

**FERTILIZACIÓN CON BORO EN MAÍZ, SÉSAMO Y TRIGO EN SUELOS
DE DIFERENTES TEXTURAS**

GABRIELA DE JESÚS ROA RODRÍGUEZ

Proyecto Final de Grado presentado 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

2020

**FERTILIZACIÓN CON BORO EN MAÍZ, SÉSAMO Y TRIGO EN SUELOS
DE DIFERENTES TEXTURAS**

GABRIELA DE JESÚS ROA RODRÍGUEZ

Orientador: **Prof. Dr. Ing. Agr. DIEGO AUGUSTO FATECHA FOIS**
Co-Orientador: **Prof. Dr. Ing. Agr. JIMMY W. RASCHE ÁLVAREZ**

Proyecto Final de Grado presentado 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

2020

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

**FERTILIZACIÓN CON BORO EN MAÍZ, SÉSAMO Y TRIGO 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: **Gabriela De Jesús Roa Rodríguez**

Orientador: Prof. Dr. Ing. Agr. Diego Augusto Fatecha Fois

Co-Orientador: Prof. Dr. Ing. Agr. Jimmy W. Rasche Álvarez

Miembros del Comité Asesor de Mesa Examinadora

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

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

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

San Lorenzo, 21 de julio de 2020

DEDICATORIA

A mis padres Mercedes y Juan

A mis hermanos Javier y Mauricio

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios y la Virgen por haberme acompañado y guiado en este proceso.

A mis padres y hermanos, por la paciencia, el amor recibido, por ser mi sostén y promotores en la culminación de mi carrera.

A mi Orientador el Prof. Dr. Ing. Agr. Diego Augusto Fatecha Fois por cada detalle y momento dedicado para aclarar cualquier duda así también por la claridad de sus enseñanzas.

A mi Co-Orientador Prof. Dr. Ing. Agr. Jimmy Walter Rasche Álvarez por todo el acompañamiento, las sugerencias, los discursos y por sobre todo las lecciones aprendidas.

A mis profesores de la Orientación Suelos y Ordenamiento Territorial por todo el esfuerzo en brindarme sus conocimientos que ha hecho que llegue al punto en el que me encuentro.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción por toda la formación profesional.

A mi familia, a cada uno de mis compañeros y amigos fuera y dentro de la facultad por formar parte de esta hermosa etapa y de alguna u otra manera realizaron su aporte, brindaron su apoyo e hicieron posible que hoy se viera reflejado en la culminación de mi paso por la universidad.

FERTILIZACIÓN CON BORO EN MAÍZ, SÉSAMO Y TRIGO EN SUELOS DE DIFERENTES TEXTURAS

Autora: **GABRIELA DE JESÚS ROA RODRÍGUEZ**

Orientador: **Prof. Dr. Ing. Agr. DIEGO AUGUSTO FATECHA FOIS**

Co-Orientador: **Prof. Dr. Ing. Agr. JIMMY WALTER RASCHE ÁLVAREZ**

RESUMEN

El boro es un elemento indispensable en el ciclo de un cultivo, por poseer funciones metabólicas y estructurales, siendo su disponibilidad dependiente de factores como pH del suelo, temperatura e intensidad luminosa, materia orgánica, textura y humedad del suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de dosis de boro sobre algunas características agronómicas de los cultivos de maíz, sésamo y trigo en dos suelos de texturas diferentes. El experimento fue realizado utilizando macetas de 5 kg de suelo en el invernadero del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial de la FCA-UNA, San Lorenzo, Central en el periodo comprendido entre noviembre de 2018 y julio de 2019. Se implementó un diseño completamente al azar con un esquema bifactorial, donde el factor 1 correspondió a los suelos de texturas diferentes (franco arenoso y franco arcillo arenoso) y el factor 2 a las dosis de boro (0, 5, 10, 15 y 20 mg kg⁻¹), con 5 repeticiones, el promedio de las variables fueron sometidos a análisis de varianza, luego evaluados mediante el test de Tukey al 5 % probabilidad de error y análisis de regresión. El cultivo de maíz presentó diferencias significativas en cuanto a la altura siendo mayor en el suelo de textura arcillosa con una media de 70,1 cm, mientras que la masa seca aérea presentó disminución con dosis crecientes de B. El cultivo de sésamo presentó interacción entre los factores dosis y textura del suelo para las variables altura y materia seca, la altura máxima para la textura franco arcillo arenoso fue de 87,73 cm con dosis optima de 2,25 mg de B, mientras que la textura franco arenosa disminuye 2,7 cm por cada mg de boro, por efectos de toxicidad con dosis superiores a 5 mg kg⁻¹. El cultivo de trigo presentó interacción entre dosis y textura para la altura de la planta notándose una disminución en el suelo franco arcillo arenoso en función a las dosis por efecto de toxicidad, mientras que contrariamente la textura franco arenosa fue en aumento, la materia seca no presentó diferencias estadísticamente significativas siendo la dosis de B recomendada para maíz dosis mínimas inferiores a 5 mg kg⁻¹; sésamo 5 mg kg⁻¹ mientras que para el cultivo de trigo 10 mg kg⁻¹

PALABRAS-CLAVE: micronutrientes, boro

FERTILIZATION WITH BORON IN CORN, SESAME AND WHEAT IN SOILS OF DIFFERENT TEXTURES

Author: **GABRIELA DE JESÚS ROA RODRÍGUEZ**

Advisor: **Prof. Dr. Ing. Agr. DIEGO AUGUSTO FATECHA FOIS**

Co-Advisor: **Prof. Dr. Ing. Agr. JIMMY WALTER RASCHE ÁLVAREZ**

SUMMARY

Boron is an indispensable element in the crop cycle, as it has both metabolic and structural functions, where its greater or lesser availability depends on factors such as soil pH, temperature and light intensity, organic matter, texture and soil moisture. The objective of this work was to evaluate the effect of the application of boron doses on some agronomic characteristics of corn, sesame and wheat crops in two soils with different textures. The experiment was carried out using 5 kg pots of soil in the greenhouse of the Soil and Land Management Area of the FCA-UNA, San Lorenzo - Central Department in November 2018 through July 2019. A design was implemented completely at randomized with a two-factor scheme, where factor 1 corresponds to the soils of different textures (sandy loam and clay) and factor 2 to the different boron doses (0, 5, 10, 15 and 20 mg kg⁻¹), with 5 repetitions. The corn crop presented significant differences in height, being higher in the clay texture soil with an average of 70.1 cm, while the aerial dry mass decreased with increasing doses of B. The sesame crop showed interaction between the dose and soil texture factors for the variables height and dry matter, the maximum height for the clay texture with 87.73 cm with an optimal dose of 2.25 mg of B, while the loamy sandy texture decreases 2.7 cm by each mg of boron, due to toxicity effects with doses higher than 5 mg kg⁻¹. Wheat cultivation showed an interaction between dose and texture for the height of the plant, a decrease in the clay soil depending on the dose due to the effect of toxicity, while the sandy loam texture was increasing, the dry matter did not show differences statistically significant. Corn, wheat and sesame crops were influenced by the application of boron, with the exception of the dry matter of wheat, with the recommended dose of B for corn being minimum doses less than 5 mg kg⁻¹; sesame 5 mg kg⁻¹ while for the cultivation of wheat 10 mg kg.

KEY-WORD: fertilization, boron, crops, crops cycle

FERTILIZAÇÃO COM BORO NO MILHO, GERGELIM E TRIGO EM SOLOS DE TEXTURAS DIFERENTES

Autora: GABRIELA DE JESÚS ROA RODRÍGUEZ

Conselheiro: Prof. Dr. Ing. Agr. DIEGO AUGUSTO FATECHA FOIS

Co-Conselheiro: Prof. Dr. Ing. Agr. JIMMY WALTER RASCHE ÁLVAREZ

RESUMO

O boro é um elemento indispensável no ciclo de uma cultura, por ter funções metabólicas e estruturais, em que a sua maior ou menor disponibilidade depende de fatores como o pH do solo, a temperatura e intensidade da luz, a matéria orgânica, a textura e a humidade do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de doses de boro em algumas características agronómicas das culturas de milho, gergelim e trigo em dois solos de texturas diferentes. O experimento foi realizado utilizando vasos de solo de 5 kg, na estufa da Área de Suelos y Ordenamiento Territorial da FCA-UNA, San Lorenzo, Central, no período de Novembro de 2018 a Julho de 2019. Foi implementado um desenho completamente aleatório com um esquema bifatorial, em que o fator 1 corresponde a solos com texturas diferentes (franco arenoso e argiloso) e o fator 2 a doses diferentes de boro (0, 5, 10, 15 e 20 mg kg⁻¹), com 5 repetições. A cultura do milho mostrou diferenças significativas em altura, sendo mais elevada no solo de textura argilosa, com uma média de 70,1 cm, enquanto a massa seca aérea diminuiu com o aumento das doses de B. O cultivo do sésamo apresentou interação entre os fatores de dose e a textura do solo para as variáveis de altura e matéria seca, a altura máxima para a textura argilosa com 87,73 cm com uma dose óptima de 2,25 mg de B, enquanto a textura franco arenosa diminuiu 2,7 cm para cada mg de boro, devido aos efeitos tóxicos com doses superiores a 5 mg kg⁻¹. A cultura do trigo mostrou interação entre dose e textura para a altura da planta, observando-se uma diminuição no solo argiloso em função das doses por efeito da toxicidade, enquanto que, inversamente, a textura franca arenosa estava a aumentar, a matéria seca não apresentou diferenças estatisticamente significativas. As culturas de milho, trigo e gergelim foram influenciadas pela aplicação de boro, com exceção da matéria seca do trigo. Sendo a dose de B recomendada para o milho inferiores a 5 mg kg⁻¹; para o gergelim 5 mg kg⁻¹ e para o trigo 10 mg kg⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: fertilização, boro

