

Fertilización foliar con boro en el cultivo de la soja

Foliar fertilization with boron on soybean crops

Simeón Aguayo Trinidad^{1,2*}, Jimmy Walter Rasche Álvarez^{1,2,3}, Carlos Salvador Britos Recalde¹, Julio Cesar Karajallo Figueredo^{1,2}, Alba Liz González³

¹ Escuela Superior de Enseñanza Cruce Itakyry, Universidad Nacional del Este. Itakyry, Paraguay.

² Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional del Este. Minga Guazú, Paraguay.

³ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo, Paraguay.

* Autor para correspondencia (aguayotrinidad@gmail.com)

Recibido: 24/11/2014; Aceptado: 18/11/2015.

<http://dx.doi.org/10.18004/investig.agrar.2015.diciembre.129-137>

RESUMEN

La soja es el cultivo de mayor importancia económica en Paraguay. Actualmente, la fertilización foliar constituye una de las técnicas más utilizadas para suplir las necesidades de micronutrientes, por su efectividad y eficiencia. Con el objetivo de evaluar la respuesta del cultivo de soja a la fertilización foliar con boro (B), en Itakyry, Alto Paraná, se realizó un ensayo en el que se utilizó el diseño experimental en bloques completos al azar, con 10 tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos fueron: 2,8; 3,7; 4,6; 5,6; 6,5; 7,4; 8,3; 9,3 y 10,2 g ha⁻¹ de B aplicados en la floración. Se evaluó: altura de planta, número de vainas por planta, rendimiento de granos y peso de 1.000 granos. La altura de planta no presentó diferencia significativa a nivel estadístico variando los resultados entre 57,0 y 60,3 cm, el número de vainas por planta aumentó linealmente con la aplicación de B, pasando de 43,3 vainas en el testigo, hasta 48,3 vainas por plantas. El rendimiento de granos también aumentó linealmente pasando de 3.470 kg ha⁻¹ a 3.819 kg ha⁻¹, con un incremento de 349 kg. El peso de 1.000 granos pasó de 155 g a 160 g. El incremento del rendimiento con la dosis de 9,3 g ha⁻¹ de B, comparada al testigo se muestra bastante ventajoso, principalmente cuando se considera la producción en escala.

Palabras clave: *Glycine max* (L.) Merr., fertilización boratada, rendimiento, altura, vainas.

ABSTRACT

Soybean is the most important cash crop in Paraguay. Currently, foliar fertilization is one of the most used techniques to meet trace elements needs, due to its effectiveness and efficiency. In order to evaluate the response of soybean to foliar fertilization with boron (B) on a Rhodic Paleudalf in Itakyry, Alto Paraná, a trial design in randomized complete block with 10 treatments and three replications was performed. The treatments were: 0; 2,8; 3,7; 4,6; 5,6; 6,5; 7,4; 8,3; 9,3 y 10,2 g of B per hectare, applied at blooming. The variables evaluated were: plant height, number of pods per plant, grain yield and 1,000 seeds weight. Plant height showed no significant statistical difference in values between 57.0 and 60.3 cm, pod number per plant increased by applying B, from 43.3 pods in the control to 48.3 pods per plant. Grain yield also increased, from 3,470 kg ha⁻¹ in the control to 3,819 kg ha⁻¹, which implies an increase of 349 kg ha⁻¹. The weight of 1000 seeds increased from 155 g in the control to 160 g. Yield growth with a B dose of 9.3 g/ha⁻¹, compared to that of the control is shown to be quite advantageous, especially when considering a scale production.

Key words: *Glycine max* (L.) Merr., borated fertilization, yield, height, pods.

INTRODUCCIÓN

La soja es el rubro de mayor importancia económica en los últimos años en Paraguay, convirtiéndose en el sexto mayor productor mundial de esta oleaginosa, y el cuarto mayor exportador de granos de soja. La zona de producción se concentra en los departamentos de Alto Paraná, Canindeyú e Itapúa. En la zafra 2012/2013, la soja ocupó 3.080.841 ha, con rendimiento promedio de 2.950 kg ha⁻¹, alcanzando una producción de 9.086.000 t (MAG/DCEA 2014). Actualmente se busca maximizar la producción de soja mediante la fertilización con micronutrientes, considerando el costo reducido que presenta esta práctica y la posibilidad de mayores ingresos cuando se cultiva en escala (Ceretta et al. 2005).

El boro (B) es un elemento litófilo, de baja concentración en rocas ígneas (5-10 mg kg⁻¹), que es el material de origen de la mayor parte de las áreas de siembra de soja en el Paraguay. Su geoquímica es muy influenciada por el proceso de sedimentación, siendo encontrado en mayor cantidad en las rocas sedimentarias (3-300 mg kg⁻¹ de B), y es muy afectada por la mineralogía, encontrándose en menores cantidades en la caolinita y en mayores cantidades en suelos con altos contenidos de arcillitas. Por otro lado, el B se encuentra en parte en la materia orgánica, así suelos con bajo tenor de materia orgánica pueden presentar deficiencia de B (Camargo 1988).

