

Avances en las evaluaciones de boro y zinc en el cultivo de caña de azúcar en suelos derivados de ceniza volcánica de Guatemala

O. Pérez¹, F. Hernández¹, A. Velasquez², C. Ramirez³, J. Tayun⁴, L. San Juan⁵, R. Duarte⁶, V. Azañon⁷, C. Martínez⁷, M. Melgar¹, A. Sacbaja⁸, y A. Merino⁹

Introducción

Los micronutrientes al igual que los macronutrientes son muy importantes en la nutrición de la caña de azúcar, pero hasta ahora no se han estudiado a nivel local y no se conoce si están limitando la producción de caña y azúcar en la región. Los micronutrientes cumplen funciones esenciales en procesos enzimáticos, de óxido-reducción, formación de clorofila y transporte de azúcares entre otros. Recientemente se ha encontrado que los micronutrientes desempeñan papeles importantes en la resistencia de las plantas al estrés biótico y abiótico (Kirkby y Römheld, 2007).

A nivel global, las deficiencias de micronutrientes en la agricultura se están generalizando en muchos países según algunos autores debido a varias causas como el declinamiento de la fertilidad del suelo por el monocultivo, una mayor demanda de micronutrientes por prácticas agronómicas intensivas, por el uso de variedades nuevas de alto rendimiento, por el uso de fertilizantes concentrados con mayor pureza y por la expansión del cultivo en zonas marginales de baja fertilidad natural (Meyer et al., 1999; Fageria et al., 2002). Entre todos los micronutrientes, el B y el Zn se reportan como los nutrientes más deficitarios en los suelos de la mayoría de países (Fageria et al., 2002; Mellis et al., 2008), aunque las respuestas a estos micronutrientes han sido muy variables.

En Guatemala, en los dos últimos años se han iniciado algunas aplicaciones comerciales de micronutrientes especialmente de B y Zn con resultados inciertos y hay bastante interés en el tema en los diferentes ingenios. Los suelos de la zona cañera del país son suelos derivados de ceniza volcánica donde predominan los suelos Molisoles, Andisoles, Entisoles, Inceptisoles, Vertisoles y Alfisoles. Los objetivos del presente trabajo fueron: determinar la respuesta a las aplicaciones de B y Zn en los distintos suelos dedicados al cultivo de caña de azúcar, estimar el nivel crítico en el suelo y determinar la efectividad de las aplicaciones foliares de B.

Metodología

Se establecieron 10 experimentos con la misma estructura básica de tratamientos diseñados para conocer la

respuesta del cultivo a B y Zn en distintos suelos de la zona cañera de Guatemala. Ocho de ellos se establecieron en el 2013 y dos fueron establecidos en el 2014. Cinco de los ocho primeros experimentos fueron continuados en un segundo ciclo para obtener datos de primera soca. Un experimento adicional con otra estructura de tratamientos fue establecido el 2014 en un semillero básico de caña de finca Belén de ingenio La Unión.

En la **Tabla 1** se presentan las principales características químicas de los suelos de los sitios estudiados incluyendo el sitio del ensayo exploratorio adicional (con asterisco están marcados los sitios que se evaluaron por dos años (plantía y soca1).

La estructura básica de tratamientos consistió en la evaluación de tres niveles de B y dos tratamientos con Zn y un tratamiento control sin aplicación. Los tres tratamientos con B fueron dos aplicados al suelo en dosis de 2 y 4 kg de B ha⁻¹ y uno aplicado en forma foliar en dosis 1.025 gr de B l⁻¹ de agua. Los dos tratamientos con Zn fueron aplicaciones al suelo en dosis de 5 y 10 kg de Zn ha⁻¹. En el ensayo adicional de finca Belén se evaluaron niveles crecientes de B aplicados al suelo (0, 2, 4 y 8 kg de B ha⁻¹) y aplicaciones foliares con una y dos aplicaciones en las mismas dosis citadas. En ambos tipos de experimentos se evaluaron otros tratamientos que incluyeron la evaluación de otros micronutrientes y combinaciones entre ellos que no se reportan en este trabajo.