TABLA DE CONTENIDO

| | Página |
|--|---------------|
| PORTADA..... | i |
| HOJA DE APROBACIÓN..... | ii |
| DEDICATORIA..... | iii |
| AGRADECIMIENTOS..... | iv |
| RESUMEN..... | v |
| SUMMARY..... | vi |
| RESUMO..... | vii |
| TABLA DE CONTENIDO..... | viii |
| LISTA DE TABLAS..... | x |
| LISTA DE FIGURAS..... | xi |
| LISTA DE ANEXOS..... | xii |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1 Boro. Propiedades químicas..... | 3 |
| 2.2 Boro en el suelo..... | 3 |
| 2.3 Boro en las plantas..... | 4 |
| 2.3.1 Deficiencia y toxicidad de boro en las plantas..... | 5 |
| 2.4 Factores que afectan la disponibilidad de B en el suelo..... | 6 |
| 2.5 Fertilización con Boro en cultivos agrícolas..... | 7 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 9 |
| 3.1 Localización y caracterización del área experimental..... | 9 |
| 3.2 Diseño experimental y tratamientos..... | 9 |
| 3.3 Implementación y manejo de la investigación..... | 10 |
| 3.3.1 Siembra y manejo de los cultivos..... | 10 |
| 3.4 Variables de medición..... | 11 |
| 3.5 Método de análisis de datos..... | 11 |

| | Página |
|--|---------------|
| 4. RESULTADOS Y DISCUSION | 12 |
| 4.1 Cultivo de maíz | 12 |
| 4.2 Cultivo de sésamo | 14 |
| 4.3 Cultivo de trigo..... | 16 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 19 |
| 6. REFERENCIAS..... | 20 |
| ANEXOS..... | 23 |

LISTA DE TABLAS

| | Página |
|---|---------------|
| 1. Características químicas de los suelos utilizados en el experimento. San Lorenzo. 2018 | 10 |
| 2. Altura de la planta y materia seca del cultivo de maíz con aplicación creciente de boro en suelos franco arenoso y franco arcillo arenoso. San Lorenzo 2019 | 12 |
| 3. Altura de la planta y materia seca del cultivo de trigo con aplicación creciente de boro en suelos franco arenoso y franco arcillo arenoso. San Lorenzo 2019 | 17 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|--|---------------|
| 1. Materia seca de maíz en función a dosis de B aplicados en suelo franco arenoso y franco arcillo arenoso. San Lorenzo 2019 | 13 |
| 2. Altura de planta de sésamo en función a dosis de B aplicados en suelo de textura franco arenoso y franco arcillo arenoso. San Lorenzo, 2019 | 14 |
| 3. Masa seca aérea de sésamo en función a dosis de B aplicados en suelo franco arenoso y franco arcillo arenoso. San Lorenzo, 2019 | 16 |
| 4. Altura de la planta de trigo en función a dosis de B aplicados en suelo franco arenoso y franco arcillo arenoso. San Lorenzo, 2019 | 17 |

LISTA DE ANEXOS

| | Página |
|---|---------------|
| 1. Análisis de varianza de la variable altura de la planta de maíz..... | 24 |
| 2. Análisis de varianza de la variable materia seca de la planta de maíz..... | 24 |
| 3. Análisis de varianza de la variable altura de la planta de sésamo..... | 24 |
| 4. Análisis de varianza de la variable materia seca de la planta de sésamo..... | 25 |
| 5. Análisis de varianza de la variable altura de la planta de trigo..... | 25 |
| 6. Análisis de varianza de la variable materia seca de la planta de trigo..... | 25 |
| 7. Tabla general de datos de las variables evaluadas con aplicación de dosis de boro en suelos de diferentes texturas en el cultivo de maíz. San Lorenzo.2018..... | 26 |
| 8. 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. 2018..... | 27 |
| 9. 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. 2019..... | 28 |
| 10. Ilustraciones de las actividades realizadas..... | 29 |

1. INTRODUCCIÓN

Existen macro y microelementos que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, diferenciándose entre ambos en la cantidad requerida, donde los macro son requeridos siempre en mayor cantidad, en tanto, los micros, aunque son utilizados en menores proporciones, también son fundamentales para tales procesos.

Entre los micronutrientes que resultan indispensables para las plantas, se encuentra el boro (B) que cumple funciones en la síntesis de paredes celulares, crecimiento reproductivo, lignificación, metabolismo fenólico e integridad de la membrana plasmática. Este elemento es considerado inmóvil a través del floema en la mayoría de las plantas, radicando su importancia en su estrecha relación con la absorción de otros nutrientes, cuya deficiencia dificulta la asimilación de potasio (K) y transporte de fósforo (P).

El B es un elemento escasamente retenido por el suelo, dependiendo de la textura, constantemente sujeto a pérdidas por lixiviación, que por más que no sea necesaria en grandes cantidades por las plantas, puede ocasionar problemas en el crecimiento si no es encontrado en niveles adecuados, así como contrariamente puede presentar niveles de toxicidad, con quemaduras en bordes de hojas, pudiendo ocasionar defoliación y/o muerte.

La fertilización con B vía foliar o aplicado directamente al suelo, busca cubrir necesidades nutricionales de los cultivos, cuya franja de toxicidad o deficiencia es estrecha, variando de acuerdo a cada especie vegetal. Los niveles de B en el suelo varían dependiendo de ciertas características del suelo, siendo encontrada en la región Oriental del Paraguay en ambos extremos, por un lado en un suelo arenoso con bajo

contenido de materia orgánica (MO) y pH ligeramente ácido a neutro y por el otro lado en un suelo arcilloso con adecuado a alto contenido de MO, y nivel de acidez activa e intercambiable significativa, condiciones que propician a que existan situaciones distintas, pudiendo ser deficitarias en un suelo y con alto riesgo de toxicidad en otro, presentándose así un problema en la producción de cultivos.

A través de esta investigación se busca generar información, evaluando respuestas en el crecimiento vegetativo de los cultivos de maíz, trigo y sésamo a la fertilización con B aplicados directamente al suelo, en procura de obtener mayores rendimientos. Por tal el objetivo general de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de dosis de B sobre algunos parámetros de crecimiento en los cultivos de maíz, sésamo y trigo en dos suelos de texturas diferentes. Los objetivos específicos fueron determinar la altura de planta y producción de materia seca por planta de maíz, sésamo y trigo. Siendo la hipótesis que la aplicación de fertilizante a base de boro, provocará aumentos en la altura y producción de materia seca de manera diferente dependiendo de las texturas presentes que son franco arenoso y franco arcillo arenoso.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Boro. Propiedades químicas

El B es un elemento químico de la tabla periódica, metaloide, semiconductor, trivalente que existe abundantemente en el mineral bórax. Presenta insolubilidad en agua, alcoholes y soluciones alcalinas, sin embargo, es soluble en metales fundidos como el cobre (Cu), magnesio (Mg), hierro (Fe), aluminio (Al) y calcio (Ca). El B, se ve afectado por el aire a temperatura ambiente, reaccionando con el flúor (F) y si la misma aumenta se calienta puede reaccionar con el cloro (Cl), bromo (Br) y azufre (S).

Es posible distinguir cinco compuestos de B por sus características individuales y sus propiedades sistemáticas: boruro metálico, hidruros de boro, trihaluros de boro, oxo compuestos boratos y organoboratos. La fuente principal de B en el suelo es la turmalina, mineral insoluble y resistente al humedecimiento. La liberación de B de este mineral bajo la forma de boratos es lentísima, lo cual explica porque la turmalina nativa del suelo no puede suministrar las cantidades que los cultivos requieren. (Condori 2016).

2.2 Boro en el suelo

Los suelos tanto de textura arenosa como arcillosa presentan deficiencias en cuanto al contenido de B, siendo aún menor en el suelo arenoso, cuya diferencia entre ambos suelos se basa en la retención y la absorción de dicho nutriente. En suelos arcillosos la retención es mayor, aunque el contenido sea bajo, mientras que en suelos arenosos la absorción es mayor, principalmente en suelos calcáreos (Castellanos 2015).

En suelos de reacción ácida, la fuente primaria de B proviene de la alteración y descomposición de la materia orgánica (MO), siendo las fuentes secundarias, las aguas de lluvia, agua de irrigación, el agua de mares y abonos (Walter 2016). La concentración total de boro en el suelo varía entre 20 a 200 mg.kg⁻¹, la mayoría del cual es inaccesible para las plantas. (Daroub & Snyder 2007) citado por Gutiérrez-Soto y Torres-Acuña 2013).

Los niveles críticos de B en el suelo varían de acuerdo a las condiciones de pH del suelo, clima, entre otros factores, siendo así el B asimilable estimativo en suelos calizos (1 ppm), en suelos arcillosos (0,8 ppm), suelos francos (0,5 ppm), y para suelos arenosos (0,3 ppm) (Vera 2001).