La deficiencia de B en las plantas se caracteriza por el acortamiento de los entrenudos; formación de roseta apical; hojas nuevas de tamaño reducido, encorvadas, deformadas y espesas; raíces negras y gruesas (Furlani et al. 2001); trastornos metabólicos y aumento en la producción de compuestos fenólicos y disminución de crecimiento de la planta (Manfredini 2008). Azevedo et al. (2002) sostienen que la deficiencia de B causa disminución de la plasticidad de las paredes celulares, impidiendo la división y elongación de las células de los tejidos meristemáticos de las raíces, observándose que las mismas se presentan con coloración oscura, cuando hay deficiencia de B, ocurriendo finalmente disminución de la longitud de las raíces principales y menor cantidad y longitud de raíces secundarias.

En las leguminosas, el B afecta la actividad de la enzima nitrogenasa en la producción de nódulos, afectando la fijación biológica de nitrógeno, la deficiencia de B causa disminución del peso seco de nódulos en las raíces, posiblemente porque con deficiencia de B ocurre degeneración de las membranas y de las paredes celulares

de las bacterias (Yamagishi y Yamamoto 1994, Azevedo et al. 2002). Por otro lado, cuando ocurre toxicidad de B en las plantas, en las hojas más viejas, ocurre clorosis marginal, principalmente en las hojas del tercio inferior, manchas rojizas a negras, con aspecto de herrumbre y posterior necrosis del tejido (Furlani et al. 2001, Azevedo et al. 2002).

La disponibilidad de boro en el suelo y su absorción, además de las condiciones químicas del suelo, pueden ser afectados por la textura de este último, ya que ese nutriente puede ser absorbido con mayor facilidad en suelos arenosos (Pegoraro et al. 2008). Plantas cultivadas en suelos arenosos con bajas dosis de B pueden presentar toxicidad, mientras que plantas de soja sembradas en suelos con mayor tenor de arcilla necesitan mayores dosis de B para obtener el máximo rendimiento (Moreira et al. 2010). Existen diferentes respuestas a la aplicación de B en cultivos de soja y en otros cultivos agrícolas y en diferentes condiciones de manejo y ambientes (Trautmann et al. 2014, Fageria 2000, Furlani et al. 2001, Oliveira Junior et al. 2014, Bevilaqua et al. 2002).

Existe diferencia entre cultivares de soja en relación al nivel de suficiencia y de toxicidad de B, donde el logro de buenos rendimientos depende de otros aspectos del manejo adecuado de la planta y el nutriente en el campo, buscando maximizar la producción de granos de acuerdo a la disponibilidad de B en el suelo (Furlani et al. 2001).

La mejor forma de aplicación de B es durante la siembra, sin embargo, la distribución de B en el suelo es complicada, principalmente considerando la estrecha relación ente deficiencia y toxicidad en la planta (Brighenti et al. 2006), por eso la mayor parte de los productores prefieren aplicar el B en forma foliar. Además, como el B presenta baja movilidad en el floema, la opción de aplicar el B en forma foliar durante la fase vegetativa de la planta es recomendada (Mascarenhas et al. 2014). Brighenti et al. (2006) no recomiendan aplicar ácido bórico con paraquat o diuron, pues influye negativamente en la eficiencia del producto en el control de malezas. No obstante, la aplicación de B en la forma de poliboratos como el caso del Borax, no es recomendada, debido a que aumenta el pH de la solución, disminuyendo la eficiencia del glifosato en el control de malezas (Brighenti et al. 2004).

Considerando la importancia de micronutrientes, en este caso el boro, para el aumento de la productividad de cultivos comerciales este trabajo propone como objetivo

diagnosticar el efecto de la aplicación de la fertilización foliar con boro en la producción de soja, y determinar la dosis adecuada de este elemento cuando aplicado vía foliar.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el campo experimental de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Escuela Superior de Educación Cruce Itakyry, distrito de Itakyry, Alto Paraná en el periodo comprendido entre noviembre del 2011 y marzo del 2012, sobre el suelo predominante de la zona de estudio es Rhodic Paleudalf (López et al. 1995).

Inicialmente el suelo presentaba las siguientes características: arcilla 58 g kg⁻¹; pH (H₂O) 5,3; P 3 mg kg⁻¹; materia orgánica 39 g kg⁻¹; H+Al, Al³⁺, K⁺, Ca⁺² y Mg⁺² en concentraciones de 6,7; 0,3; 0,35; 4,5 y 1,1 cmol_c kg⁻¹, respectivamente y B 0,56 mg kg⁻¹. El nivel de B encontrado en el suelo del área de estudio es bajo cuando se considera el nivel crítico de 2,6 mg kg⁻¹ de suelo sugerido por Fageria (2000), mientras que según las clasificaciones de Bataglia (1988) y Resende (2004) se considera como medio (0,3 a 0,6 mg kg⁻¹ de suelo) y alto (>0,3 mg kg⁻¹ de suelo) si se considera la CQFS- RS/SC (2004).