El diseño experimental utilizado en la red de 10 ensayos fue bloques al azar con 4 repeticiones por sitio con unidades experimentales de cinco surcos y 10 m de largo. En el ensayo exploratorio adicional el diseño experimental utilizado fue bloques al azar con tres repeticiones con unidades experimentales de 3 surcos por 8 m de largo.

Las fuentes utilizadas en todos los ensayos para B fue Solubor (20.5% B) y para Zn, sulfato de zinc (22% Zn). La aplicación al suelo de estos fertilizantes fue hecha en solución diluyendo la dosis en el equivalente de 200 l de agua por hectárea y aplicados en el fondo del surco previo a la siembra con excepción del ensayo adicional de finca Belén donde los productos fueron aplicados en forma directa sin diluir, siempre aplicados en el fondo del surco al momento de la siembra. En los cinco ensayos que

¹ Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar-Cengicaña

² Ingenio Tuluá

³ Ingenio Palo Gordo

⁴ Ingenio Magdalena

⁵ Ingenio Madre Tierra

⁶ Ingenio Pantaleón

⁷ Ingenio La Unión

⁸ Facultad de Agronomía-USAC

⁹ Universidad de Santiago de Compostela, España

Tabla 1. Sitios y características químicas de los suelos evaluados.

Finca ²	Suelo	Variedad sembrada ¹	Textura	pH	MO %	B ppm	Zn, ppm	
							DTPA	Mehlich 1
Belén, La Unión	Andisol	V2	AF	5.8	3.4	0.06		2.5
Buena Vista, Tululá	Vertisol	V1	FAr	6.0	2.5	0.4		3.3
Virginia, La Unión	Molisol	V1	F	6.8	3.4	0.38		2.2
El Retiro, Madre Tierra*	Entisol	V2	AF	6.3	2.0	0.06	3.7	5.6
Botón Blanco, Magdalena	Entisol	V1	FA	6.5	2.5	0.39	2.8	4.8
Xoluta, Magdalena*	Alfisol	V2	FAr	6.8	1.9	0.44	8.8	17.2
La Libertad, Palo Gordo*	Andisol	V2	FA	6.3	7.7	0.06	0.4	2.0
Pachonté, Palo Gordo	Inceptisol	V3	FAr	5.7	3.8	0.22	1.4	3.9
Limonés, Pantaleón*	Molisol	V1	FA	6.3	5.6	0.12	1.9	2.6
Santa Margarita, Tululá	Vertisol	V1	Ar	6.7	2.7	0.02	3.3	4.3
Margaritas, La Unión*	Andisol	V1	FA	6.0	6.0	0.20	0.8	1.7

¹ V1: CP72-2086; V2: CP73-1547; V3: Mex79-431

² Fincas con "*" fueron evaluados por dos años

se les dio continuidad en un segundo año de evaluación la aplicación fue dirigida en la banda del surco de caña entre los 30-50 ddc, siempre en solución y en las mismas dosis y productos.

En los tratamientos aplicados en forma foliar, (20.5% B) se asperjó una solución de Solubor en la dosis indicada en 200 l de agua. Se hicieron dos aplicaciones foliares que se realizaron la primera entre los 70-90 días después de la siembra (dds) o corte (ddc) y la segunda aplicación fue realizada entre los 120-150 dds/ddc. En el ensayo adicional de finca Belén las aplicaciones foliares fueron realizadas en el tratamiento de una aplicación a los 70 dds y en el tratamiento de dos aplicaciones la primera fue realizada a los 70 dds y la segunda a los 120 dds. La fertilización base en todos los ensayos consistió en la aplicación de NPKS el cual constituyó el control o testigo solo variando en los casos de campos aplicados con vinaza (finca Limonés de Pantaleón y Santa Margarita de Tululá) donde no se aplicó K por los altos contenidos en el suelo.

