

Respuesta de la caña de azúcar al silicio en dos suelos de la zona cañera de Guatemala

Ovidio Pérez¹, Fernando Hernández¹, Víctor Azañón², Cesar Martínez² y Rolando Duarte³

Se establecieron dos ensayos en diferentes suelos que fueron conducidos por tres años a partir del 2011 para determinar el efecto del silicio en el rendimiento de caña de azúcar y los efectos residuales. Uno de ellos fue establecido en un suelo Inceptisol arcilloso de finca Jabalí 3 del ingenio La Unión y el otro en un suelo Andisol franco de finca Concepción del ingenio Pantaleón. Se evaluaron cuatro dosis de silicio como silicato de Ca [CaSiO_3 , (42% de SiO_2)] (0, 0.5, 2 y 4 t ha⁻¹) y tres variedades de caña por sitio. Dos variedades fueron comunes en los dos sitios (CP72-2086 y CP88-1165) y las variedades Mex79-431 en Jabalí 3 y CP88-1508 en Concepción como tercera variedad. El diseño experimental utilizado fue bloques al azar en arreglo de parcelas divididas con cuatro repeticiones. El CaSiO_3 fue aplicado en el fondo del surco al momento de la siembra en el año 2011 pero no fue aplicado los siguientes años para evaluar los efectos residuales en la producción. Los resultados indicaron efectos estadísticamente significativos del CaSiO_3 en el suelo Inceptisol arcilloso pero no en el suelo Andisol en donde no hubo respuesta. El efecto del CaSiO_3 incrementó el rendimiento de caña en forma directa y lineal en el suelo Inceptisol estimándose un incremento de 6 t ha⁻¹ mas de caña por cada 1 t de CaSiO_3 aplicado en el periodo evaluado.

Introducción

Las gramíneas como la caña de azúcar son capaces de absorber grandes cantidades de silicio (Si) y responden a las aplicaciones de este elemento en términos de rendimiento de caña de azúcar especialmente en suelos bajos en silicio disponible. En países como Sudáfrica, Mauricio, Australia, Brasil, La Florida (EEUU) se han realizado estudios que demuestran los beneficios de las aplicaciones de sílice en el cultivo de caña de azúcar y su aplicación es una práctica comercial en suelos pobres en este elemento basado en análisis de suelo y planta (Meyer and Keeping, 2000; Korndorfer et al., 2002; Berthelsen et al., 2003).

El silicio se acumula principalmente en las paredes de las células de la epidermis de la planta constituyendo de esta manera una barrera mecánica contra el ataque de plagas como el barrenador y algunas enfermedades causadas por hongos. De la misma manera ayuda a fortalecer la estructura de la planta aumentando su resistencia al acame.

Las respuestas de rendimiento observadas a las aplicaciones de silicio son atribuidas a varios factores que benefician al cultivo. Los factores pueden ser abióticos y bióticos, entre los abióticos se pueden indicar la reducción de la toxicidad de hierro, aluminio

y manganeso; la reducción de la fijación de fósforo del suelo; la regulación de la transpiración favoreciendo un uso mas eficiente del agua y plantas mas erectas favoreciendo una mayor fotosíntesis (Dayanandam et al., 1983). Los factores bióticos están relacionados con menores ataques de plagas y de enfermedades (Meyer y Keeping, 2000; Korndorfer et al., 2002).

Aunque la mayoría de experiencia con buenas respuestas a las aplicaciones de sílice que se indican en la literatura corresponden a suelos bastante meteorizados y bajos en silicio como los Oxisoles y Ultisoles o de suelos orgánicos como los de La Florida (EEUU) es importante saber que pasa en los suelos derivados de ceniza volcánica de formación reciente como los suelos de Guatemala teniendo en cuenta que el cultivo puede acumular grandes cantidades de este elemento, de tal manera que se plantea el presente trabajo con los objetivos siguientes.

Objetivos

Determinar el efecto del silicio como CaSiO_3 y su efecto residual en el rendimiento de variedades de caña en dos suelos de la zona cañera de Guatemala.

Determinar si existe alguna relación entre las aplicaciones de silicio y la incidencia del barrenador del tallo.

