

Efecto de la aplicación foliar de silicio en el crecimiento y rendimiento del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)

Octavio Augusto Menocal Barberena
Ing. Agrónomo, MSc, PhD.

INTRODUCCION

El silicio (Si) es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre sin embargo, en la mayoría de los suelos de las regiones tropicales, su contenido es bajo (Epstein, 1994, 1999, 2000, 2001, 2005, 2009; Korndörfer et al., 2002; Epstein and Bloom, 2005). El Si es considerado un elemento del suelo 'no esencial' para el desarrollo y crecimiento de las plantas, aunque se reconocen los beneficios que su uso y aplicación en la agricultura (Silva, 1971; Exley, 1998), especialmente cuando las plantas se exponen a estreses bióticos y abióticos (Savant et al., 1997; Hayat et al., 2010).

En la actualidad, el Si es considerado un 'elemento mineral casi-esencial', especialmente para las plantas Gramineas (Poaceae) como: arroz (*Oryza sativa* L.), maíz (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* Moench.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), bambú (*Guadua aculeata* Rupr.), caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) [Lewin and Reimann, 1969; Takahashi et al., 1990; Currie and Perry, 2007].

Los efectos benéficos del Si en la resistencia de las plantas a los factores bióticos radica en: 1) el incremento de la resistencia a los ataques de hongos fitopatógenos, 2) la formación de compuestos polímeros complejos de Si en las paredes celulares de las plantas que resisten la acción penetrante de las enzimas de las células fungosas, y 3) el incremento de los compuestos fenólicos y fitoalexinas que incrementan la actividad de las quitinasas, peroxidasas y polifenoles oxidasas en respuesta a la infección por organismos fitopatógenos (Takahashi, 1996; Datnoff et al., 2001; Ma, 2004). Adicionalmente, el Si incentiva las defensas del sistema inmunológico de las plantas contra los ataques de plagas y enfermedades, así como incrementa los mecanismos de defensa con el efecto tóxico de los metales pesados, salinidad de los suelos, estrés hídrico (sequía o aniego), altas y bajas temperaturas debido al cambio climático, deficiencia de minerales esenciales, alta incidencia de los rayos solares ultravioleta (Rayos UV), etc. (Camargo et al., 2010).

El Si es absorbido por las plantas durante su desarrollo vegetativo y el contenido de Si en las plantas varía de 0.1% hasta 10% (Epstein, 1999). A pesar de no ser un elemento esencial para el desarrollo vegetativo de las plantas, para el cultivo de la caña de azúcar, la deficiencia de Si causa un desbalance de los nutrientes del suelo que puede provocar el pobre desarrollo de las plantas (Savant et al., 1999). La aplicación foliar de Si incentiva la absorción de micronutrientes los cuales son requeridos en pequeñas cantidades por las plantas (Silva, 1971). En caña de azúcar se ha reportado que la aplicación foliar de Si (Si en forma de silicato) indujo una mayor absorción de P, K, Calcio

(Ca), Azufre (S), Magnesio (Mg), Hierro (Fe), Zinc (Zn) [Bokhtiar, 2011, 2012], lo cual, incrementó los rendimientos de campo de caña de un 10% a un 50%. Igualmente, el contenido de azúcar incrementó 17% hasta un 22% (Savant et al., 1999). Estos resultados han sido reportados por Elawad et al. (1982), Korndörfer et al. (2000), Berthelsen et al. (2002), Kingston et al. (2005), Brassioli et al. (2009), y otros.

Entre los principales efectos benéficos del Si reportados en caña de azúcar están:

- 1) La corrección de la enfermedad pecosa de las hojas o puntos negros (enfermedad fisiológica) de la caña de azúcar (Fox et al., 1967; Teranishi, 1968).
- 2) Un mayor índice de crecimiento vegetativo, el cual esta expresado como el peso verde de las hojas totalmente maduras (hojas 3-6) [Fox et al., 1967].
- 3) Mayor desarrollo, tamaño y elongación de tallo (Harada, 1965).
- 4) Mayor altura de tallos, primarios y secundarios (macolla) al momento de la cosecha (Harada, 1965; Plucknett, 1972).
- 5) Incremento en el número de hojas verdes y funcionales (Clements, 1965; Plucknett, 1972).
- 6) Incrementos de los rendimientos de caña y mayor rendimiento de materia seca (Ayres et al., 1966; Fox et al., 1967; Plucknett, 1972; Takahashi et al., 1990; Aziz et al., 2002; Keeping et al., 2009).
- 7) Incremento del rendimiento de azúcar por tonelada de caña (Sherman et al., 1964; Ayres et al., 1966; Teranishi, 1968; Plucknett, 1972; Takahashi et al., 1990; Aziz et al., 2002; Keeping et al., 2009)

El objetivo del presente estudio fue el de evaluar el efecto de la aplicación foliar de Quick Sol® (36% Si) en un cultivo de caña de azúcar.

MATERIALES Y METODOS

En la zona cañera de la región sur-oriental del país, en el departamento de Rivas, Nicaragua, se realizó un estudio de campo donde se aplicó Quick Sol (36% Si), a un cultivo de caña de azúcar durante la temporada 2014-2015.

El estudio de campo se llevó a cabo en un lote de 0.5 ha, en una plantación de caña planta (45 DDS) para producción de semilla (Junio 2014). El objetivo fue el de evaluar la aplicación foliar de 0.7 lt/ha de Quick Sol® en caña de azúcar - CP881165 - bajo condiciones de manejo agronómico que tiene contemplado la empresa CASSUR (Complejo Azucarero del Sur, Rivas, Nicaragua).

Se escogieron 10 surcos centrales lineales de la parcela experimental (0.25 ha) los cuales estaban espaciados 1.5 m. El suelo es de tipo franco-arcillo-arenoso. La aplicación de Quick Sol fue realizada a plantas de caña en desarrollo a 45 días después de la siembra y emergencia (DDE) de los brotes vegetativos.

El testigo fue un área de caña de azúcar sin aplicación de Quick Sol®.

Se evaluaron las siguientes variables: Peso de tallos molibles (gr.), Número de entrenudos, Tallos por surco por 10 metros lineales, Altura de planta (m), Diámetro de tallo (cm), Contenido de azúcar (Grados Brix), e Incidencia de la enfermedad Muermo Negro [*Glomerella tucumanensis* (Speg.) Arx & E.Müll].

Las mediciones se realizaron a los 210 DDS. Un total de dieciséis (16) observaciones fueron colectadas por bloques de 4 surcos (10 m lineales por surco) en un área de 0.25 ha.

El diseño experimental utilizado fue el de Bloques Completamente al Azar (BCA) con cuatro repeticiones y el análisis estadístico fue realizado usando SAS 9.4 (SAS Institute, Cary, NC), utilizando el procedimiento PROC GLM para el ANDEVA de doble entrada, PROC T-Test para la separación de medias y Tuckey, $p \leq 0.05$, PROC MEAN STDERR para las medias, PROC REG para las líneas de regresión.

Quick Sol® es un producto elaborado y vendido en Estados Unidos de Norteamérica y otros países de Centro y Sudamérica, así como otros países del mundo. Elaborado químicamente, el Quick Sol® esta formulado para mejorar los niveles de fertilidad de suelo y simultáneamente, facilitar la absorción de los nutrientes a través del sistema radicular de las plantas. Formulado a base de silicio, el Quick Sol (36% Si) es un silicato de sodio (Na_2SiO_3), el cual contiene: Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Zn, Sodio (Na), Acido fúlvico y Acido húmico. Las características y bondades del uso de Quick Sol® son:

- Biodegradable
- Estimulante microbial
- Rompe tensión superficial, siendo un excelente surfactante
- No ácido, no caustico, no inflamable y no tóxico.
- Soluble en agua
- Nutriente vegetal
- Certificación orgánico
- No carcinógeno