Previo al corte se realizó un muestreo para determinar el porcentaje de sacarosa en cada uno de los tratamientos extrayendo aleatoriamente cinco tallos molederos en cada una de las unidades experimentales. La edad de corte de los experimentos varió de 10 a 12 meses. El corte y pesado fue de la totalidad de los tallos producidos en cada unidad experimental expresando el rendimiento de caña finalmente en toneladas métricas ha⁻¹. En el caso del ensayo adicional de finca Belén el corte se hizo a la edad de 6 meses cortando al punto natural de quiebre de cada tallo, con mediciones de altura y población de tallos.

El análisis estadístico consistió en análisis de varianza individual y combinado por años en los sitios con dos años de evaluación, comparación de medias de interés a través de contrastes ($p < 0.05$) y análisis de regresión. También se realizó un análisis gráfico para la definición del nivel crítico según la metodología de Cate y Nelson (1965).

Resultados y discusión

Respuesta a Boro

En la **Tabla 2** se presentan las medias del rendimiento de caña en toneladas de caña por hectárea y las comparaciones estadísticas entre ellas como respuesta a la aplicación de B en los 10 sitios evaluados.

En la **Tabla 2** se observa que en cinco de los 10 sitios evaluados (El Retiro, La Libertad, Limonés, Buena Vista y Margaritas) se encontraron respuestas positivas en forma significativa ($P:0.05$) de algunos de los tratamientos con B respecto al control. En la finca El Retiro se encontró un incremento promedio (plantía y soca1) hasta del 20% más de peso de caña con el tratamiento de B en forma foliar e incrementos del orden del 15% con las aplicaciones al suelo. La alta respuesta del cultivo a la aplicación de B en este sitio fue congruente con el bajo análisis de B del suelo (0.06 ppm), con el bajo contenido de materia orgánica (2.0%) y por la textura arenosa característico de los suelos Entisoles de la región.

En la finca La Libertad el incremento promedio observado en dos años en el rendimiento de caña fue del 7% más con la aplicación de 2 kg de B al suelo cuyo efecto fue estadísticamente significativo. En este sitio también se obtuvo respuesta positiva a la aplicación de B en forma foliar. Al igual que en el primer sitio, la respuesta observada fue congruente con el bajo nivel de B en este suelo que fue de 0.06 ppm. El menor incremento relativo obtenido con la aplicación de B en la finca La Libertad con respecto al obtenido en la finca El Retiro (toda vez que tenían los mismos valores bajos de B), podría ser debido al alto contenido de MO del suelo de la Libertad (7.7%) el cual es una fuente importante de B. Los contenidos altos de materia orgánica son comunes en los suelos Andisoles de Guatemala como los de finca La Libertad. En la finca Limonés (suelo Molisol) la aplicación de B (4 kg ha⁻¹ al

Tabla 2. Rendimiento promedio de caña (TCH, toneladas métricas ha⁻¹) según la aplicación de B al suelo y foliar en 10 sitios.

Tratamiento	-- Medias de dos ciclos de cultivo (caña planta y soca 1) --						----- Medias de caña planta -----			
	El Retiro	La Libertad	Limonas	Margaritas	Xoluta	Virginia	Buena Vista	Sta Margarita	Botón Blanco	Pachonte
Control	107 b	133 b	201 b	134 a	152 a	170 ab	84 b	132 b	137 a	126 a
2 kg B	123 ab	142 a	201 b	137 a	151 a	170 ab	91 a	140 ab	145 a	126 a
4 kg B	122 ab	136 ab	213 a	132 a	144 a	164 b	78 c	147 a	143 a	129 a
B Foliar	129 a	138 ab	206 ab	133 a	143 a	189 a	92 a	147 a		130 a
B y Mo del suelo										
B, ppm	0.06	0.06	0.12	0.20	0.44	0.4	0.4	0.02	0.39	0.22
MO, %	2.0	7.7	5.6	6.0	2.0	3.4	2.5	2.7	2.0	3.8

Medias con igual letra no tienen diferencia significativa (p <= 0.05)

suelo) incrementó en promedio de dos ciclos (plántula y soca 1) en forma significativa 6% más el tonelaje de caña con respecto al control. Esta respuesta corresponde con el contenido bajo de B en este sitio con 0.12 ppm. En caña planta se observó la misma tendencia de respuesta aunque en ese entonces no se alcanzaron diferencias estadísticamente significativas (Pérez et al., 2014).