2.3 Boro en las plantas

El B es un micronutriente esencial requerido por las plantas para su normal desarrollo y crecimiento, siendo el intervalo de concentraciones de B normal para un determinado tipo de plantas mientras que para otras pueden ser tóxicos o deficientes (Malavé 2005). El B es indispensable para que las plantas puedan completar su ciclo, ya que poseen funciones tanto metabólicas como estructurales, y la deficiencia del mismo causaría anomalías tanto en el crecimiento como en la reproducción, por lo tanto, resulta fundamental realizar fertilización para cubrir las necesidades nutricionales (Gutiérrez-Soto y Torres-Acuña 2013).

El B es absorbido en forma de ácido bórico no disociado (H₃BO₃) o como ion borato B(OH)₄⁻, iniciándose el proceso en forma pasiva por difusión, seguida de una absorción activa. El contenido de este elemento es mayor en las zonas basales comparada con la zona más altas de las plantas, se distribuye por medio del xilema, la corriente de transpiración influye directamente en el transporte ya que es un elemento poco móvil, por este motivo los tejidos más viejos de las plantas presentan mayor acumulación de B que los tejidos jóvenes, entonces, en el caso de poseer deficiencias se observan en primer lugar en los nuevos tejidos formados (Vera 2001).

Las plantas necesitan de B para numerosos procesos durante su desarrollo, específicamente en el crecimiento, en la división celular, en el metabolismo del ácido nucleico, la germinación de granos de polen, crecimiento del tubo polínico, en la síntesis de aminoácidos y proteínas y en el transporte interno de azúcares de nitrógeno (N) y fósforo (P) (Mascarenha et al. 2014). Interviene en los procesos reproductivos, favoreciendo la retención floral y cuajado de vaina. Por este motivo, su aplicación puede realizarse a inicios del crecimiento de las vainas, momento ideal para el uso de fungicidas para el control y prevención de enfermedades de fin de ciclo (Mazzilli 2011).

2.3.1 Deficiencia y toxicidad de boro en las plantas

La deficiencia aparece primero como un crecimiento anormal o retardado de los puntos apicales. Las hojas más jóvenes se deforman, arrugan y a veces se vuelven más gruesas y de color azul-verde oscuro, aunque más pequeñas, pueden desarrollar clorosis en los bordes e internerval. Las hojas y tallos se vuelven quebradizos y frágiles, aunque con entrenudos engrosados indicando disturbio en la transpiración. A medida que progresa la deficiencia, los puntos terminales de crecimiento mueren, toda la planta se aminora y se restringe la formación de flores y vainas (Melgar et al. 2011).

En cuanto a síntomas de toxicidad, Brown y Hu (1998) mencionan que varía entre plantas de acuerdo al movimiento de B en las mismas. En cultivos donde el B es inmóvil se presentan como quemaduras en los márgenes y en la punta de las hojas, mientras que, en cultivos donde es móvil presenta muerte descendente de los brotes jóvenes, abundante secreción de resina en la axila de la hoja como también presencia de lesiones corchosas de coloración marrón a lo largo del tallo y los peciolos.

Cervilla (2009) menciona que el B en cantidades excesivas dificulta la absorción y reducción de nitrato a amonio, que a su vez disminuye la cantidad de N orgánico que afecta al crecimiento de los cultivos, dichas condiciones provocan la asimilación de amonio, y aumento en la biomasa por unidad de N disponible, lo que permite a las plantas adaptarse a estas condiciones y continuar con su ciclo.

En un experimento realizado por Fageria (2000) ha observado toxicidad en los cultivos de arroz, poroto, maíz, soja y trigo en rangos de 3 a 8,7 mg de B kg⁻¹ de suelo, con mayores rendimientos de materia seca de la parte aérea, cuando los mismos estuvieron entre 0,4 a 4,7 mg de B kg⁻¹ de suelo.

Entretanto Souza et al. (2007) utilizaron dosis de B (0, 2, 4, 6 y 12 mg kg⁻¹) en plantas de maíz, en diez suelos distintos del estado de Pernambuco, Brasil, encontrando niveles críticos y tóxicos en el suelo entre 0,4 a 2,3 mg de B kg⁻¹ y 1,8 a 8,3 mg de B kg⁻¹ respectivamente; y a su vez niveles críticos y tóxicos en el tejido vegetal entre 13,8 a 126,6 mg kg⁻¹ y 43,3 y 372,2 mg kg⁻¹ respectivamente.

2.4 Factores que afectan la disponibilidad de B en el suelo

Los principales factores que afectan la absorción de B y su disponibilidad en el suelo son el valor de pH, MO, tipo de arcilla, porcentaje de humedad y temperatura del suelo (Yamada 2017). El exceso de precipitaciones puede ocasionar lavado de este nutriente principalmente en suelos ácidos y de textura arenosa, sin embargo, en periodos de déficit hídrico favorece la fijación pasando a forma no disponible, y ocurrencia de elevadas temperaturas con una intensa luminosidad, los síntomas de deficiencia se acentúan (Vera 2001).

La mayor biodisponibilidad de B en el suelo se encuentra entre valores de pH de 5,5 a 7,0, cuya disponibilidad disminuye a valores cercanos a la neutralidad, debido a la baja solubilidad del anión borato a pH 7, sin embargo, al disminuir estos valores el borato se convierte en ácido bórico que es la forma disponibles para las plantas (Souza et al. 2010)

Los suelos de textura arenosa contienen menos cantidad de B disponible ya que se lixivian con mayor facilidad y se desplazan a las capas más profundas, sin embargo el suelo arcilloso retiene grandes cantidades de B, lo cual no significa que las plantas absorban en mayor cantidad el elemento retenido en las arcillas, la materia

orgánica resalta su importancia ya que presenta una fuerte adsorción del ión borato disponible en el suelo. (Condori 2016).

2.5 Fertilización con Boro en cultivos agrícolas

González (2018) en un experimento con dosis de B de (0,10, 20, 30 y 40 mg de B kg⁻¹) en cultivos de trigo, soja y sésamo utilizó suelos de texturas diferentes, una franco arenosa y otra arcillosa aplicando B en el cultivo de trigo, evaluando el efecto residual en los demás cultivos, observó toxicidad a partir de dosis superiores a 10 mg kg⁻¹, afectando la altura de planta y rendimiento de masa seca área.

Por su parte Aguayo et al. (2011) aplicaron B de forma foliar con 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 el cultivo de soja, donde la altura de planta no presentó efecto significativo, sin embargo el número de vainas y el rendimiento granos sufrieron aumentos. El aumento de la producción en 349 kg ha⁻¹ comparada al testigo resultó ventajosa con la dosis 9,3 g ha⁻¹.

Algunas especies forestales de eucalipto y pino presentaron aumentos en cuanto a su producción y/o calidad de madera mediante la fertilización con B con dosis de 4 g de B por planta, utilizando dos fuentes (borato de sodio y ulexita) aplicados en cobertura, mostrando ambas alta solubilidad y baja residualidad, pudiéndose considerar de suficiencia sin llegar a observarse niveles de toxicidad (Ferrando y Zamalvide, 2012)

Rubio y Vanzetti (2014) realizaron un trabajo de investigación en el cual aplicaron B de forma foliar con dosis de (0, 30, 60, 120 y 240 B mg kg⁻¹) en el cultivo de soja, no encontraron diferencias significativas en las variables de rendimiento de granos, peso de mil granos, peso hectolitro y contenido de B en granos, mientras que el contenido de B en planta estuvo cercano al límite inferior del rango normal lo que significaría una probable respuesta a futuro. Por otro lado, mencionan que, al realizar un nuevo muestreo de suelo para determinar variabilidad de B en superficie,

encontraron valores muy altos superando el umbral crítico de $0,5 \text{ mg kg}^{-1}\text{B}$ lo cual justifica la escasa respuesta en rendimiento de granos.

El rendimiento de granos de trigo luego de la aplicación de ácido bórico (17 % de B), sulfato de cobre (25 % de Cu), sulfato de zinc (22,5% Zn) y cloruro de potasio (60 % de Cl), con dosis de B 2 kg ha^{-1} ; Cu 2 kg ha^{-1} ; Zn 5 kg ha^{-1} y Cl 35 kg ha^{-1} respectivamente, no presento efecto significativo (González et al. 2017).

Brunes et al. (2015) utilizaron tetraborato de Na en el cultivo de trigo, en dos estadios que son antes de la siembra y macollaje con dosis de 0, 1, 2, 3, 4 y 5 kg de B ha^{-1} , se percataron que al momento de la siembra la aplicación no afectó la germinación, sin embargo, al aumentar las dosis maximiza la producción de granos siendo la dosis con mayor eficacia $2,49 \text{ kg de B ha}^{-1}$ con una producción de 64,5 semillas por planta, no se observaron diferencias estadísticas en el estadio de macollaje.

(Aguilar et al. 2019) realizaron una investigación con el objetivo de evaluar el efecto residual de la aplicación de boro con dosis de 0,10,20,30,40 mgkg^{-1} de suelo siendo la fuente de boro tetraborato de sodio (Bórax) con 11,5% de B en el cultivo de soja, donde observaron que en el suelo arcilloso no presenta efecto residual en las variables altura y materia seca a dosis de 40 mg kg^{-1} .

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y caracterización del área experimental

Esta investigación se realizó en el invernadero del Área Suelos y Ordenamiento Territorial, localizado en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción (FCA-UNA), en la ciudad de San Lorenzo, departamento Central, en el periodo comprendido entre noviembre de 2018 y julio de 2019.