Metodología

Se establecieron dos ensayos en diferentes suelos que fueron conducidos por tres años a partir del 2011. Uno de ellos fue establecido en un suelo Inceptisol de finca Jabalí 3 del ingenio La Unión y el otro fue establecido en un suelo Andisol de finca Concepción del ingenio Pantaleón. Las principales características químicas y físicas de los dos sitios se presentan en la **Tabla 1**.

Se evaluaron dos factores, variedad de caña de azúcar y niveles de Si. Las variedades evaluadas fueron la CP72-2086 y CP88-1165 en los dos ensayos. Una tercera variedad, diferente en cada sitio fue evaluada, Mex79-431 y CP88-1508 en Jabalí 3 y Concepción respectivamente. Los niveles de silicio evaluados, incluyendo el testigo sin aplicación, fueron 0, 0.5, 2.0 y 4.0 t de CaSiO_3 ha⁻¹.

En ambos sitios el diseño experimental utilizado fue bloques al azar con arreglo en parcelas divididas con cuatro repeticiones. Las parcelas grandes fueron conformadas por las variedades mientras que los niveles de silicio fueron alojados en las parcelas pequeñas. La unidad experimental fue constituida por 5 surcos de 10 metros de largo con una distancia entre ellos de 1.5 metros.

¹ Coordinador Programa de Agronomía y Técnico de Fertilización (CENGICAÑA)

² Departamento de Investigación Ingenio La Unión

³ Departamento de Agronomía de Ingenio Pantaleón

Tabla 1. Principales características de los suelos y propiedades físico-químicas de los sitios de estudio.

Sitio	Suelo	Si (CaCl ₂ 0.01 mol l ⁻¹) ppm	Textura	pH	MO %	P ppm	K ----- meq 100 g ⁻¹ -----	Ca	Mg
Jabalí 3, La Unión	Inceptisol	26.2	FAr	7.3	1.9	< 5	0.76	10.1	2.2
Concepción, Pantaleón	Andisol	50.2	F	5.9	4.6	< 5	1.3	7.8	1.7

Como fuente de silicio se utilizó CaSiO₃ (42% de SiO₂), aplicado en el fondo del surco al momento de la siembra en el año 2011. Los dos años siguientes no se hizo ninguna aplicación de CaSiO₃ pero se mantuvieron las parcelas manejadas de igual manera para evaluar el efecto residual de este material.

La fertilización base en el primer año consistió en la aplicación uniforme de 100 kg de N ha⁻¹, 80 kg de P₂O₅ ha⁻¹ y 100 kg de K₂O ha⁻¹ en todas las parcelas. El fósforo se aplicó en el fondo del surco al momento de la siembra utilizando fosfato mono-amónico (MAP, 10-50-0) como fuente. El nitrógeno y el potasio fueron aplicados entre los 45-60 días después de la siembra en banda e incorporados al suelo. En el segundo y tercer año solo se aplicó nitrógeno y fósforo en dosis de 120 y 40 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅ respectivamente.

El manejo de la plantación en cuanto a control de malezas, riego y otras labores se hicieron en forma uniforme en todo el ensayo de acuerdo con las prácticas comerciales de cada finca. El ensayo de Concepción no tuvo riego y los cortes fueron entre marzo y abril. En tanto que en Jabalí 3 las cosechas fueron realizadas entre enero y febrero con riego por mini aspersion.

A la edad de 6 meses en la plantía en el 2011 se tomaron muestras foliares en todas las unidades experimentales de los dos experimentos (hoja TVD, tercio medio sin la nervadura central) de 15 tallos seleccionados aleatoriamente de los tres surcos centrales de cada parcela. Las muestras fueron secadas, molidas y tamizadas en el laboratorio agronómico de Cengicaña y posteriormente enviadas al laboratorio de la Universidad Federal de Uberlandia de Brasil para determinación de silicio en la hoja al igual que las muestras de suelo tomadas previo al establecimiento de los ensayos.

Previo a la cosecha se tomaron muestras de tallos molederos en todas las unidades experimentales para determinar el porcentaje de sacarosa y otros parámetros de calidad.

Al momento de cosecha se realizaron muestreos de tallos para cuantificar el daño por barrenador muestreando 20 tallos en cada parcela, se contó la cantidad de tallos dañados, luego se contó el número total de entrenudos de la muestra y se contaron los entrenudos dañados. Con esta información se estimó el porcentaje de infestación y el porcentaje de intensidad de infestación según la metodología empleada y recomendada por el Área

de Entomología de Cengicaña. Se cortaron y pesaron la totalidad de los tallos producidos en cada unidad experimental con lo cual se obtuvo el rendimiento de caña expresado en toneladas métricas por hectárea.