Los otros suelos que presentaron incrementos significativos con las aplicaciones de B fueron los dos suelos Vertisoles evaluados (Santa Margarita y Buena Vista). En la finca Santa Margarita con un contenido muy bajo de B (0.02 ppm) se obtuvieron incrementos del 11% más de caña con el tratamiento de B foliar y con el tratamiento de 4 kg de B aplicado al suelo. Por su parte el otro suelo Vertisol de la finca Buena Vista con 0.4 ppm de B en el suelo presentó respuesta positiva a la aplicación foliar de este elemento con un incremento de 10% en forma significativa y con similar efecto que la aplicación de 2 kg de B ha⁻¹ al suelo. En este último suelo fue evidente que la aplicación de 4 kg de B produjo merma en el rendimiento de caña.

En la finca Virginia que es un suelo Molisol de textura franca de alta fertilidad la aplicación al suelo de 4 kg de B ha⁻¹ redujo el rendimiento de caña, pero no así cuando la aplicación de B fue realizada en forma foliar que tuvo una respuesta positiva a la aplicación aunque no significativa con respecto al control. La reducción del rendimiento de caña al pasar de aplicar 2 a 4 kg de B ha⁻¹ se observó en forma consistente en siete de los 10 experimentos (**Tabla 2**), por lo que es muy importante tener en cuenta no aplicar más de 2 kg de B ha⁻¹ para evitar riesgos de mermar la producción.

En los sitios restantes (Margaritas, Xoluta, Botón Blanco y Pachonte) no se observaron efectos del B en la producción en ninguna de las dosis y formas de aplicación y los resultados fueron variables y no significativos. La no respuesta del cultivo al B en estos ensayos estaría relacionada a los contenidos medios y adecuados de B

del suelo que en todos los casos estuvieron iguales o arriba de 0.20 ppm (Pérez et al., 2014).

En cuanto a la variable concentración de azúcar (% sacarosa), los análisis estadísticos indicaron que las aplicaciones de B tanto al suelo como en forma foliar no tuvieron efectos significativos en esta variable.

Respuesta a Zinc

En la **Tabla 3** se presentan las medias del rendimiento de caña en toneladas de caña por hectárea y las comparaciones estadísticas entre ellas como respuesta a la aplicación de Zn en los 10 sitios evaluados.

En la **Tabla 3** se observa que solo en dos sitios de 10 (Santa Margarita y Botón Blanco) se encontraron respuestas positivas en forma significativa (P:0.05) a las aplicaciones de Zn. Uno de estos suelos es un Vertisol de la finca Santa Margarita y el otro es un Entisol Arenoso de la finca Botón Blanco. En ambos sitios se tuvo un incremento medio de 15% de caña con la aplicación de 10 kg de Zn ha⁻¹, y entre 10 y 14% de incremento con la aplicación de 2 kg de Zn para Santa Margarita y Botón Blanco respectivamente, indicando la consistencia de los resultados del efecto positivo del Zn en estos dos suelos. Los efectos significativos del Zn en estos dos sitios no concordaron en forma directa con los niveles de Zn presentes en el suelo ya que los niveles de Zn en ambos sitios eran de 3.3 y 2.8 ppm de Zn (DTPA) para Santa Margarita y Botón Blanco respectivamente, los cuales se consideran adecuados. Sin embargo es importante indicar que ambos suelos se caracterizan por tener bajos contenidos de MO y por ser contrastantes en su textura, uno es Arcilloso (Santa Margarita) y el otro es Arenoso (Botón Blanco) y similares en pH (6.7 y 6.5). En la finca La Libertad con contenido bajo de Zn en el suelo (0.37 ppm) la aplicación de Zn no alcanzó significancia estadística, pero se observa que en promedio los dos tratamientos aplicados superaron al Control sin aplicación en 2 y 7.6%. Este sitio en contraposición con los dos primeros suelos tenía un alto contenido de MO (7.7%) y un pH similar (6.3).