Los datos climáticos fueron tomados de la estación meteorológica perteneciente a la Itaipú Binacional, ubicada a unos 15 km del local del experimento (Figura 1), donde se puede observar buena precipitación al inicio del experimento, con falta de precipitación entre los 28 a 73 días después de la siembra. En total se registraron 216 mm de precipitación.

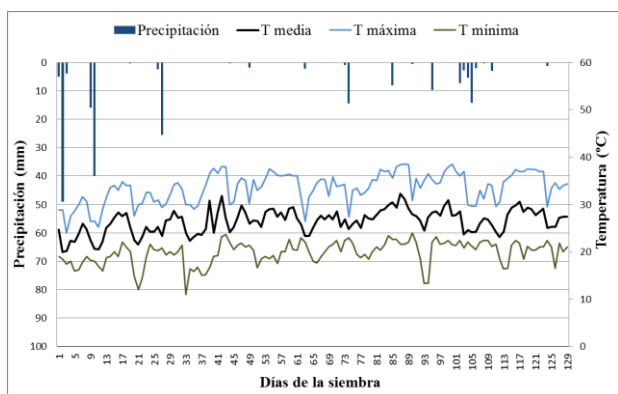


Figura 1. Datos meteorológicos de precipitación, temperatura mínima, máxima y media. Itakyry, Alto Paraná, 2012.

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con diez dosis de B, como se observa en la Tabla 1. Cada tratamiento contó con tres repeticiones, totalizando 30 unidades experimentales. Las unidades experimentales tenían 5 m de largo y 3 m de ancho (15 m²).

Tabla 1. Dosis de fertilizante foliar aplicado en cada tratamiento, en el momento de la floración en parcelas de cultivo de soja. Itakyry, Alto Paraná, 2012.

Tratamientos	Dosis de B g ha ⁻¹
T1	0,00
T2	2,78
T3	3,70
T4	4,63
T5	5,55
T6	6,48
T7	7,40
T8	8,33
T9	9,25
T10	10,18

Se utilizó un fertilizante foliar que posee 0,37% de Boro (B) y 10,5% de Calcio (Ca) indicados para mantenimiento y corrección de deficiencias vía foliar en el cultivo de soja, siendo aplicado a los 41 días de la siembra, en el momento de la floración. Las dosis en g ha⁻¹ se calculó considerando la concentración de boro y la dosis recomendada inicialmente por el fabricante del producto, que es de 1,5 L ha⁻¹ del fertilizante foliar que equivale a 5,55 g ha⁻¹ de B (T5).

La dosis del fertilizante foliar se extrajo con una jeringa de 5 mL de acuerdo a cada tratamiento, posteriormente se diluyó la dosis de B en 0,5 L de agua (333 L ha⁻¹ de agua), y se aplicó el fertilizante foliar con una mochila costal, aplicando esa cantidad de agua en cada parcela, empezando de la menor dosis a la mayor dosis de B. La aplicación de B fue realizada a las 09:00 a.m., donde gran parte del rocío ya había evaporado y la temperatura aún era baja (menos de 25°C).

Aunque el producto presenta calcio en su composición y el mismo es importante para la buena nutrición de la planta, en el presente trabajo no se considera el posible efecto de la aplicación foliar de este elemento, debido a que el mismo se encuentra en nivel alto (CQFS-RS/SC 2004) en el suelo utilizado para el experimento (4,5 cmol_c kg⁻¹).

La preparación del suelo se realizó con una arada, un mes antes de la siembra y otra una semana antes de la misma, con rastreadas para dejar el suelo en buenas condiciones. Previamente se efectuó una desecación con herbicida (glifosato) para eliminar restos de malezas.

Se utilizó una sembradora mecánica movida a tractor a una densidad de 0,45 m entre hileras y 0,06 m entre plantas, que equivale a 16 plantas por metro lineal, totalizando 355.555 plantas por hectárea.

La variedad de soja utilizada fue V-Max RR (genéticamente modificado), con crecimiento indeterminado, con ciclo de maduración semi precoz, altura potencial de planta 110 cm, y de 10 a 16 semillas por metro lineal. Las semillas fueron tratadas con fungicida e insecticida, e inoculadas con bacterias del género *Bradyrhizobium* de la cepa: SEMIA 5019 (*Bradyrhizobium elkanii*) y SEMIA 587 (*Bradyrhizobium elkanii*) de concentración mínima de 5×10^9 células viables mL⁻¹. Además se aplicó 150 kg ha⁻¹ del fertilizante químico, con la formulación de 04-30-10 de N – P₂O₅ y K₂O, respectivamente.