Resultados y discusión

Rendimiento de caña de azúcar

Los análisis de varianza combinado de tres años por localidad indicaron efectos estadísticamente significativos del CaSiO₃ en el sitio de Jabalí 3 (p < 0.01) pero no así para el sitio de Concepción en donde no hubo respuesta en los tres años. En ambos casos, el efecto de CaSiO₃ fue independiente de la variedad de caña y no se encontró efecto de los diferentes años en la respuesta al sílice. Por otra parte en cuanto al contenido de azúcar, los análisis indicaron que no hubieron efectos significativos del sílice en esta variable en ninguno de los sitios.

En la **Figura 1** se presenta la respuesta observada y la tendencia de respuesta a las aplicaciones del CaSiO₃ para cada ciclo de evaluación (2012-2014) para Jabalí 3 y para Concepción.

En la **Figura 1a** se observa que en el suelo arcilloso de finca Jabalí 3 el CaSiO₃ incrementó el rendimiento de caña en forma directa y lineal a las dosis aplicadas y este efecto fue consistente en los tres años de la evaluación, aunque la magnitud del efecto fue mayor en primera soca y menor en plantía según las pendientes de las regresiones lineales estimadas. Los efectos en los dos años de caña soca se refieren a efectos residuales del CaSiO₃ ya que el mismo solo fue aplicado el primer año. Por el contrario, es evidente que en el suelo Andisol de finca Concepción la respuesta al CaSiO₃ fue nula como se puede apreciar en la **Figura 1b** y como fue verificado con el análisis de varianza combinado para este sitio.

El suelo de Jabalí 3 es un Inceptisol característico de la zona cañera con textura arcillosa y bajo contenido de materia orgánica (MO) con pH neutro, contrastando con el suelo Andisol de formación reciente de finca Concepción con textura franca y con alto contenido de MO. El contenido de silicio en el suelo extraído con CaCl₂ 0.01 m l⁻¹ en Jabalí 3 era de 26.8 ppm, mientras que para Concepción era de 50.2 ppm, prácticamente el doble que el sitio en donde hubo respuesta. Korndorfer et al., 1999, reportan como valor crítico de referencia para el silicio extraído con CaCl₂ 0.01 m l⁻¹, el valor de 6-8 ppm. Por lo que los valores de silicio en los dos suelos del estudio estaban por arriba de