3.2 Diseño experimental y tratamientos

Se implementó un diseño completamente al azar, en un esquema bifactorial, donde el factor 1 correspondió al suelo de texturas diferentes, uno franco arcillo arenoso proveniente del distrito de Piribebuy, departamento de Cordillera, y otro franco arenoso, perteneciente al distrito de San Lorenzo, departamento Central, el factor 2 correspondió a las dosis de B comprendidas por 0, 5, 10, 15 y 20 mg kg⁻¹, con cinco repeticiones, totalizando 50 unidades experimentales. Fueron evaluados los cultivos de maíz, sésamo y trigo. La fuente de B utilizada fue ácido bórico con 17,5 % de B, aplicado por única vez en los cultivos de maíz y sésamo, evaluando el efecto residual en el cultivo de trigo.

Tabla 1. Características químicas de los suelos utilizados en el experimento. San Lorenzo, 2018

| Análisis de suelo | pH | M.O % | P mgkg ⁻¹ | Ca ⁺⁺ Cmol _e /kg | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Al ⁺³ H ⁺ | Clase textural |
|-------------------|-----|-------|----------------------|--|------------------|----------------|-----------------|---------------------------------|------------------------|
| Pirareta | 5.4 | 1,64 | 2,82 | 1,32 | 0,82 | 0,02 | 0,01 | 0,94 | Franco arcillo arenosa |
| San Lorenzo | 5,5 | 0,42 | 6,3 | 0,43 | 0,18 | 0,09 | 0,01 | 0,87 | Franco Arenosa |

3.3 Implementación y manejo de la investigación

3.3.1 Siembra y manejo de los cultivos

La preparación del suelo consistió en tamizar cada tipo de suelo, posteriormente fue fertilizado con dosis de N, P, K, yeso agrícola y cal agrícola, con el objetivo de acondicionar el suelo a niveles adecuados de fertilidad antes de la siembra de los cultivos. Posteriormente se procedió a cargar 5 kg de suelo en cada maceta, aplicando el B ocho días antes de realizar la siembra.

La siembra de los cultivos fue realizada de forma manual, en el caso del maíz fueron colocados 5 semillas por maceta dejando 3 plantas, para el sésamo fue realizado a chorrillo y luego se procedió al raleo dejando 7 plantas por maceta, en tanto para el cultivo de trigo se colocaron 10 semillas, dejando 7 plantas por maceta. El riego se realizó en forma diaria con frecuencia de tres veces al día, debido a las elevadas temperaturas ocurridas durante el ciclo de los cultivos de maíz y sésamo, mientras que para el cultivo de trigo, solamente una vez al día debido a temperaturas más bajas.

La variedad de maíz utilizada fue Karapé pyta con un ciclo de 90 a 120 días, con alto requerimiento de luz solar, la variedad de sésamo utilizada fue Escoba blanca, de ciclo largo, 120 días, sensible al fotoperiodo, de porte alto, tipo gigante y la variedad de trigo fue la Itapúa 80 variedad precoz, de altura mediana, moderadamente resistente al acamado, maduración promedio de 115 días, resistente a roya de la hoja.

El control de plagas fue realizado para los cultivos de maíz y sésamo a los 14 días después de la siembra, se utilizó cipermetrina 1 mL en 500 mL de agua, volviendo a fumigar a los 39 DDS. Las plagas más comunes fueron orugas, chinches, hormigas.

La cosecha de cada cultivo se realizó manualmente a los 60 días después de la siembra, en etapa de floración procediendo a cortar las plantas al ras del suelo de cada unidad experimental. Las variables evaluadas fueron: altura de la planta y cantidad de materia seca.

3.4 Variables de medición

Altura de planta: se midió la altura de plantas con cinta métrica, desde la base del tallo hasta el ápice, promediándose los resultados de cada unidad experimental. Dicha medición se realizó al momento de la cosecha, dejándolas secar de tal manera a poder determinar materia seca del maíz, sésamo y trigo.

Materia seca de parte aérea: se cortaron las plantas al ras del suelo, tanto del maíz, sésamo y trigo de cada unidad experimental, dejando en el invernadero durante 72 horas, no se colocó en estufa, luego se procedió a pesar cada unidad experimental con una balanza de precisión de un decimal

3.5 Método de análisis de datos

El promedio de los datos de las variables obtenidas a evaluar, fueron sometidos a análisis de varianza (ANAVA), para determinar si hubo o no diferencias significativas entre los tratamientos, los que tuvieron dichas diferencias fueron evaluados mediante el test de Tukey al 5% de probabilidad de error experimental y análisis de regresión. Los resultados obtenidos fueron presentados e interpretados a través de figuras y tablas.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Cultivo de maíz

El cultivo de maíz presentó efecto significativo en cuanto a textura para ambas variables, mientras que por aplicación de dosis de B en el rendimiento de materia seca aérea. La altura de planta y la materia seca en el suelo franco arenoso fueron de 64,0 cm y 63,4 g, respectivamente, 6,0 cm y 33,1 g inferiores al suelo franco arcillo arenoso que presentaron valores de 70,1 cm y 96,5 g ambos (Tabla 2). Esta diferencia podría deberse exclusivamente a la baja capacidad de adherencia de este nutriente en suelos de textura arenosa, por ende, la disponibilidad sería menor, ya que el valor de pH del suelo en ambas texturas está en el mismo rango de biodisponibilidad. No se encontró interacción entre dosis y textura del suelo. (Anexo 1 y 2).

Tabla 2. Altura de la planta y materia seca del cultivo de maíz con aplicación creciente de boro en suelos franco arenoso y franco arcillo arenoso. San Lorenzo 2019.

| Textura del suelo | Altura de la planta (cm) | Materia seca (g maceta ⁻¹) |
|------------------------|--------------------------|--|
| Franco arenosa | 64,0 a | 63,4 a |
| Franco arcillo arenoso | 70,1 b | 96,5 b |
| CV(%) | 13,80 | 21,11 |

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.

Comparando con Fageria (2000) en un experimento similar realizado en un invernadero, empleando la misma fuente de boro, ácido bórico utilizó dosis de boro de 0, 1, 2, 3, 6, 12 y 24 mg kg⁻¹ de suelo en el cultivo de maíz, encontrando una producción máxima de masa seca área con la aplicación de 4,7 mg kg⁻¹ de suelo y un efecto tóxico con dosis mayores a 8,7 mg kg⁻¹ B.

En tanto, se observa que la producción de materia seca del maíz disminuye 1,4 g maceta⁻¹ por cada mg de boro (Figura 1) notándose que el aumento de las dosis ocasiona una disminución de la producción de materia seca aérea, posiblemente por efectos de toxicidad causada por este elemento en dosis mínimas inferiores a 5 mg kg⁻¹. El exceso de B en el suelo puede causar un retraso en el desarrollo y una reducción en el crecimiento vegetativo de las plantas, quemaduras en los bordes y márgenes de las hojas, así como en el número, tamaño y peso de los frutos (Cervilla 2009).

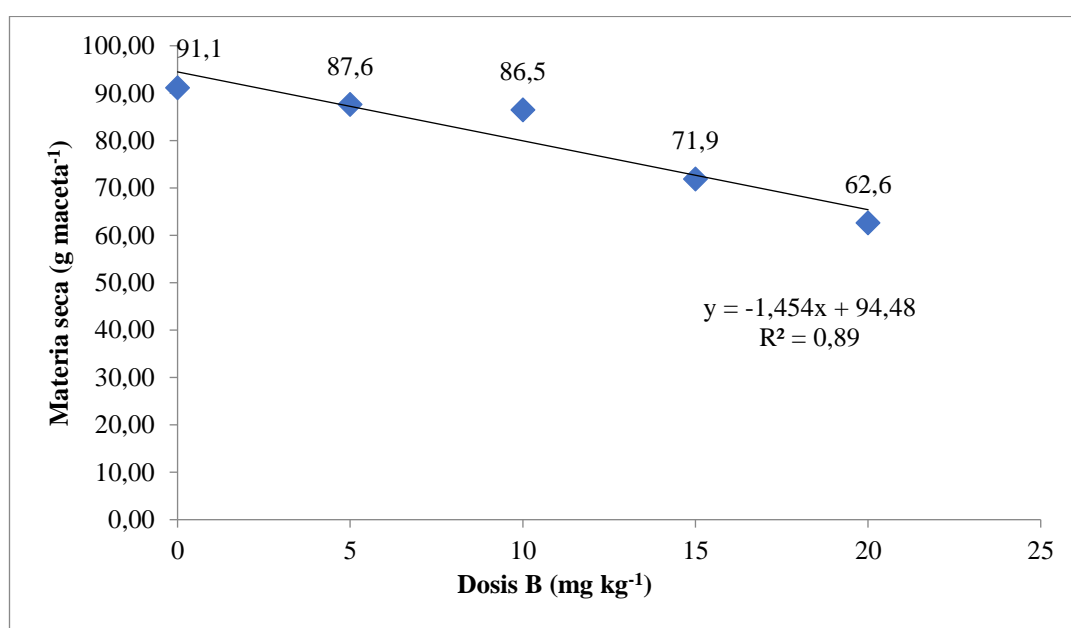


Figura 1. Materia seca de maíz en función a dosis de B aplicados en suelo franco arenoso y franco arcillo arenoso. San Lorenzo 2019.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Melgar et al. (2001) en el cultivo de maíz, en el cual utilizaron como fuente de boro, el borato pentahidratado, mediante aplicación vía foliar muestran un aumento lineal en el crecimiento vegetativo hasta una dosis máxima de 0,5 kg de B ha⁻¹ donde dosis superiores, se observa una disminución en el mismo.