RESULTADOS Y DISCUSION

Variable Tallos Molibles

No se determinaron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo se observa que en el tratamiento Quick-Sol (QS), el peso de tallos molibles fue superior al tratamiento testigo en un 3%. Las líneas de regresión lineal indican que los valores de Quick-Sol son positivos aunque el mismo - su tendencia - es menor que el del control. Los valores del coeficiente de regresión confirman la independencia de la variable tratamiento con respecto a la variable tallo molibles, lo cual confirma que otros factores pueden estar influenciando el resultado de los valores de la variable dependiente (peso de tallos molibles), dado el bajo valor de r^2 para el tratamiento Quick Sol (0.002). Para el caso, se puede inferir que la 'no' significancia pudo haber sido influenciada por el efecto genético del genotipo de Caña de Azúcar sembrada, así como la edad de la plantación (estado de desarrollo fenológico de la caña), al momento de la toma de datos, e

igualmente, al efecto del manejo del cultivo durante el desarrollo del mismo. Adicionalmente, el valor de p-value (valor de probabilidad) indica que el evento tiende a ocurrir en un 33.3%.

A pesar del resultado obtenido para la variable 'tallos molibles', se podría inferir que la tendencia es a incrementar el peso de tallos molibles (tendencia positiva) lo cual nos lleva a inferir que el tratamiento Quick Sol incentiva el aumento del peso de tallos molibles, siendo el Quick Sol S con un peso promedio de 1,283.50 gr. el que tuvo el mayor peso de tallos molibles.

Variable Numero de Entrenudos por Tallo

No se determinaron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo se observa que en el tratamiento Quick Sol fue superior en un 4% al tratamiento control. Las líneas de regresión lineal indican que los valores de Quick-Sol son positivos, sin embargo (dada la negatividad de la variable independiente 'x'), el incremento en el número de entrenudos es ligeramente superior al control, ya que la línea de regresión tiene valores positivos.

De los resultados se puede inferir que la tendencia en cuanto al número de entrenudos fue que el Quick sol tiende a promover el número de entrenudos por tallo de caña de azúcar. La media del tratamiento Quick Sol fue de 17.44, superior a la media del tratamiento control que tuvo 16.69. Los valores del coeficiente de regresión confirman la independencia de la variable independiente: número de entrenudos, mostrando una mayor variabilidad en el tratamiento Quick Sol, lo cual confirma que hay un efecto positivo del Silicio sobre la formación de entrenudos de la caña de azúcar, sin embargo, se puede especular que otros factores pueden estar influenciando el resultado de los valores de la variable dependiente (número de entrenudos), que para el caso podría ser tanto el factor genético de la variedad como el efecto del manejo del cultivo, así como la edad de la plantación (estado de desarrollo fenológico del cultivo) al momento de la toma de datos.

Adicionalmente, el valor de p-value indica que el evento tiende a ocurrir en un 35%. A pesar del resultado de no significancia obtenido para la variable 'numero de entrenudos', como conclusión se podría inferir que la tendencia es a incrementar el número de entrenudos (tendencia positiva) lo cual nos lleva a especular que el tratamiento Quick Sol incentivó el aumento del número de entrenudos del tallo de la caña de azúcar.

Número de Tallos por Surco por 10 metros lineales

Se determinaron diferencias significativas entre los tratamientos, siendo el tratamiento Quick Sol con 123.25 tallos por 10 metros lineales, superior en un 18% al tratamiento control con 104.25. Las líneas de regresión lineal indican que los valores de Quick-Sol y del control tienden a disminuir, sin embargo, comparando los valores del coeficiente de regresión (r^2), se puede observar que el valor del tratamiento control fue de 0.85, lo cual indica que existe una mayor variabilidad del control con respecto al

tratamiento Quick Sol con 0.26. De los resultados se puede inferir que otros factores, tal es el caso del manejo del cultivo, así como el estado fenológico del cultivo, pudieron haber estado influenciado la emisión de tallos por planta por surco por 10 m lineales.

Altura de Planta

Significativas diferencias fueron determinadas entre los tratamientos, siendo el tratamiento Quick Sol con 2.21 m. superior al tratamiento control (2.0 m), en un 11%. Las líneas de regresión indican un incremento positivo de los valores de la variable dependiente (altura), para ambos tratamientos, siendo superior el tratamiento Quick Sol. Adicionalmente y considerando los coeficiente de regresión de 0.12 (Quick Sol) y 0.01 (Control), se demuestra la mayor heterogeneidad en las alturas de plantas para el tratamiento control. Como conclusión, de las líneas de regresión lineal se pudo observar que el efecto del tratamiento Quick Sol incrementó la altura de plantas de caña de azúcar, lo cual implicaría un mayor número de tallos de plantas a molienda.