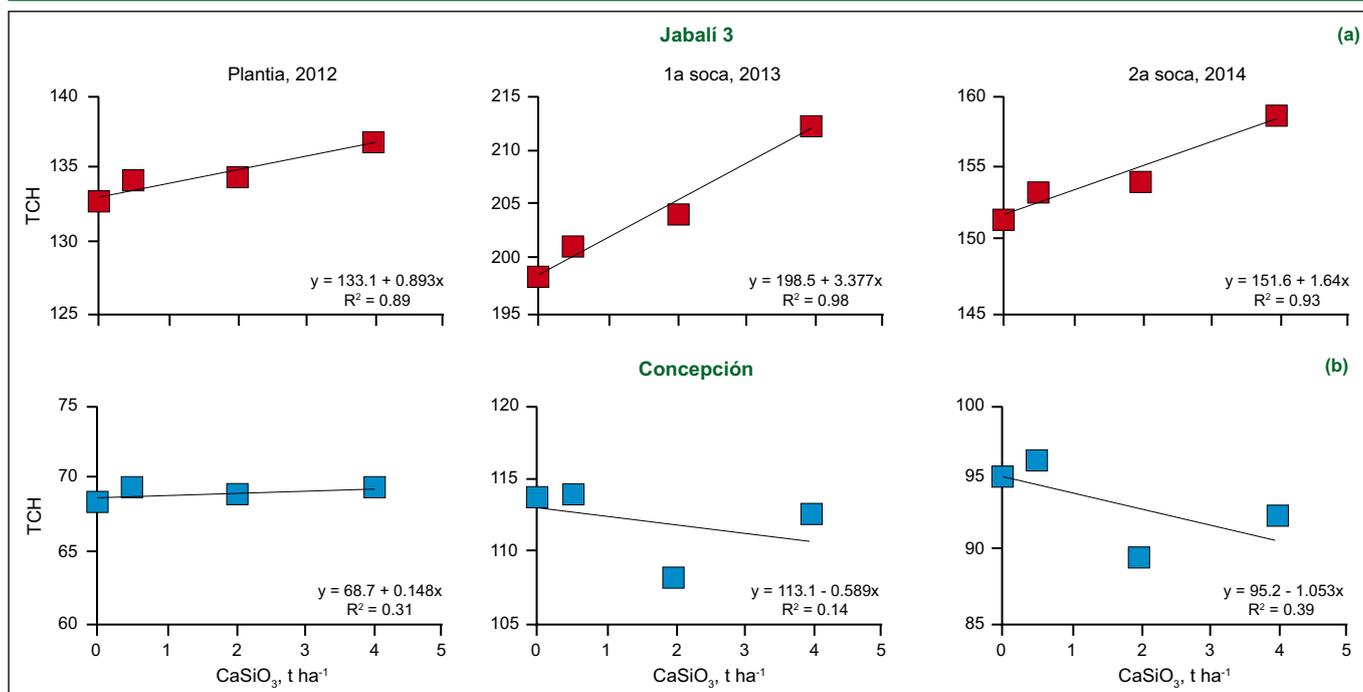


Figura 1. Rendimiento de caña (TCH) observado y tendencia de respuesta a las aplicaciones de CaSiO_3 en tres ciclos de cultivo en finca Jabalí (a) del ingenio La Unión; y finca Concepción (b) del ingenio Pantaleón .

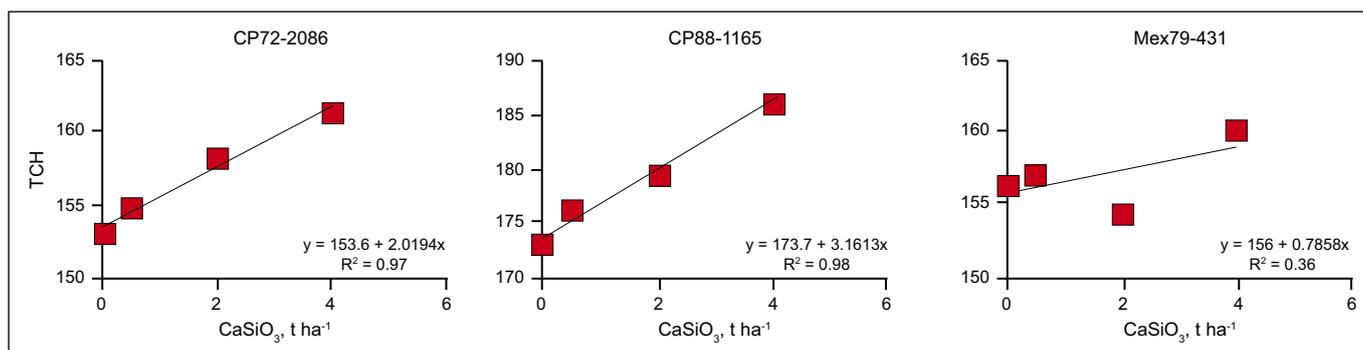


Figura 2. Rendimiento de caña (TCH) observado y tendencia de respuesta a las aplicaciones de CaSiO_3 en tres variedades de caña en finca Jabalí 3, ingenio La Unión.

