2 |
| Arcilloso | 10 | 83,8 | 39,0 |
| Arcilloso | 10 | 66,5 | 40,2 |
| Arcilloso | 10 | 90,5 | 27,6 |
| Franco arenoso | 20 | 77,0 | 30,5 |
| Franco arenoso | 20 | 73,7 | 32,8 |
| Franco arenoso | 20 | 86,8 | 36,6 |
| Franco arenoso | 20 | 87,0 | 36,9 |
| Franco arenoso | 20 | 83,8 | 36,6 |
| Arcilloso | 20 | 95,2 | 40,6 |
| Arcilloso | 20 | 78,8 | 36,0 |
| Arcilloso | 20 | 87,3 | 37,8 |
| Arcilloso | 20 | 93,7 | 41,5 |
| Arcilloso | 20 | 96,9 | 43,8 |
| Franco arenoso | 30 | 74,4 | 24,0 |
| Franco arenoso | 30 | 68,4 | 25,2 |
| Franco arenoso | 30 | 71,5 | 21,0 |
| Franco arenoso | 30 | 92,1 | 28,4 |
| Franco arenoso | 30 | 89,3 | 25,8 |
| Arcilloso | 30 | 87,5 | 32,3 |
| Arcilloso | 30 | 102,8 | 43,0 |
| Arcilloso | 30 | 95,1 | 33,5 |
| Arcilloso | 30 | 93,1 | 32,2 |
| Arcilloso | 30 | 77,7 | 45,2 |
| Franco arenoso | 40 | 70,3 | 31,1 |
| Franco arenoso | 40 | 77,8 | 38,3 |
| Franco arenoso | 40 | 61,0 | 14,0 |
| Franco arenoso | 40 | 77,0 | 33,9 |
| Franco arenoso | 40 | 85,5 | 33,1 |
| Arcilloso | 40 | 78,7 | 32,9 |
| Arcilloso | 40 | 83,2 | 33,5 |
| Arcilloso | 40 | 82,0 | 36,2 |
| Arcilloso | 40 | 79,7 | 33,3 |
| Arcilloso | 40 | 77,5 | 40,0 |

Anexo 13. Ilustraciones de las actividades realizadas y resultados obtenidos durante el período del experimento.



Preparación de macetas. Tamizado y pesaje de suelos, franco arenoso y arcilloso



Pesaje de dosis de boro, aplicación de las mismas por tratamiento



Siembra del cultivo de trigo



Efecto de la aplicación de B en el cultivo de trigo



Cosecha del cultivo de trigo



Pesaje de nódulos de soja



Pesaje de materia seca

Efecto de la aplicación de B en el cultivo de soja

T1: 0 mg kg⁻¹T2: 10 mg kg⁻¹T3: 20 mg kg⁻¹T4: 30 mg kg⁻¹T5: 40 mg kg⁻¹



Diferencia de altura de plantas de sésamo, textura franco arenosa y arcillosa