En tanto que Ventimiglia y Torrens (2015) evaluando el rendimiento de granos de maíz cultivar híbrido P1778YR, encontraron un valor máximo de 13248 kg ha⁻¹, con aplicación de 2 L⁻¹ de B ha⁻¹ y extracto líquido de humus 3 L ha⁻¹ vía foliar superior en 1230 kg ha⁻¹ en relación al testigo en un suelo de textura franco arenosa.

Por su parte Anchundia (2018) realizó una investigación en el cual utilizó dosis de fertilizantes foliares a base de B y Zn en el maíz, con cantidades de 0,5 y 0,5 L ha⁻¹ aplicados a los 20 días después de la siembra alcanzando la mayor altura con 2,34 m con rendimiento máximo de 6274 kg ha⁻¹.

4.2 Cultivo de sésamo

La respuesta observada en la altura de planta del sésamo en función a las dosis de B encontró interacción con la textura del suelo (Anexo 3), obteniéndose un valor mayor en el suelo de textura franco arcillo arenoso con 87,73 cm; con una dosis optima de 2,25 mg de B, kg⁻¹, a su vez 1,4 cm fue superior al del suelo de textura franco arenosa que presentó 86,33 cm, donde disminuye 2,7 cm por cada mg de B, por efectos de toxicidad (Figura 2).

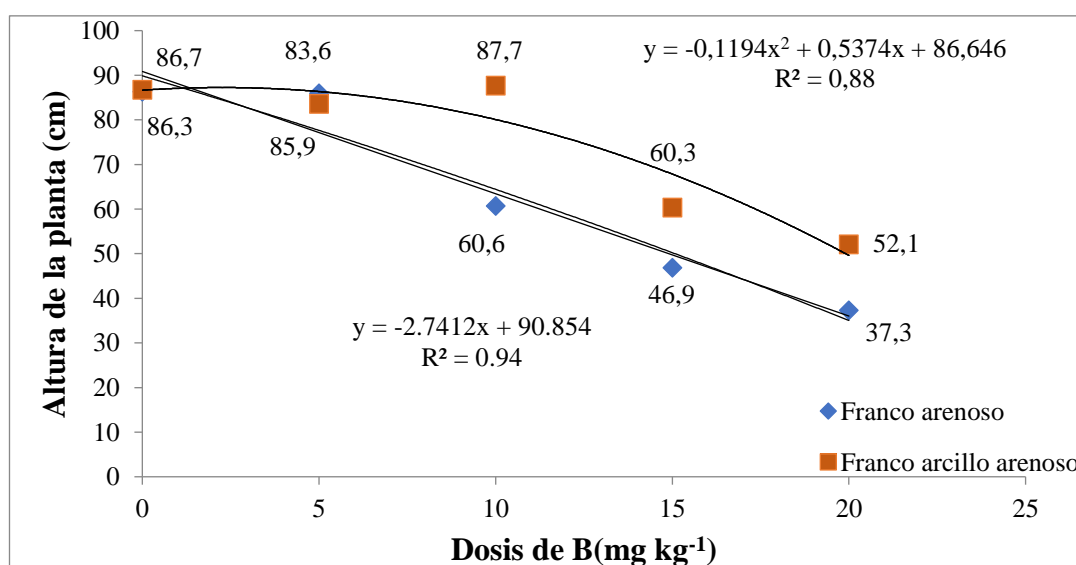


Figura 2. Altura de planta de sésamo en función a dosis de B aplicados en suelo de textura franco arcillo arenoso y franco arcillo arenoso. San Lorenzo, 2019

Contrariamente González (2018), encontró una máxima altura con dosis de 23,7 mg de B kg⁻¹ de suelo con 91 cm para la textura arcillosa, mientras que 23,2 mg de B kg⁻¹ para el suelo de textura franco arenosa con una altura de 86 cm, en dosis superiores observó efectos tóxicos.

Aguayo et al. (2011) evaluaron la aplicación de B vía foliar en la producción de soja en un suelo de textura arcillosa proveniente del Alto Paraná, no afectando la altura de planta, sin embargo, el número de vainas, el peso de mil semillas y el rendimiento de granos aumentaron significativamente en función a las dosis de B aplicado, resultando ventajosa a partir de la dosis de $9,3 \text{ g ha}^{-1}$ con ganancias de 349 kg ha^{-1} .

Amaro y Paredes (2000) mencionan la aplicación de B en un suelo franco arcilloso con dosis de $0,4 \text{ kg ha}^{-1}$ donde evaluaron crecimiento de la planta y producción de granos en el cultivo de sésamo, la mayor tasa de crecimiento diario fue a los 60 días con 2,90 cm, mientras que la producción de granos presentó un rendimiento medio de 1.865 kg ha^{-1} comparada con el testigo que presentó una producción de 844 kg ha^{-1} , destacando que hubo una mejor respuesta a la aplicación vía semilla en relación a la aplicación foliar. En tanto Hamideldin y Hussein (2014), del mismo modo en una investigación similar, el cual consistió en la aplicación foliar con B en dosis de 20, 30 y 40 ppm; la máxima altura alcanzada fue de 177,0 cm con 20 ppm, comparada al testigo con 146,2 cm.

La materia seca aérea observa una mayor producción en el suelo franco arcillo arenoso con $92,4 \text{ g maceta}^{-1}$, mientras que en el suelo franco arenoso apenas alcanzó una producción de $53,6 \text{ g maceta}^{-1}$ (Figura 3) donde en ambos suelos con texturas distintas, ha disminuido el crecimiento vegetativo con el aumento de dosis de B, posiblemente por efecto de toxicidad a partir de 5 mg kg^{-1} , donde que por cada mg de B aplicado disminuyen 3 g y 1,9 g de materia seca área en el suelo franco arcillo arenoso y franco arenoso respectivamente. Se encontró interacción entre textura y dosis (Anexo 4)

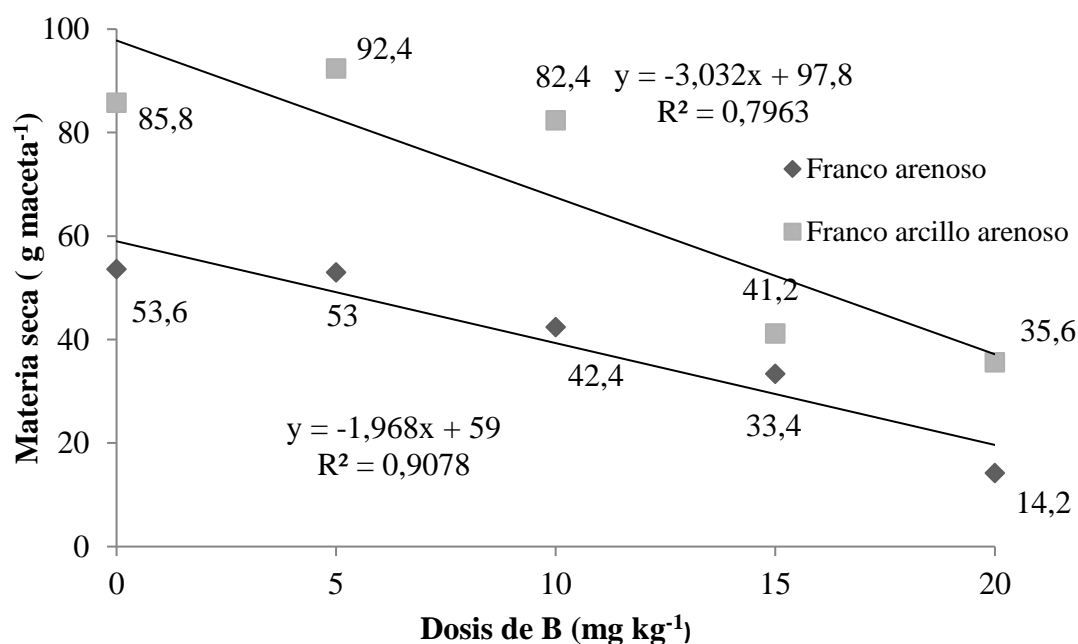


Figura 3. Masa seca aérea de sésamo en función a dosis de B aplicados en suelo franco arenoso y franco arcillo arenoso. San Lorenzo, 2019

Contrariamente González et al. (2019) presentaron aumento en la producción de materia seca en el cultivo de sésamo con dosis de 20 mg kg⁻¹ en la textura arcillosa con promedio de 39,9 g y en la textura franco arenosa 34,7 g.

4.3 Cultivo de trigo

La altura de planta presentó diferencias significativas, observándose un mayor valor en el suelo de textura franco arcillo arenoso con 38,1 cm, superior apenas 2,3 cm, comparado al suelo de textura franco arenosa que obtuvo 35,8 cm (Tabla 3). Por su parte la masa seca aérea no observó diferencias significativas entre ambas texturas, con escasa diferencia de 0,47 gramos (Anexo 5y6). Sin embargo, fue observada interacción entre dosis de B y textura del suelo para la altura de planta, notándose una disminución en el suelo franco arcillo arenoso en función a las dosis de B, por efecto de toxicidad, no así en la altura de planta en el suelo arenoso, presentándose un efecto contrario donde la misma aumenta en función al aumento de dosis de B. La dosis de máxima eficiencia para la textura franco arcillo arenoso fue de 15,76 mg de B, con una altura máxima de 31,21 cm, en tanto en el suelo franco arenoso la altura de planta aumenta 0,19 cm por cada g de boro aplicado. (Figura 4)

Tabla 3. Altura de la planta y materia seca del cultivo de trigo con aplicación creciente de boro en suelos franco arenoso y franco arcillo arenoso. San Lorenzo 2019.

| Textura del suelo | Altura de la planta (cm) | Materia seca (g maceta ⁻¹) |
|------------------------|--------------------------|--|
| Franco arenosa | 35,8 a | 10,1 ^{ns} |
| Franco arcillo arenoso | 38,1 b | 10,5 |
| CV(%) | 7,85 | 15,03 |

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.