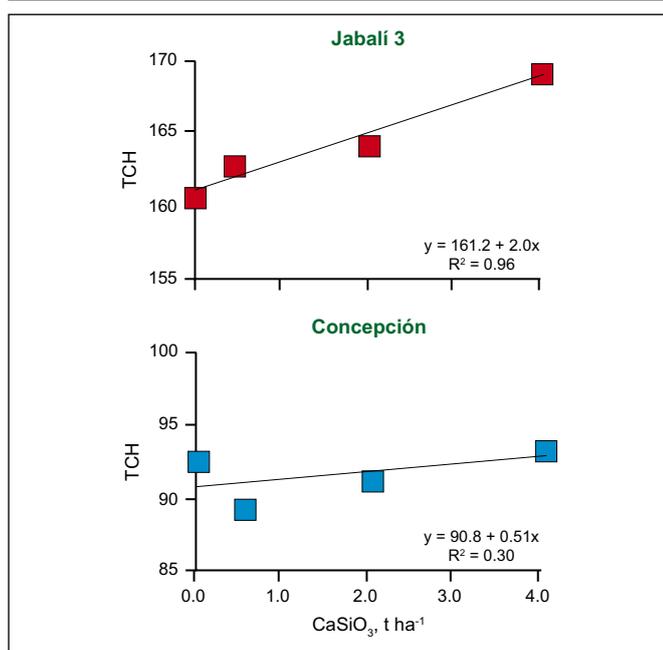


Figura 3. Respuesta promedio observada y tendencia del efecto a las aplicaciones de CaSiO_3 en el rendimiento de caña en Jabalí 3 (3 años) y Concepción (3 años).

este nivel crítico indicado. El efecto positivo del CaSiO_3 observado en Jabalí 3 podría estar asociado también a otros beneficios de este material tales como el aumento en la eficiencia del uso del agua por la planta, retención de humedad, control de enfermedades, solubilización de otros nutrientes y otros efectos que no fueron medidos.

Es importante indicar que la respuesta positiva y significativa del silicio en primera y segunda soca en el sitio de Jabalí 3 es un indicativo del efecto residual del CaSiO_3 y la lenta disponibilidad del silicio en el tiempo del material utilizado en la evaluación.

En cuanto al efecto del silicio en las variedades, se determinó que su efecto en el rendimiento de caña en ambos sitios fue independiente de la variedad de caña utilizada. Esto se puede observar en la **Figura 2** donde se muestra el efecto del silicio por variedad para Jabalí 3.

Las más claras respuestas al silicio se observaron en las variedades CP88-1165 y CP72-2086 con efectos positivos bien definidos con R^2 altos. La variedad Mex79-431 muestra una respuesta más leve y con mayor variabilidad.

Tabla 2. Contenido de silicio en hoja en variedades de caña evaluadas en dos sitios según niveles de CaSiO₃ aplicado.

Si aplicado t ha ⁻¹	Jabalí 3			Concepción		
	CP72-2086	CP88-1165	Mex79-431	CP72-2086	CP88-1165	CP88-1508
0	2.1	2.5	2.4	1.9	1.6	2.5
0.5	2.7	2.4	2.4	1.9	1.7	2.5
2	2.5	2.3	2.4	1.8	1.9	2.3
4	2.5	2.8	2.3	1.9	1.9	3.0
Media	2.5	2.5	2.4	1.9	1.8	2.6

En la **Figura 3** se muestra la respuesta promedio de todas las variedades en todos los ciclos por sitio, donde se resume y verifica las respuestas que ya fueron discutidas. La respuesta promedio es el mejor estimador del efecto del silicio dado que no hubo evidencia estadística del efecto de las interacciones silicio x variedad, silicio x ciclo y silicio x variedad x ciclo.

En la **Figura 3** se observa que en Jabalí 3, en los tres años se obtuvo en promedio una respuesta lineal positiva y significativa a las aplicaciones crecientes de CaSiO₃. Del modelo de regresión se estima que por cada t de CaSiO₃ aplicado a la siembra se obtuvo un incremento medio de 2 t de caña más por año, esto quiere decir que el efecto acumulado en tres años fue de 6 t de caña más con respecto a no aplicar. Se deduce que con la aplicación de la dosis más alta de CaSiO₃ (4 t ha⁻¹) evaluada en el experimento se obtuvo un incremento acumulado de 24 t de caña ha⁻¹ mas en los tres años. Estos resultados indican que hay algunas opciones para incrementar el rendimiento de caña en los suelos Inceptisoles arcillosos, sin embargo su implementación y uso dependerá del costo-beneficio de la práctica. El costo de 1 t de CaSiO₃ como silifertidol ultra utilizado en este experimento puesto en la frontera de Tecun Umán tiene un costo aproximado de US\$ 270. Es importante enfatizar que los efectos residuales medidos en este ensayo fueron en dos años únicamente (primera y segunda soca) pero es posible que tenga efectos residuales por más tiempo el cual permitirá amortizar el costo del producto por mas años y bajar costo.