El control de malezas posterior a la siembra se realizó a través de una carpida a los 25 días después de la siembra (DDS).

Para el control de plagas, a los 28 DDS se utilizó lambdacialotrina 20% (400 mL ha⁻¹), a los 44 DDS teflubenzuron 15% (150 mL ha⁻¹), a los 58 DDS imidacloprid 60% (400 mL ha⁻¹) y a los 80 DDS se aplicó diflubenzuron 48% (80 g ha⁻¹).

Para el control de hongos, a los 50 DDS se aplicó azoxistrobin 20% y ciproconazole 8% (400 mL ha⁻¹), a los 67 DDS azoxistrobina 20% y ciproconazole 8% (400 mL ha⁻¹) y a los 100 DDS carbendazim 50% (500 mL ha⁻¹).

Para determinar la altura de planta, se procedió a la selección al azar de 10 plantas de soja del área útil y se midió con una cinta métrica desde la superficie del suelo hasta el ápice superior de la planta y para el número de vainas por planta, se seleccionaron al azar 15 plantas del área útil compuesta de 2 m² del cultivo en cada unidad experimental y se realizó el conteo del número de vainas en cada planta, obteniéndose un promedio al final, ambas variables evaluadas en R8.

La cosecha se realizó manualmente mediante el arranque de plantas del área útil de la parcela, cuando el cultivo

alcanzó su madurez fisiológica, es decir cuando aproximadamente el 95% de las plantas estuvieron en la etapa R8 con las vainas de color oscuro y la humedad del grano de aproximadamente 14%.

Luego se procedió a la trilla y pesaje de los granos con una balanza de precisión para determinar su rendimiento con el ajuste de humedad al 14%. Estos resultados fueron expresados en kg de granos ha⁻¹. Por último fueron contados y pesados 1.000 granos en una balanza de precisión expresándose este resultado en gramos.

El análisis estadístico de los datos se realizó con el empleo del paquete estadístico Assisat beta 7,6 (Silva 2015). Inicialmente se realizó el análisis de varianza, luego un análisis de regresión de las variables evaluadas para observar la curva de respuesta por efecto de las dosis de B aplicados.

Fue determinado el coeficiente de correlación de Pearson entre las variables evaluadas, considerando la media de cada unidad experimental, aplicando la siguiente fórmula:

$$r_{x,y} = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

Donde: $r_{x,y}$ = Coeficiente de correlación de Pearson, Cov = covarianza, X e Y = promedio de las muestras de cada matriz, en este caso la unidad experimental y σ = desvío estándar de cada matriz. Cuando r es mayor a 0,7 hay fuerte correlación, r entre 0,7 a 0,3 indica correlación moderada y r menor a 0,3 indica baja correlación, aplicando mediante el test de t al nivel de 5 y 1%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con excepción de la altura de planta, que no presentó diferencia significativa entre los tratamientos, las demás variables analizadas, altura de planta en el estadio R8, número de vainas por planta, rendimiento de granos y el peso de 1.000 granos, presentaron diferencia significativa entre los tratamientos (Tabla 2).

La aplicación de B no afectó la altura de planta (Tabla 2), que en promedio osciló entre 60,3 cm y 56,6 cm (Figura 2).

La falta de respuesta en altura de planta es bastante observada en experimentos con boro, e inclusive en algunos trabajos poseen tendencia de disminución de altura de planta, posiblemente la aplicación de boro en

forma foliar, puede causar necrosis del meristema apical de la planta de soja, e inclusive necrosar las hojas, característica típica de toxicidad de B, a causa de la fertilización boratada debido a la acumulación del producto en los bordes de las hojas después de la aplicación (Furlani et al. 2001; Azevedo et al. 2002). En este trabajo se observó indicios de necrosis del meristema apical de la planta de soja (quemazón), a pesar que la aplicación fue realizada en horas tempranas del día donde las temperaturas fueron más bajas.

Tabla 2. Valores de F y coeficiente de variación entre los tratamientos, para altura de planta en estadio R8, número de vainas por planta, rendimiento y peso de 1.000 granos. Itakyry, Alto Paraná, 2012.

Estadística	Altura de planta (cm)	Vainas por planta	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Peso de 1.000 granos (g)
Valor F	1,97 ^{ns}	4,30**	12,98**	6,15**
CV (%)	2,79	3,21	1,62	0,81

^{ns}: no significativo; ** Significativo a $p \leq 0,01$; CV: Coeficiente de variación.