Tabla 3. Rendimiento promedio de caña (TCH, toneladas métricas ha⁻¹) según dos niveles de Zn aplicados al suelo en 10 sitios.

Tratamiento	-- Medias de dos ciclos de cultivo (caña planta y soca 1) --						----- Medias de caña planta -----			
	El Retiro	La Libertad	Limonas	Margaritas	Xoluta	Virginia	Buena Vista	Sta Margarita	Botón Blanco	Pachonte
Control	107 a	133 a	201 a	134 a	152 a	170 a	84 a	132 b	137 b	126 a
5 kg Zn	98 a	130 a	201 a	139 a	150 a	192 a	89 a	145 a	156 ab	123 a
10 kg Zn	112 a	140 a	204 a	141 a	164 a	174 a	86 a	151 a	159 a	128 a
Zn, MO y pH del suelo										
ppm	3.60	0.37	1.87	0.79	9.0	2.2	3.3	3.3	2.8	1.42
MO, %	2.0	7.7	5.6	6.0	2.0	3.4	2.5	2.7	2.0	3.8
pH, agua	6.3	6.3	6.3	6.0	6.8	6.8	6.0	6.7	6.5	5.7

Medias con igual letra no tienen diferencia significativa (p <= 0.05)

Es interesante observar que independientemente de la respuesta en términos estadísticos, en todos los casos se observa que la aplicación de la dosis más alta de Zn (10 kg ha⁻¹) el rendimiento de caña promedio siempre fue mayor al rendimiento de caña obtenido con el tratamiento control, lo que no sucedió con la aplicación de la dosis baja (5 kg) en donde se observa que el efecto promedio de Zn fue variable. Estos resultados indican que probablemente se necesiten aplicar dosis más altas de Zn en estos suelos de los aquí evaluados y la necesidad de hacer más investigación incluyendo además de las dosis, fuentes y formas más eficientes de aplicación, incluyendo las épocas de aplicación de este elemento (Pérez et al., 2014).

Dosis de B en ensayo de semillero

Los resultados de aplicaciones de B, indicaron efectos estadísticamente significativos de las dosis de B en el peso de la caña, congruentes con los bajos contenidos de B en el suelo en este sitio (0.06 ppm). La respuesta promedio observada y la tendencia de la respuesta (regresión cuadrática) del peso de caña (semilla de caña), población (miles de tallos ha⁻¹) y altura de tallos (cm) según las dosis de B aplicadas se presentan en la **Figura 1**.

Se observa que al aumentar las dosis de B el rendimiento de caña tiene tendencia cuadrática. El rendimiento más alto de caña observado se obtuvo con la aplicación de 2 kg de B ha⁻¹ con un incremento del 16% más de peso de semilla de caña, el cual coincide y es congruente con los resultados del primer grupo de experimentos analizados. De acuerdo al modelo de regresión cuadrático se estima que aplicaciones por arriba de 3.0 kg de B ha⁻¹ disminuyen los rendimientos de caña. De acuerdo al modelo regresión cuadrático se estima que la aplicación de 8 kg de B ha⁻¹ redujo el rendimiento de caña en 16% en este suelo Arenoso. La reducción del rendimiento de caña con el aumento de las dosis de B se debería principalmente a la reducción del número de tallos por área por fitotoxicidad de B y a una reducción del crecimiento de la caña. Franco et al., 2011 en suelos de Brasil reporta disminución de los rendimientos en caña de azúcar.

En cuanto a las aplicaciones foliares en este experimento se encontró que el tratamiento con dos aplicaciones de B (70 y 120 dds) fue superior al tratamiento que llevo una sola aplicación (70 dds).

Los rendimientos de semilla de caña fueron de 74.9 y 63.9 t ha⁻¹, para dos y una aplicación respectivamente. De la misma manera se verificó que la aplicación foliar fue efectiva al igual que las aplicaciones al suelo.

Nivel crítico de disponibilidad de B

En la **Figura 2** se presenta en forma gráfica la relación del B extraído (agua caliente) y el rendimiento relativo de caña en porcentaje (RR %) de acuerdo al método gráfico de Cate y Nelson.