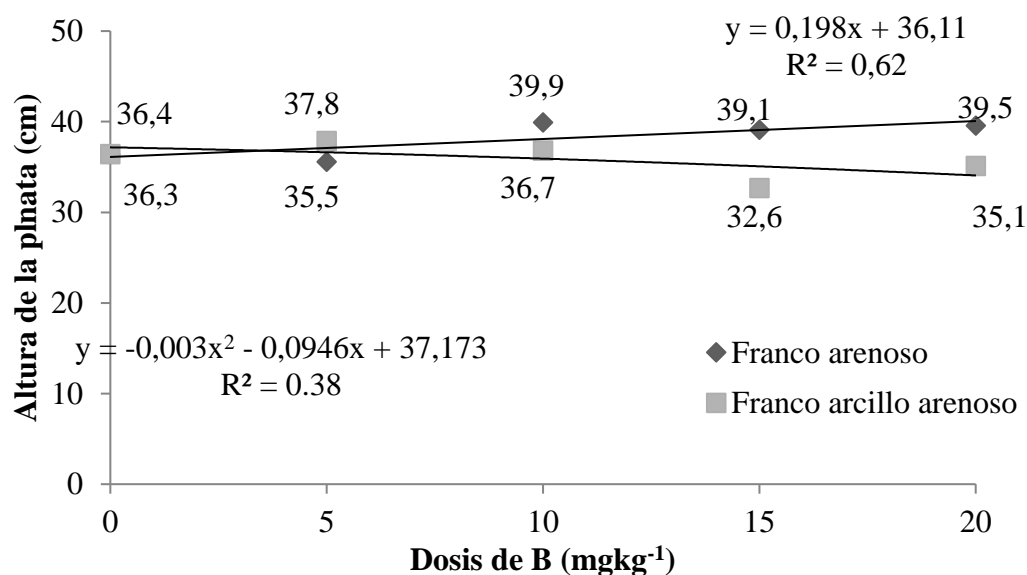


Figura 4. Altura de la planta de trigo en función a dosis de B aplicados en suelo franco arenoso y franco arcillo arenoso. San Lorenzo, 2019.

Ashagre et al. (2014) obtuvieron resultados semejantes al determinar el efecto de la aplicación de B en la germinación de semillas y en el crecimiento de plantas de trigo, utilizando dosis de 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8 y 16 mg L⁻¹ siendo ácido bórico la fuente utilizada donde la masa seca, el número de raíces y el índice de vigor de las plántulas disminuyeron en dosis superiores a 0,25 mg L⁻¹, por efectos de toxicidad.

Mientras que, González (2018) indica una máxima altura de la planta con dosis de 11,3 mg de B kg⁻¹ de suelo con 65,8 cm, luego disminuye por efecto de

toxicidad, en tanto, la materia seca obtuvo su menor acumulación con dosis de 34,5 mg de B kg⁻¹ de suelo.

González et al. 2017 realizaron una investigación en el distrito de Capitán Miranda, departamento de Itapúa, en el cual aplicaron cuatro micronutrientes en el cultivo de trigo con el objetivo de evaluar efectos sobre su producción, utilizando dosis de 2 kg ha⁻¹ de B; 2 kg ha⁻¹ de Cu; 5 kg ha⁻¹ de Zn y 35 kg ha⁻¹ de Cl en un suelo de textura arcillosa, en donde no hubo respuestas ante la aplicación de dichos micronutrientes.

Mientras que Furlani et al. (2003) evaluaron cuatro variedades de trigo IAC 24; IAC 60 ;IAC 287 ;IAC 289; en donde la dosis de boro utilizada fue de 0,2 mg de B L⁻¹ de solución; donde la mayor altura obtenida fue de 95 cm en la variedad IAC 287.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en esta investigación se concluye que:

El cultivo de maíz se ve afectado negativamente con la mínima aplicación de boro, ya que sufre una disminución en cuanto a altura de la planta y producción de materia seca aérea.

El cultivo de sésamo reacciona en forma negativa a la aplicación de boro, ya que disminuye la altura de la planta y así también la materia seca aérea en dosis superiores a 5 mg kg^{-1}

La altura de planta de trigo disminuye con dosis superiores a 10 mg kg^{-1} en el suelo franco arcillo arenoso, contrariamente la textura franco arenosa aumenta con las dosis, mientras que la materia seca no es influenciada por las dosis de boro.

Las dosis de B recomendada para maíz son dosis inferiores a 5 mg kg^{-1} ; sésamo 5 mg kg^{-1} mientras que para el cultivo de trigo 10 mg kg^{-1} .

6. REFERENCIAS

- Aguayo, T; Rasche, J; Britos, C ;Karajallo, J ;González, A.2011. Fertilización foliar con boro y su efecto sobre el cultivo de soja. *Investigación Agraria* 17(2): 129-137.
- Aguilar, Z; Roa, G; Fatecha, D; Rasche, J.2019.Boro residual y su efecto en el cultivo de la soja en un suelo arcilloso.III Congreso Paraguayo de Ciencia del Suelo.VI Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos. 407-409p.
- Anchundia.N.2018.Efectos de la fertilización de boro y zinc en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays L*), en la zona de Babahoyo.Los Rios, Ec. Universidad Técnica de Babahoyo.65p.
- Amaro, M; Paredes, J.2000.Producción de *Sesamum indicum L*. Influenciada por dosis de diferentes fertilizantes en suelo franco arcilloso. *Investigación agraria* 5 (2):25-29.
- Ashagre, H; Hamza, I; Fita, U; Nedesá, W. 2014. Influence of boro non seed germination and seedling growth of (*Triticum aestivum L.*) *African Journal Plant Science*; 8(2): 133-139.
- Brown,P; Hu, H.(1998). Manejo del boro de acuerdo a su movilidad en la planta. *Bettercrops* 82(2): 28-31
- 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.
- Castellanos, J. 2015. El boro en la nutrición de los cultivos (en línea). Consultado 04 nov. 2018. Disponible en <http://agriculturers.com/el-boro-b-en-la-nutricion-de-los-cultivos>
- Cervilla, L. 2009. Respuesta fisiológica y metabólica a la toxicidad por boro en plantas de tomate : estrategias de tolerancia. Granada, ES, Universidad de Granada.161p.
- Condori, M. 2016. Estudio de niveles de boro y arsénico en suelo agrícola en el distrito de Cocachacra valle de tambo. Arequipa, Perú, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 123p.

- Fageria, NK.(2000). Niveis adequados e tóxicos de boro na produção de arroz, feijão, milho, soja, e trigo em solo de cerrado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 4(1): 57-62
- Ferrando, M; Zamalvide, J.(2012).Aplicación de boro en eucalipto: comparación de fuentes.Revista Árvore, Viçosa-MG 36(6):1191-1197,
- Furlani, A; Carvalho, C; Freitas, J; Fontanetti, M. 2003. Wheat cultivar tolerance to boron deficiency and toxicity in nutrient solution. Scientia Agrícola 60 (2); 359-370.
- González, A; Szostak. A; Morel, J.2017. Fertilización del cultivo de trigo con micronutrientes boro, cobre, zinc y cloro en un suelo arcilloso rojo bajo siembra directa en Capitán Miranda- Paraguay. Tecnología Agraria 2(1):24-28
- González, A; Osorio,I; Rasche, J; Leguizamón, C; Fatecha, D. 2019.Fertilização com boro em trigo, soja e gergelim em solos de diferentes texturas. Revista Cultivando o saber 12(2): 149-169.
- González, A.2018.Fertilización con boro en trigo, soja y sésamo en suelos de diferentes texturas. San Lorenzo, Py. Universidad Nacional de Asunción.41p.
- Gutiérrez-Soto, M V; Torres-Acuña, J. (2013). Síntomas asociados a la deficiencia de boro en la palma aceitera (*Elaeisguineensis*JACQ.) en Costa Rica. Agronomía Mesoamericana 24(2):441-449. Consultado 6 nov. 2018. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/437/43729228021pdf>.
- 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.
- Mascarenha, A ; Esteves, J; Wutke, E; Gallo, P. 2014. Micronutrientes em soja no estado de São Paulo. Nucleus 11(1): 179-198.
- Malavé,A .2005. Los suelos como fuente de boro para las plantas. Revista UDO Agrícola 5(1): 10-26
- Mazzilli, S. 2011, Evaluación de la respuesta a la aplicación de micronutriente en soja sobre el rendimiento de grano. Consultado 4 nov.2018. Disponible en http://www.lageycia.com/archivos/research_72_file.pdf.
- Melgar, R; Lavandera, J; Torres, M; Ventimiglia, L.2001. Respuesta a la fertilización con boro y zinc en sistemas intensivos de producción de maíz. Ciencia del suelo 19(2): 109-114.
- Melgar, R ;Vitii, G ;Benites, V.2011. Soja en Latinoamérica: fertilizando para altos rendimientos. Argentina. Instituto Internacional de la Potasa. 175p.