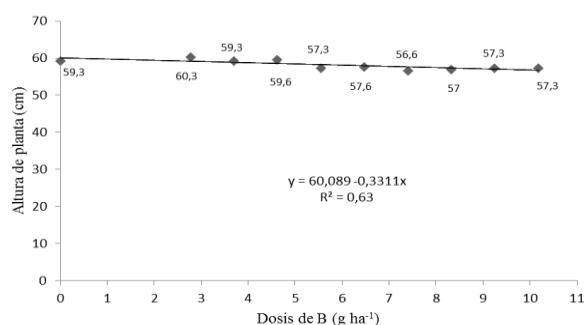


Figura 2. Altura media de plantas de soja en estadio R8, por efecto de la aplicación de dosis crecientes de B. Itakyry, Alto Paraná, 2012.

Raimundi et al. (2013) constataron que la aplicación de B en el cultivo de soja, tanto en la línea de siembra, como al voleo, en el momento de la floración, afectaron negativamente la altura de planta, por lo que además de la necrosis de las punteras por exceso de B, puede haber otras causas que expliquen la menor altura de planta cuando las mismas son tratadas con B, como el encortamiento de los entrenudos por la aplicación de B.

Por su parte Furlani et al. (2001) evaluando cinco cultivares de soja, constataron que al aplicar dosis crecientes de B, que con la dosis más baja de B hubo aumento de altura de plantas, y que dosis mayores (0,2 mg L⁻¹), no causaron incremento en la altura de planta de

soja. Silva et al. (2013) constataron que la altura de planta de girasol se ajustó a una ecuación cuadrática, donde inicialmente bajas dosis de B produjeron aumento de altura de plantas de girasol, sin embargo, al aumentar la dosis ocurrió disminución de su altura.

Existe correlación moderada, negativa y altamente significativa entre la altura de planta y el número de vainas ($r = -0,49$; $p < 0,01$); entre altura de plantas y rendimiento ($r = -0,44$; $p < 0,01$) y entre la altura de planta y el peso de 1.000 granos ($r = -0,47$; $p < 0,01$). No necesariamente las plantas con mayor altura presentarán mayor rendimiento, en el caso de la soja, plantas muy altas pueden presentar menor rendimiento debido a que pueden acamarse con facilidad, además de presentar condiciones más favorables para la proliferación de enfermedades fúngicas, siendo su control más dificultoso por el alto volumen de hojas. Raimundi et al. (2013) obtuvieron mayor altura de plantas en el tratamiento sin aplicación de B, sin embargo, fue la que presentó menor rendimiento de granos de soja.

La aplicación de B aumentó el número de vainas por planta (Tabla 2), ajustándose a una ecuación lineal, donde el incremento del número de vainas por planta fue de 0,5318 vainas por cada g de boro aplicado por hectárea (Figura 3).

Varias investigaciones demuestran que la aplicación de B causa aumento en la cantidad de vainas, como el de Raimundi et al. (2013) quienes observaron aumento de vainas por efecto de la aplicación de B en un suelo arcilloso de Alto Paraná, siendo mayor el número de vainas cuando se aplica la mitad del B en la línea de siembra y la mitad al voleo (97,6 vainas planta⁻¹), o 100% del B en la línea de siembra (87 vainas planta⁻¹), que cuando aplicado completamente al voleo en el momento del inicio de la floración (71 vainas planta⁻¹), este último semejante al tratamiento testigo (60 vainas planta⁻¹). Musskopf y Bier (2010) obtuvieron aumento del número de vainas de soja, al aplicar un fertilizante foliar con B en dosis de 1 kg ha⁻¹ en el momento de la floración.

Mientras que Possan (2010) obtuvo aumento del número de vainas en soja cuando aplicó 25% más de la dosis recomendada de B, en el estadio R3 de la soja. Sin embargo Rossi (2012) no observó aumento en el número de vainas de soja al aplicar B + Ca vía foliar (22 vainas planta⁻¹) en un experimento realizado en Santa Rita, Alto Paraná.

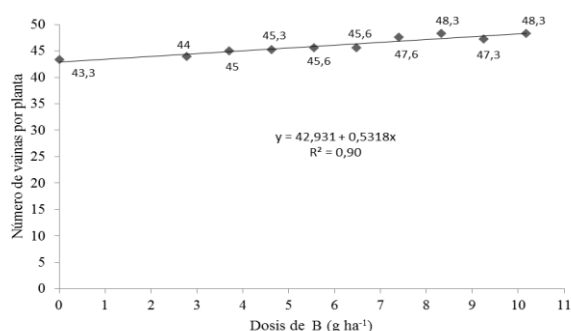


Figura 3. Número de vainas por planta de soja en estadio R8, por efecto de la aplicación de dosis crecientes de B. Itakyry, Alto Paraná, 2012.