En Concepción por su lado no hay indicios del efecto del silicio en la producción y se ve una ligera disminución pero sin importancia estadística.

La diferencia de rendimiento promedio observada entre los dos sitios se debería a efectos climáticos por su posición (Concepción localizada en la zona alta), por suelo y por factores de manejo como el riego (Jabalí 3) y no riego (Concepción) y a la época de cosecha mas tarde en Concepción.

Contenido de silicio en la hoja en caña plantía

En la **Tabla 2** se presentan los contenidos de silicio en la hoja (TVD) a nivel varietal según las dosis de CaSiO₃ aplicado en los dos suelos (datos de plantía).

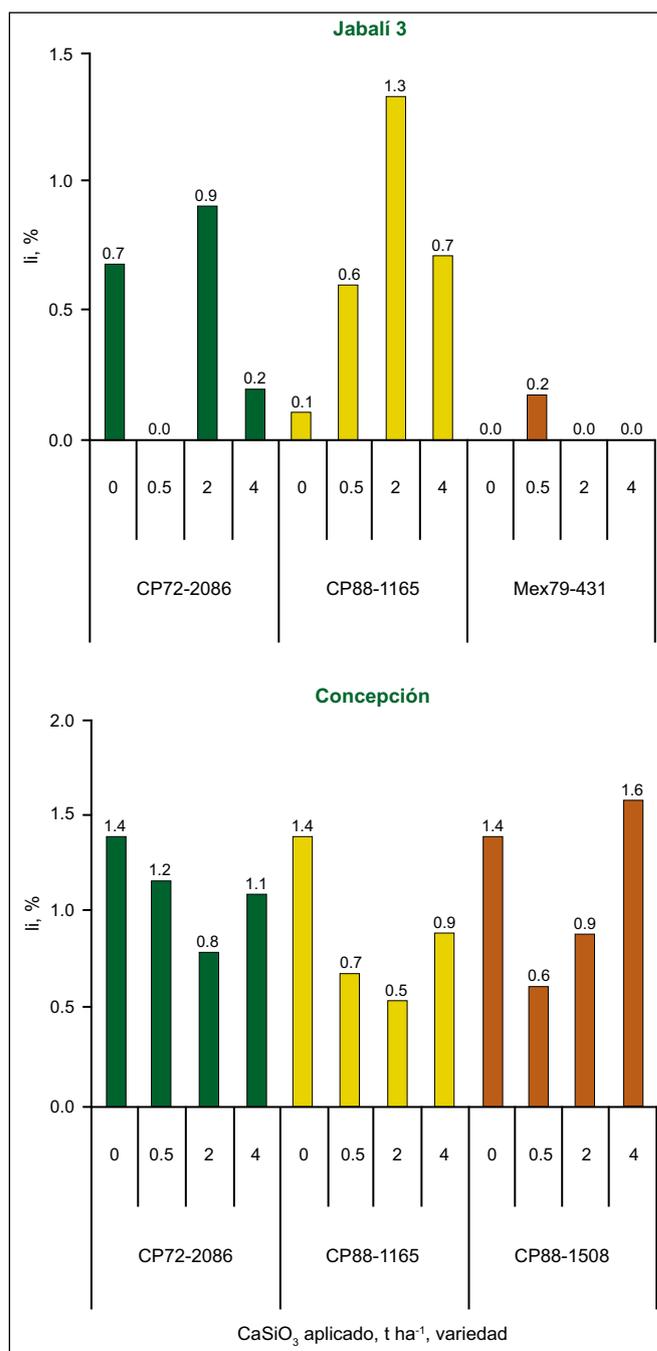


Figura 4. Efecto promedio de las aplicaciones de CaSiO₃ en la intensidad de infestación del barrenador del tallo en Jabalí 3 (2 años) y Concepción (3 años).

En la **Tabla 2** se observa que en general los contenidos de silicio en la hoja son adecuados aun en los testigos sin aplicación y no hay una clara tendencia en el aumento del nivel de este con el aumento de las dosis de CaSiO_3 , aunque se lograron valores de 2.7 y 2.8% en las variedades CP72-2086 y CP88-1165 respectivamente en Jabalí 3 y hasta un valor de 3.0% con la dosis más alta de CaSiO_3 (4 t ha^{-1}) en la variedad de CP88-1508 en Concepción. Los niveles de silicio en la hoja en los dos sitios estarían en los niveles óptimos reportados para caña de azúcar de 1.5-4% según Anderson y Bowen, 1994.