- Rubio, F; Vanzetti, G. 2014. Disponibilidad de boro en un suelo de Justiniano Posse y respuesta a la aplicación foliar en soja. Córdoba, AR, Universidad Nacional de Córdoba. 11p.
- Souza, L; Ferreira, R; Alvarez, V; Albuquerque, V.(2010). Efeito do pH do solo rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium Japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. Revista Brasileira de Ciência do solo 34(5):1641-1652.
- 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. Revista Brasileira Científica (31):73-79.
- Ventimiglia, L; Torrens, L.2015. Efecto del zinc, boro y otros nutrientes en el rendimiento del maíz. Estación experimental agropecuario pergamino. 54p.
- Vera, A. 2001. El boro como nutriente esencial (en línea). Consultado 12 set. 2018. Disponible en <http://static.plenummedia.com/40767/files/20150523033838-el-boro-como-nutriente-esencial.pdf>
- Yamada, T. 2017.Síndrome das raízes atrofiadas II: o que afeta a produtividade da soja é o baixo desenvolvimento do sistema radicular, causado também pela carencia de boro. Agro DBO 86(6):1-11.
- Walter, PA. 2016. Presencia de boro en las aguas de riego del valle Calchaquí (Salta, Argentina), variable limitante para la producción agrícola y el desarrollo. Salta, AR. Universidad Nacional de Salta. 133 p.

ANEXOS

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

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|------------|----|----------------|-------------------|-------|
| Altura(cm) | 50 | 0,35 | 0,20 | 13,80 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III).

| F.V | SC | Gl | CM | F | p-valor |
|-------------------|---------|----|--------|------|---------|
| Modelo | 1820,28 | 9 | 202,25 | 2,36 | 0,0303 |
| Factor 1 | 464,09 | 1 | 464,09 | 5,42 | 0,0251 |
| Factor 2 | 552,10 | 4 | 138,03 | 1,61 | 0,1902 |
| Factor 1*Factor 2 | 804,09 | 4 | 201,02 | 2,35 | 0,0708 |
| Error | 3426,32 | 40 | 85,66 | | |
| Total | 5246,60 | 49 | | | |

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

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-----------------|----|----------------|-------------------|-------|
| Materia seca(g) | 50 | 0,66 | 0,59 | 21,11 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III).

| F.V | SC | Gl | CM | F | p-valor |
|-------------------|----------|----|----------|-------|---------|
| Modelo | 22435,62 | 9 | 2492,85 | 8,75 | <0,0001 |
| Factor 1 | 13744,82 | 1 | 13744,82 | 48,25 | <0,0001 |
| Factor 2 | 5915,72 | 4 | 1478,93 | 5,19 | 0,0018 |
| Factor 1*Factor 2 | 2775,08 | 4 | 693,77 | 2,44 | 0,0629 |
| Error | 11395,20 | 40 | 284,88 | | |
| Total | 33830,82 | 49 | | | |

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

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|------------|----|----------------|-------------------|-------|
| Altura(cm) | 50 | 0,79 | 0,74 | 15,43 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III).

| F.V | SC | Gl | CM | F | p-valor |
|-------------------|----------|----|---------|-------|---------|
| Modelo | 16937,41 | 9 | 1881,93 | 16,70 | <0,0001 |
| Factor 1 | 1423,00 | 1 | 1423,00 | 12,63 | 0,0001 |
| Factor 2 | 14096,06 | 4 | 3524,02 | 31,27 | <0,0001 |
| Factor 1*Factor 2 | 1418,35 | 4 | 354,59 | 3,15 | 0,0243 |
| Error | 4507,47 | 40 | 112,69 | | |
| Total | 21444,88 | 49 | | | |

Anexo 4. 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 | 0,87 | 0,84 | 19,82 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III).

| F.V | SC | Gl | CM | F | p-valor |
|-------------------|----------|----|---------|-------|---------|
| Modelo | 29676,40 | 9 | 3297,38 | 29,44 | <0,0001 |
| Factor 1 | 9912,32 | 1 | 9912,32 | 88,51 | <0,0001 |
| Factor 2 | 17906,40 | 4 | 4476,60 | 39,97 | <0,0001 |
| Factor 1*Factor 2 | 1857,68 | 4 | 464,42 | 4,15 | 0,0067 |
| Error | 4479,60 | 40 | 111,99 | | |
| Total | 34156,00 | 49 | | | |

Anexo 5. Análisis de varianza de la variable altura de la planta de trigo.

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|------------|----|----------------|-------------------|------|
| Altura(cm) | 50 | 0,40 | 0,27 | 7,85 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III).

| F.V | SC | Gl | CM | F | p-valor |
|-------------------|--------|----|-------|------|---------|
| Modelo | 225,22 | 9 | 25,02 | 2,98 | 0,0083 |
| Factor 1 | 67,30 | 1 | 67,30 | 8,00 | 0,0073 |
| Factor 2 | 36,14 | 4 | 9,03 | 1,07 | 0,3821 |
| Factor 1*Factor 2 | 121,78 | 4 | 30,44 | 3,62 | 0,0131 |
| Error | 336,46 | 40 | 8,41 | | |
| Total | 561,68 | 49 | | | |

Anexo 6. 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 | 0,15 | 0,00 | 15,03 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III).

| F.V | SC | Gl | CM | F | p-valor |
|-------------------|--------|----|------|------|---------|
| Modelo | 17,50 | 9 | 1,94 | 0,81 | 0,6093 |
| Factor 1 | 2,78 | 1 | 2,78 | 1,16 | 0,2877 |
| Factor 2 | 8,97 | 4 | 2,24 | 0,94 | 0,4534 |
| Factor 1*Factor 2 | 5,74 | 4 | 1,44 | 0,60 | 0,6659 |
| Error | 95,94 | 40 | 2,40 | | |
| Total | 113,44 | 49 | | | |

Anexo 7. Tabla general de datos de las variables evaluadas con aplicación de dosis de boro en suelos de diferentes texturas en el cultivo de maíz. San Lorenzo.2018.

| Suelo | Dosis B (mg kg ⁻¹) | Altura(cm) | Materia seca (g) |
|------------------------|--------------------------------|------------|------------------|
| Franco arenoso | 0 | 69 | 88 |
| Franco arenoso | 0 | 57 | 66 |
| Franco arenoso | 0 | 58 | 61 |
| Franco arenoso | 0 | 72 | 95 |
| Franco arenoso | 0 | 45 | 38 |
| Franco arcillo arenoso | 0 | 75 | 102 |
| Franco arcillo arenoso | 0 | 74 | 95 |
| Franco arcillo arenoso | 0 | 71 | 135 |
| Franco arcillo arenoso | 0 | 58 | 108 |
| Franco arcillo arenoso | 0 | 72 | 123 |
| Franco arenoso | 5 | 72 | 66 |
| Franco arenoso | 5 | 33 | 44 |
| Franco arenoso | 5 | 61 | 43 |
| Franco arenoso | 5 | 66 | 65 |
| Franco arenoso | 5 | 63 | 77 |
| Franco arcillo arenoso | 5 | 70 | 100 |
| Franco arcillo arenoso | 5 | 82 | 123 |
| Franco arcillo arenoso | 5 | 79 | 132 |
| Franco arcillo arenoso | 5 | 79 | 92 |
| Franco arcillo arenoso | 5 | 81 | 134 |
| Franco arenoso | 10 | 63 | 64 |
| Franco arenoso | 10 | 79 | 78 |
| Franco arenoso | 10 | 66 | 72 |
| Franco arenoso | 10 | 80 | 63 |
| Franco arenoso | 10 | 72 | 90 |
| Franco arcillo arenoso | 10 | 65 | 90 |
| Franco arcillo arenoso | 10 | 81 | 89 |
| Franco arcillo arenoso | 10 | 75 | 121 |
| Franco arcillo arenoso | 10 | 77 | 108 |
| Franco arcillo arenoso | 10 | 67 | 90 |
| Franco arenoso | 15 | 60 | 45 |
| Franco arenoso | 15 | 58 | 63 |
| Franco arenoso | 15 | 55 | 51 |
| Franco arenoso | 15 | 72 | 90 |
| Franco arenoso | 15 | 70 | 70 |
| Franco arcillo arenoso | 15 | 69 | 71 |
| Franco arcillo arenoso | 15 | 76 | 71 |
| Franco arcillo arenoso | 15 | 68 | 81 |
| Franco arcillo arenoso | 15 | 55 | 55 |
| Franco arcillo arenoso | 15 | 72 | 122 |
| Franco arenoso | 20 | 51 | 34 |
| Franco arenoso | 20 | 75 | 50 |
| Franco arenoso | 20 | 75 | 56 |
| Franco arenoso | 20 | 60 | 55 |
| Franco arenoso | 20 | 66 | 60 |
| Franco arcillo arenoso | 20 | 74 | 75 |
| Franco arcillo arenoso | 20 | 68 | 88 |
| Franco arcillo arenoso | 20 | 49 | 75 |
| Franco arcillo arenoso | 20 | 63 | 73 |
| Franco arcillo arenoso | 20 | 50 | 60 |

Anexo 8. 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.2018.