En la **Figura 2** se observa que el 92% de los datos se ubicaron en los dos cuadrantes positivos opuestos generando un valor crítico preliminar de 0.20 ppm de B asociado con el 95% de los RR. Se observa que todos los suelos con valores de B menores a este valor, todos respondieron positiva y significativamente a las aplicaciones de este elemento por lo que el valor de 0.20 discrimina los suelos con alta probabilidad de respuesta a la aplicación de B de los que no se esperan respuestas. Aunque es importante mencionar que hubo un sitio con un valor de 0.43 ppm de B y que presentó respuesta significativa a su aplicación, tratándose de un suelo Vertisol con bajo contenido de MO (finca Buena Vista), resultado que sugiere más investigación puntual para estos suelos. El valor de 0.20 ppm de B concuerda con los valores críticos utilizados en Brasil y otros países para caña de azúcar (Raij et al., 1996).

Conclusiones

El B incrementó el rendimiento de caña en forma significativa en cinco de los 10 sitios estudiados. Las respuestas estuvieron relacionadas directamente con el nivel de B en el suelo y las magnitudes de respuesta estuvieron relacionados con el orden de suelos. Se observaron incrementos de 6-7% en Andisoles y Molisoles, 10% en Vertisoles y de 20% en un Entisol Arenoso.

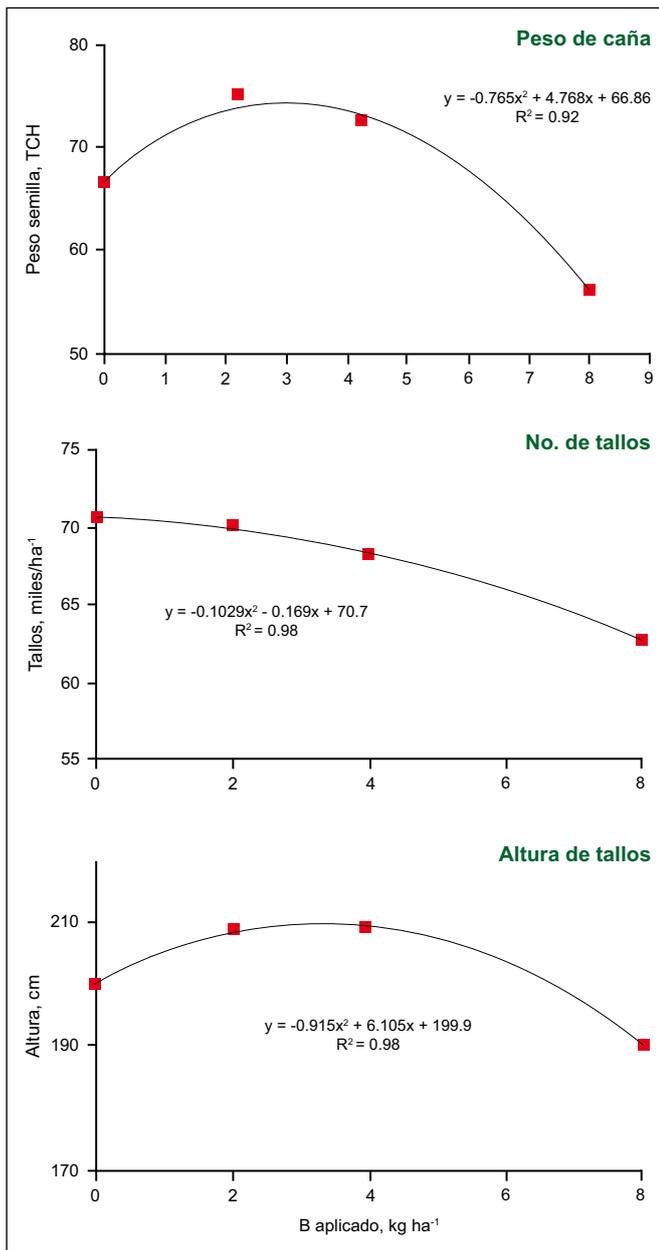


Figura 1. Respuesta observada y estimada del peso de caña (semilla), población y altura de tallos a las dosis crecientes de B aplicadas al suelo