La respuesta a la aplicación foliar podría explicarse por la baja tasa de translocación del B en el floema de la planta, por lo que se observan los síntomas de deficiencia en las hojas jóvenes o en el tejido meristemático, debido a esto, una de las opciones es la aplicación de B en forma foliar durante la fase vegetativa de la planta (Mascarenhas et al. 2014). A los 75 días después de la emergencia (DDE) empieza a disminuir la concentración de B en las hojas y trifolios, sin embargo, comienza a aumentar el tenor de B en los granos, hasta llegar en el pico de acúmulo de B en la planta, alrededor de los 98 DDE en estadio R6 (Oliveira Junior et al. 2014), demostrando que después del inicio de la floración aumenta la necesidad de absorción de B por la planta de soja, por ese motivo se puede recomendar su aplicación en forma foliar en el inicio de la floración.

De acuerdo al coeficiente de correlación de Pearson, se observó correlación fuerte, positiva y altamente significativa entre el número de vainas por planta y el rendimiento ($r = 0,71$; $p < 0,01$), así como entre el número de vainas y el peso de 1.000 granos ($r = 0,83$; $p < 0,01$). Es de esperarse que el aumento del número de vainas por planta se traduzca en un mayor número de granos por planta y así presenten mayor rendimiento, además si los granos son más pesados, habrá mayor rendimiento de granos. Plantas con mayor cantidad de vainas podría generar granos de menor peso, sin embargo, en el experimento se observa que a medida que se presentaba mayor cantidad de granos, aumentó el peso de 1.000 granos.

El rendimiento de granos aumentó con la aplicación de B (Tabla 2), donde el rendimiento se ajustó a una ecuación lineal. Como puede observarse por el tipo de ecuación, aún no se llegó al máximo rendimiento de la soja por la aplicación de boro, aunque también se observa que en la última dosis de boro aplicada no se observa aumento del

rendimiento, lo que indica que posiblemente se esté llegando a la máxima respuesta del cultivo a la aplicación de boro (Figura 4).

En este experimento tal vez faltó aplicar dosis mayores de B, para determinar hasta qué nivel aumentan los rendimientos con el aumento de dosis. Cabe resaltar que el manejo de la fertilización con boro debe ser tomada con cuidado, principalmente en aplicaciones foliares, pues el límite entre deficiencia y toxicidad es muy estrecha cuando comparada con otros nutrientes (Fageria 2000, Lima et al. 2007).

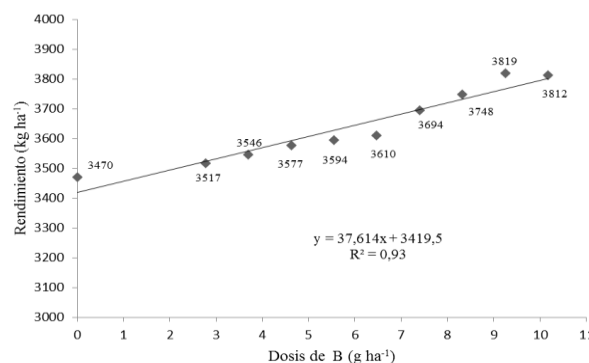


Figura 4. Rendimiento de granos de soja, por efecto de la aplicación de dosis creciente de B. Itakyry, Alto Paraná, 2012.

El rendimiento de granos de soja aumentó con la aplicación de dosis crecientes de B, llegando a la producción de 3.819 kg ha^{-1} con la aplicación de $9,25 \text{ g ha}^{-1}$ de B, de esta manera se obtiene $349 \text{ kg de granos ha}^{-1}$ adicionales comparado con el testigo sin aplicación de B, habiendo un incremento en la producción del orden del 9%, por lo tanto, sería recomendable la aplicación de B en estos casos.

Ceretta et al. (2005) obtuvieron respuesta con la aplicación de B en forma foliar en el momento del inicio de la floración, en el cultivo de soja, tanto en la producción de granos, como en el retorno económico, pero alertan que la obtención de margen económico positivo, además del aumento de producción de la soja depende del precio del grano en el mercado, existiendo años en que la aplicación de micronutrientes podrá tener retorno económico líquido positivo y años en los que el retorno económico líquido puede ser negativo.

En el Alto Paraná, Raimundi et al. (2013) obtuvieron 4.604 kg ha^{-1} cuando aplicaron $5 \text{ kg de B ha}^{-1}$ en el momento de la siembra y 5 kg ha^{-1} al voleo al inicio de la floración, frente al testigo que rindió (3.398 kg ha^{-1}),

diferencia de 1.206 kg ha⁻¹. Sin embargo cuando aplicó todo el B al voleo obtuvo 3.878 kg ha⁻¹, siendo similar con el testigo. Bevilaqua et al. (2002) constataron aumento en el peso de granos por planta en el cultivar BR16, cuando aplicado B en el momento de la floración, no así cuando aplicado en pre-floración o pos-floración o cuando es utilizado el cultivar FT cometa. Rerkasem et al. (1997) llegaron a triplicar la producción de soja con la aplicación de B. Giménez (2014) en un área cercana al presente experimento, constató aumento en el rendimiento de girasol por efecto de la aplicación de B.