| Suelo | Dosis B (mg kg ⁻¹) | Altura(cm) | Materia seca (g) |
|------------------------|-----------------------------------|-------------|------------------|
| Franco arenoso | 0 | 91 | 80 |
| Franco arenoso | 0 | 76 | 45 |
| Franco arenoso | 0 | 87 | 58 |
| Suelo | Dosis de B (mg kg ⁻¹) | Altura (cm) | Materia seca (g) |
| Franco arenoso | 0 | 80 | 33 |
| Franco arenoso | 0 | 98 | 52 |
| Franco arcillo arenoso | 0 | 91 | 108 |
| Franco arcillo arenoso | 0 | 89 | 78 |
| Franco arcillo arenoso | 0 | 98 | 84 |
| Franco arcillo arenoso | 0 | 76 | 89 |
| Franco arcillo arenoso | 0 | 81 | 70 |
| Franco arenoso | 5 | 87 | 68 |
| Franco arenoso | 5 | 91 | 63 |
| Franco arenoso | 5 | 89 | 41 |
| Franco arenoso | 5 | 77 | 38 |
| Franco arenoso | 5 | 86 | 55 |
| Franco arcillo arenoso | 5 | 92 | 83 |
| Franco arcillo arenoso | 5 | 83 | 95 |
| Franco arcillo arenoso | 5 | 84 | 105 |
| Franco arcillo arenoso | 5 | 73 | 87 |
| Franco arcillo arenoso | 5 | 81 | 92 |
| Franco arenoso | 10 | 32 | 38 |
| Franco arenoso | 10 | 75 | 38 |
| Franco arenoso | 10 | 64 | 40 |
| Franco arenoso | 10 | 62 | 49 |
| Franco arenoso | 10 | 71 | 47 |
| Franco arcillo arenoso | 10 | 93 | 79 |
| Franco arcillo arenoso | 10 | 74 | 68 |
| Franco arcillo arenoso | 10 | 86 | 80 |
| Franco arcillo arenoso | 10 | 88 | 96 |
| Franco arcillo arenoso | 10 | 97 | 89 |
| Franco arenoso | 15 | 29 | 31 |
| Franco arenoso | 15 | 76 | 43 |
| Franco arenoso | 15 | 47 | 35 |
| Franco arenoso | 15 | 32 | 25 |
| Franco arenoso | 15 | 50 | 33 |
| Franco arcillo arenoso | 15 | 62 | 38 |
| Franco arcillo arenoso | 15 | 68 | 50 |
| Franco arcillo arenoso | 15 | 50 | 38 |
| Franco arcillo arenoso | 15 | 56 | 35 |
| Suelo | Dosis de B (mg kg ⁻¹) | Altura (cm) | Materia seca (g) |
| Franco arcillo arenoso | 15 | 66 | 45 |
| Franco arenoso | 20 | 37 | 25 |
| Franco arenoso | 20 | 38 | 15 |
| Franco arenoso | 20 | 42 | 8 |
| Franco arenoso | 20 | 37 | 13 |
| Franco arenoso | 20 | 33 | 10 |
| Franco arcillo arenoso | 20 | 48 | 33 |
| Franco arcillo arenoso | 20 | 37 | 20 |
| Franco arcillo arenoso | 20 | 55 | 38 |
| Franco arcillo arenoso | 20 | 56 | 40 |
| Franco arcillo arenoso | 20 | 66 | 47 |

Anexo 9. 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.2019.

| Suelo | Dosis B (mg kg ⁻¹) | Altura(cm) | Materia seca (g) |
|------------------------|--------------------------------|------------|------------------|
| Franco arenoso | 0 | 40 | 9 |
| Franco arenoso | 0 | 37 | 8 |
| Franco arenoso | 0 | 32 | 10 |
| Franco arenoso | 0 | 37 | 13 |
| Franco arcillo arenoso | 0 | 35 | 14 |
| Franco arcillo arenoso | 0 | 34 | 10 |
| Franco arcillo arenoso | 0 | 35 | 12 |
| Franco arcillo arenoso | 0 | 38 | 11 |
| Franco arcillo arenoso | 0 | 40 | 9 |
| Franco arenoso | 5 | 35 | 11 |
| Franco arenoso | 5 | 38 | 9 |
| Franco arenoso | 5 | 33 | 9 |
| Franco arenoso | 5 | 33 | 13 |
| Franco arenoso | 5 | 39 | 9 |
| Franco arcillo arenoso | 5 | 37 | 8 |
| Franco arcillo arenoso | 5 | 36 | 12 |
| Franco arcillo arenoso | 5 | 40 | 9 |
| Franco arcillo arenoso | 5 | 32 | 10 |
| Franco arcillo arenoso | 5 | 43 | 9 |
| Franco arenoso | 10 | 37 | 12 |
| Franco arenoso | 10 | 44 | 11 |
| Franco arenoso | 10 | 39 | 10 |
| Franco arenoso | 10 | 40 | 8 |
| Franco arenoso | 10 | 40 | 10 |
| Franco arenoso | 10 | 44,4 | 11 |
| Franco arenoso | 10 | 39 | 10 |
| Franco arenoso | 10 | 40 | 8 |
| Franco arenoso | 10 | 40 | 10 |
| Franco arcillo arenoso | 10 | 36 | 12 |
| Franco arcillo arenoso | 10 | 42 | 8 |
| Franco arcillo arenoso | 10 | 37 | 11 |
| Franco arcillo arenoso | 10 | 34 | 8 |
| Franco arcillo arenoso | 10 | 35 | 10 |
| Franco arenoso | 15 | 40 | 13 |
| Franco arenoso | 15 | 42 | 11 |
| Franco arenoso | 15 | 41 | 11 |
| Franco arenoso | 15 | 36 | 11 |
| Franco arenoso | 15 | 37 | 12 |
| Franco arcillo arenoso | 15 | 35 | 11 |
| Franco arcillo arenoso | 15 | 31 | 10 |
| Franco arcillo arenoso | 15 | 33 | 10 |
| Franco arcillo arenoso | 15 | 34 | 11 |
| Franco arcillo arenoso | 15 | 30 | 10 |
| Franco arenoso | 20 | 44 | 11 |
| Franco arenoso | 20 | 40 | 12 |
| Franco arenoso | 20 | 39 | 13 |
| Franco arenoso | 20 | 37 | 8 |
| Franco arenoso | 20 | 37 | 10 |
| Franco arcillo arenoso | 20 | 35 | 9 |
| Franco arcillo arenoso | 20 | 41 | 10 |
| Franco arcillo arenoso | 20 | 32 | 11 |
| Franco arcillo arenoso | 20 | 32 | 9 |
| Franco arcillo arenoso | 20 | 36 | 10 |

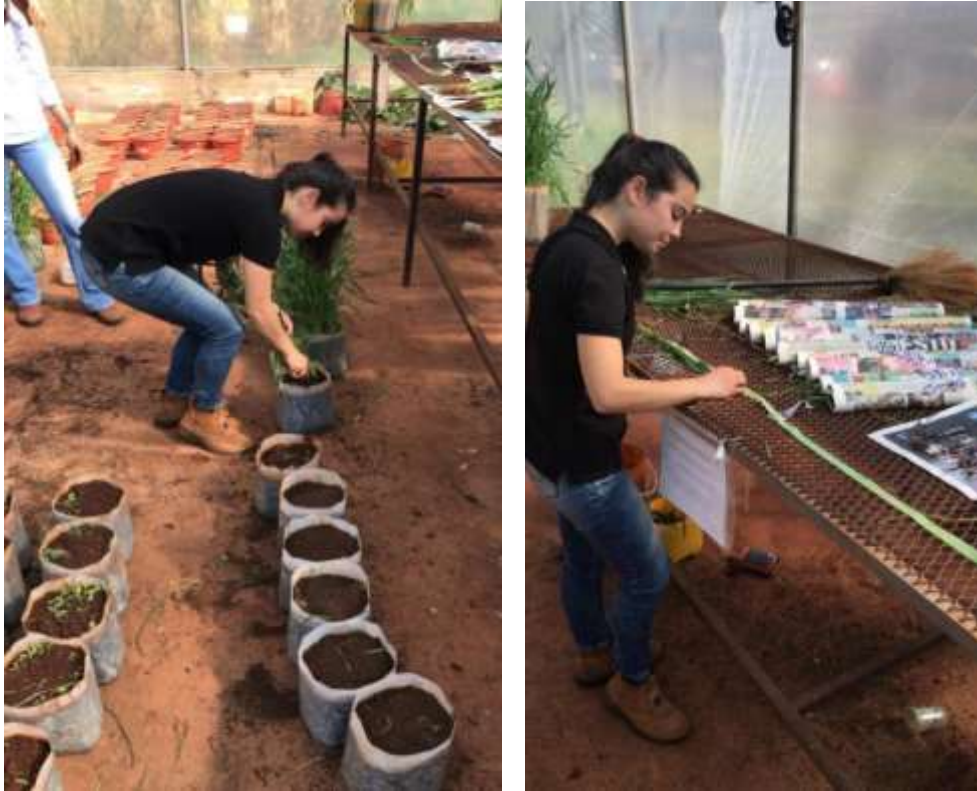
Anexo 10. Ilustraciones de las actividades realizadas.



Preparación de suelo y cargado de macetas con suelos franco arenoso y arcilloso.



Pesaje de las dosis de boro para aplicación y siembra



Cosecha, medición de altura y pesaje de materia seca.



Efecto de toxicidad por aplicación de boro en cultivo de sésamo.