Intensidad de infestación del barrenador

En la **Figura 4** se muestra la intensidad de infestación del barrenador al momento de la cosecha según las variedades evaluadas y las dosis de CaSiO_3 aplicado en los dos sitios.

En general se observa que los daños del barrenador fueron bajos en los dos sitios independientemente de la aplicación de silicio. La relación entre dosis de CaSiO_3 y daño de barrenador fueron inconsistentes por lo que se deduce que las variaciones de la intensidad de infestación del barrenador observados en los dos sitios está determinado principalmente por la infestación o manejo local, más que por una respuesta al sílice. Es importante recordar que los niveles de silicio en la hoja en caña plantía en todas las variedades estuvieron en niveles adecuados como ya fue mencionado.

En términos generales estos resultados son interesantes pues sugieren que hay suelos con respuesta al Si, mas no en todos los suelos se esperan resultados. Es importante investigar bajo que condiciones hay respuestas, la dosis de aplicación del CaSiO_3 , otras fuentes de silicio potencialmente más eficientes y las aplicaciones de silicio a nivel foliar. Es importante además seguir investigando beneficios secundarios del CaSiO_3 como uso eficiente del agua, efecto en las plagas y enfermedades entre otros.

Conclusiones

El efecto del silicio fue diferente en los dos suelos. En el suelo Inceptisol de finca Jabalí 3 el rendimiento de caña se incremento en forma lineal con las dosis aplicadas de CaSiO_3 hasta 4 t ha^{-1} y no se logro llegar a la meseta de producción. En promedio de los tres años se estimo que por cada 1 t de CaSiO_3 el rendimiento de caña incremento 2 t de caña por año obteniendo un incremento acumulado de 6 t de caña ha^{-1} en tres años, incluyendo los efectos residuales. El CaSiO_3 aplicado a la siembra tuvo efectos residuales en las dos socas evaluadas.

En el suelo Andisol de textura franca de finca Concepción se determino que el silicio no afecto el rendimiento de caña.

La concentración de sacarosa no fue afectada por las aplicaciones de silicio en ninguna de las dos localidades evaluadas y no se encontró relación entre la aplicación de silicio al suelo y el contenido de silicio en la hoja con el daño por barrenador.

Agradecimiento

Los autores agradecen al Dr. Gaspar Korndörfer, líder del grupo de pesquisa "Silicio Na Agricultura" del Instituto de Ciencias Agrarias-LAFER-Universidad Federal de Uberlandia, Brasil por su orientación y por la realización de los análisis de silicio en suelo y en planta en su laboratorio. De la misma manera se agradece al Ing. Raúl Pérez Hernández, Director General de a la empresa Dolomita Agrícola de México por el apoyo con el CaSiO_3 utilizado en la evaluación. Agradecimientos al Ing. Manuel Márquez Entomólogo de Cengicaña, a la Lcda. Wendy de Cano y el personal del laboratorio agronómico de Cengicaña por su apoyo.

Bibliografía

- Anderson, D.L. y J.E. Bowen. 1994. Nutrición de la Caña de Azúcar. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). 40 p.
- Berthelsen S., A.D. Noble, G. Kingston, A. Hurney, A. Rudd, y A. Garside. 2003. Improving yield and ccs in sugarcane through the application of silicon based amendmets. CSIRO Land and Water. Final Report. 138 p.
- Dayanandam, P., P.B. Kaufman, y C. I. Frakin. 1983. Detection of silica in plants. Amer. J. Bot 70:1079-1084.
- Meyer J.H., y M.G. Keeping. 2000. Review of research into the role of silicon for sugarcane production. Proc S Afr Sug Technol Ass 74:29-40.
- Korndorfer G.H., H.S. Pereira, y M.S. Camargo. 2002. Papel do Silicio na Produção de Cana-de-Açúcar. STAB 21(2):34-37
- Kondorfer G.H., N.M. Coelho, G.H. Snyder, y C.T. Mizutani. 1999. Avaliação de metodos de extração de silicio para solos cultivados com arroz de sequeiro. Rev. Bras Solo 23(1):101-106.