El suelo del presente experimento inicialmente presentó 0,56 mg de B kg⁻¹ de suelo, considerado como adecuado según Resende (2004) quien sostiene que el rango de valores de suficiencia de B en el suelo está entre 0,3 y 0,6 mg kg⁻¹, e inclusive alto (>0,3 mg kg⁻¹) si se considera el valor de la CQFS-RS/SC (2004), por lo que no era de esperarse respuesta a la aplicación foliar de B, sin embargo, hubo respuesta a la aplicación del nutriente. Al contrario de lo que ocurrió en el presente experimento, Rossi (2012) no obtuvo respuesta en el rendimiento de granos de soja con la aplicación de B en forma foliar, en un experimento realizado en Santa Rita, Alto Paraná, donde el rendimiento de la soja osciló entre 909 a 1.417 kg de granos ha⁻¹ al igual que Possan (2010) que no encontró aumento de rendimiento de granos de soja al utilizar micronutrientes. Brighenti et al. (2006) sugieren que la falta de respuesta está relacionada al alto tenor inicial de B en el suelo y en las hojas, donde el testigo presentó 41,4 mg kg⁻¹ de B, siendo considerado superior al nivel crítico.

El peso de 1.000 granos aumentó al aplicarse fertilizante con B, el cual se ajustó a una ecuación lineal (Figura 5).

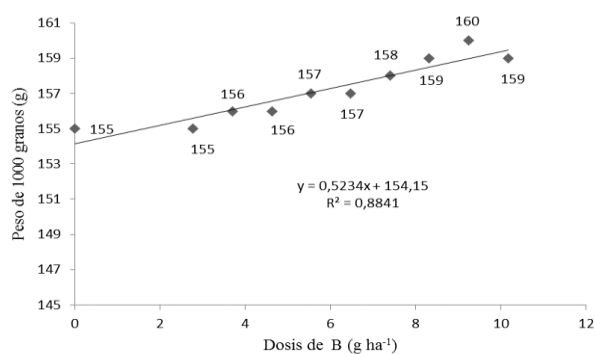


Figura 5. Peso de 1.000 granos de soja, por efecto de la aplicación de dosis creciente de B. Itakyry, Alto Paraná, 2012.

El peso de 1.000 granos del presente experimento es superior al de otros experimentos, como el de Raimundi et al. (2013) quienes obtuvieron aumento del peso de 1000 granos cuando aplicaron B totalmente en la línea de siembra (137,2 g), o la mitad del B en la siembra y la mitad de la dosis de B al voleo (153,2 g), cuando comparado con el testigo (114 g). Sin embargo, cuando aplicó todo el B al voleo el peso de 1.000 granos fue de 128,6 g, siendo similar estadísticamente con el testigo. Bevilaqua et al. (2002) constataron que la aplicación de B + Ca en la floración de la soja (80% de flores abiertas) proporcionó aumento del peso de 1.000 granos de soja.

Existe fuerte correlación, positiva y altamente significativa, entre el peso de 1.000 granos y el rendimiento ($r = 0,83$; $p < 0,01$), es de esperarse que granos más pesados proporcionen mayor rendimiento de granos, por lo tanto, esta variable junto con el número de vainas por planta, pueden ser una herramienta utilizada para predecir el rendimiento del cultivo.

CONCLUSIONES

La aplicación foliar de B aumenta el número de vainas, el rendimiento de granos y el peso de 1.000 granos, pero no afecta la altura de plantas de soja.

La dosis recomendada según este trabajo debería ser mayor a la recomendada por el fabricante del producto (5,55 g ha⁻¹), considerando que aún no se llegó al máximo rendimiento de granos, siendo necesario realizar más estudios para tener una recomendación segura sobre la misma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azevedo, WR; Faquim, V; Moreira, FMS; Oliveira Junior, AC; Lisboa, CC. 2002. Efeito do boro na nodulação da ervilha cultivada em solos de várzea. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37(8):1137-1143.
- Bataglia, OC. 1988. Micronutrientes: disponibilidade e interações. In: Borkert, CC; Lantmann, AF. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/ Instituto Agrônomico do Paraná/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 121-132.
- Bevilaqua, GAP; Silva Filho, PM; Possenti, JC. 2002. Aplicação foliar de cálcio e boro e componentes de