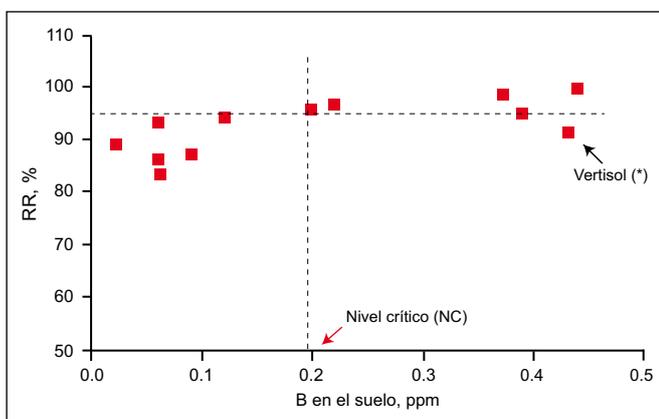


Figura 2. Nivel crítico de B en el suelo (agua caliente) asociado al 95% de RR en 12 sitios.

La aplicación de B en forma foliar fue efectiva en corregir la deficiencia de B igual que las aplicaciones al suelo de este elemento y se encontró que dos aplicaciones fueron más efectivas que una aplicación

Se determinó que niveles de B en el suelo, menores a 0.20 ppm (agua caliente) se esperan respuestas a las aplicaciones de este elemento.

Se encontró que dosis de B arriba de 2 kg ha⁻¹ aplicadas al suelo en el fondo del surco hay riesgos de pérdidas en la producción.

El Zn incrementó el rendimiento de caña en forma significativa en dos sitios de 10. Estos fueron en un suelo Entisol Arenoso y el otro en un Vertisol con alto contenido de Arcilla. Los incrementos fueron del orden de 15% más de tonelaje de caña con la aplicación de 10 kg de Zn ha⁻¹. No se encontró una relación directa entre el contenido de Zn del suelo y las respuestas observadas.

El B y el Zn no influyeron significativamente en la variación de la concentración de azúcar

Bibliografía

- Cate, J.R.B., y L.A. Nelson. 1965. A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data. International Soil Testing Series, Technical Bulletin 1. Raleigh. Agricultural Experiment Station, North Carolina State University.
- Fageria, N.K., V.C. Baligar y R.B. Clark. 2002. Micronutrients in Crop Production. Advances in Agronomy. Vol 77. pp 185-268.
- Franco, H.C.J., E. Marian, A.C. Vitti, C.E. Faroni, R. Otto y P.C. Trivelin. 2011. Sugar Tech 13(1):86-95.
- Meyer, J.H., A.W. Schumann, B.L. Schroeder, R.A. Wood, y A.L. Rampersad. 1999. Review of research on the micronutrients requirement of sugarcane in southern Africa. In Proc. S Afr Sug Technol ASS. pp 63-70.
- Kirkby, E.A., y V. Römheld. 2007. Micronutrients in plant physiology. Functions, uptake and mobility. Proceedings 543. The international fertilizer society, United Kingdom.
- Mellis, E.V., J.A. Quaggio, y L.A. Junqueira. 2008. [Enlínea]. Zinc Fact Sheet: Sugarcane. http://www.zinc.org/wp-content/uploads/sites/4/2015/04/pdf_Sugarcane-fact-sheet.pdf [Consultado 29/08/2014]
- Pérez, O.F., C. Hernández, L. Ramírez, J. Ampudia, L. Tayun, R. San Juan, R. Duarte, V. Azañón, C. Martínez, A. Merino, A. Sacbaja, y M. Melgar. 2014. Respuesta exploratoria a las aplicaciones de B y Zn en suelos derivados de ceniza volcánica de Guatemala. Avances. En: Memoria de Presentación de Resultados de Investigación Zafra 2012-2013. Cengicaña, Guatemala.
- Raij, B. Van, H. Cantarella, J.A. Quaggio, y A.M.C. Furlani. 1996. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2ª ed. IAC, Campinas (Boletín Técnico 100).