- rendimento e qualidade de sementes de soja. *Ciência Rural* 32(1):31-34.
- Brighenti, AM; Castro, C; Menezes, CC; Oliveira, FA; Fernandes, PB. 2006. Aplicação simultânea de dessecantes e boro no manejo de plantas daninhas e na nutrição mineral das culturas de soja e girassol. *Planta Daninha* 24(4):797-804.
- Brighenti, AM; Castro, C; Voll, E; Gazziero, DLP. 2004. Associação de dessecantes e boro no manejo de plantas daninhas e na nutrição mineral da cultura do girassol (*Helianthus annuus*). In: XXIV Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Controle de Plantas Daninhas. São Pedro, SP, BR 10:181-182.
- Camargo, AO. 1988. Micronutrientes no solo. In: Anais do Simpósio: enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Borket, MC; Lantmann, AF, Editores. Londrina, PR, BR. EMBRAPA-CPSO/IAPAR/SBCS. p. 103-120.
- Ceretta, CA; Pavinato, A; Pavinato, PS; Moreira, ICL; Giroto, E; Trentin, EE. 2005. Micronutrientes na soja: produtividade e análise econômica. *Ciência Rural* 35(3):576-581.
- CFS RS/SC (Comissão de Química e Fertilidade do Solo Rio Grande do Sul e Santa Catarina). 2004. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre, SBCS/NRS, 400 p.
- Fageria, NK. 2000. Níveis 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.
- Furlani, AMC; Tanaka, RT; Tarallo, M; Verdial, MF; Mascarenhas, HAA. 2001. Exigência a boro em cultivares de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 25:929-937.
- Giménez, NF. 2014 Respuesta de cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) a la fertilización foliar con nitrógeno y boro. Tesis Ing. Agr., Escuela Superior de Educación Cruce Itakyry, UNE. Itakyry, PY. 36 p.
- Lima de Souza, JCP; Nascimento, CWA; Lima de Costa, JG; Lira Junior de Andrade, M. 2007. Níveis críticos e tóxicos de Boro em solos de Pernambuco determinados em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 21:73-79.
- López, O; Gonzalez, E; de Llamas, P; Molinas, A; Franco, E; García, S; Rios A. 1995. República del Paraguay: mapa de reconocimiento de suelos de la Región Oriental. Asunción, William & Heintz Map Corporation. Esc. 1:500.000. Color.
- Manfredini, D. 2008. Cálcio e boro para soja-perene: características anatômicas e agrônômicas e concentração de nutrientes. Tesis de Maestría. Chapecó, SC, BR, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, BR. 103 p.
- MAG/DCGA (Ministerio de Agricultura y Ganadería/ Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias). 2014. Síntesis estadística de la producción agropecuaria zafra 2012/2013. Paraguay, DCEA. 48 p.
- Moreira, A; Castro, C; Oliveira, FA. 2010. Produção, teor de B e avaliação de extração em solos cultivados com soja. *Ciência Agrotécnica* 34(2):367-373.
- Muskopf, C; Bier, VA. 2010. Efeito da aplicação de fertilizante mineral cálcio e boro via foliar na cultura da soja (*Glycine Max*). *Cultivando o Saber* 3(4):83-91.
- Oliveira Junior, 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. In: Resumos expandidos de la XXXIV Reunión de Pesquisa de Soja. Agosto de 2014. Londrina, Paraná (BR). p. 137-140.
- Pegoraro, RF; Santos Neto, JA; Silva IR; Fontes, RLF; Faria, AF y Moreira, FF. 2008. Crescimento de soja em solos em resposta a dose de boro, calagem e textura do solo. *Ciência Agrotécnica* 32(4):1092-1098.
- Possan, A. 2010. Avaliação na aplicação de cálcio e boro, no estágio de floração na cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill) nas regiões do oeste catarinense. Trabajo final de grado Ing. Agr. Chapecó, SC, BR, Universidade Comunitária da Região de Chapecó, UNOCHAPECÓ. 46 p.
- Raimundi, DL; Moreira, GC; Turri, LT. 2013. Modos de aplicação de boro na cultura da soja. *Cultivando o Saber* 6(2):112-121.

- Rerkasem, B; Bell, RW; Lodkaew, S; Laneragan, JF. 1997. Relationship of seed boron concentration to germination and growth of soybean (*Glycine max*). Nutrient Cycling in Agroecosystems (HOL) 48:217-223.
- Resende, AV. 2004. Adubação de soja em área de cerrado: micronutrientes. EMBRAPA Cerrados. Planaltina, DF, BR. Documentos 115. 29 p.
- Rossi N, HA. 2012. Efecto de la aplicación de bioactivadores en el cultivo de la soja (*Glycine max* L. Merrill) en siembra directa en un suelo del distrito de Santa Rita, departamento de Alto Paraná. Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, PY, Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, FCA, UNA. 46 p.
- Silva, A. 2015. Universidade Federal de Campinas Grande, Brasil Assistat Versão 7.6 beta- DEAG-CTRN-UFCG. Disponible en <http://www.assistat.com>
- Silva, SD; Mesquita, GM; Souza, LC; Correa, TC. 2013. Boro aplicado simultaneamente a dessecação no cultivo do girassol. Global Science and Tecnology 6(3):57-66.
- Yamagishi, M; Yamamoto, Y. 1994. Effects of boron on nodule development and symbiotic nitrogen fixation in soybean plants. Soil Science and Plant Nutrition 40(2):265-274.