Diámetro de Tallo

No significativas diferencias fueron determinadas entre los tratamientos, sin embargo, el tratamiento Quick Sol tuvo un promedio de diámetro de tallo inferior al del tratamiento control con 2.54 cm y 2.58 cm, respectivamente. Las líneas de regresión indican un incremento negativo de los valores de la variable dependiente (altura de planta), siendo superior los del tratamiento control con respecto al tratamiento Quick Sol, dado que la mayor variabilidad se puede demostrar con los valores del coeficiente de regresión el cual se observa que para el control fue mayor (0.08), seguido por el del Quick Sol (0.002). Esto infiere que la variable 'diámetro' tiene una variabilidad de hasta un 8% donde se podrían observar tallos gruesos y tallos delgados, mientras que en el tratamiento Quick Sol, la tendencia es que los diámetros de tallos sean más homogéneos.

Como conclusión con respecto a la variable diámetro de tallo, se puede inferir que la mayor heterogeneidad se determinó para el tratamiento control, lo cual es una desventaja para los rendimientos de caña por cuanto al haber un 8% de variabilidad de la variable diámetro, una cantidad significativa de tallos delgados se estaría llevando a molienda, con lo que se podría inferir que el rendimiento de caña será menor, comparado con el tratamiento Quick Sol.

Grados Brix (°Brix)

Significativas diferencias fueron determinadas entre los promedios de los tratamientos, donde el QS fue superior (22.07) con respecto al control (18.31). El tratamiento Quick Sol fue superior en un 21% al tratamiento control, lo que demuestra que una cantidad significativamente mayor de °Brix fue obtenida de los tallos de caña de azúcar producto de la aplicación de QS comparado al tratamiento control. Esto se demuestra de la tendencia positiva de las líneas de regresión lineal, así como por los valores de los coeficientes de regresión donde se observa la mayor homogeneidad de

los datos del tratamiento Quick Sol (0.01) comparado con el tratamiento control, el cual tuvo la mayor variabilidad con un $r^2 = 0.60$.

Como conclusión, se puede inferir que el tratamiento QS aumenta el rendimiento de azúcar (°Brix) de los tallos molibles, siendo mayor en el tratamiento Quick Sol en un 21%. Adicionalmente, se puede inferir que hubo una mayor homogeneidad de planta que influyó en el mayor contenido de azúcar (°Brix) por tallo de caña molible.

Incidencia de Muermo Negro (Frecuencia)

No significativas diferencias fueron determinadas entre los promedios de los tratamientos, donde la frecuencia de aparición de los síntomas de muermo negro fue mayor en el tratamiento control (0.75), comparado con el Quick Sol (0.69). Con base en los coeficientes de regresión (r^2), se puede inferir que la incidencia de esta enfermedad pudo ser debida a la contaminación del material de siembra de la variedad de caña sembrada, la cual tuvo su mayor incidencia en el tratamiento control, mientras que con la aplicación de Quick Sol, la frecuencia de la aparición de la enfermedad fue menor dado el efecto de la aplicación de silicio.

De las líneas de regresión se puede inferir que el tratamiento Quick Sol tendería a disminuir la aparición del muermo negro debido al valor negativo de la variable independiente (tratamiento Quick Sol = $-0.17x$), mientras que el tratamiento control tendería a aumentar (Control = $+0.09$).

CONCLUSION FINAL

En general, el efecto de la aplicación de Quick-Sol con un contenido de 36% Si asimilable, en plantas de caña de azúcar del Ingenio Azucarero – CASUR, Belén, Rivas, incrementó el número de tallos por surco de 10 metros lineales en un 18%, así como el crecimiento de planta (altura de planta) en un 11%. De igual forma, los grados Brix se incrementaron en un 21%, lo cual confirma los resultados obtenidos por Sammuels (1969); du Preez (1970); Hurney (1973); Shine (1973); Elawad et al. (1982); Savant et al. (1999); Meyer and Keeping (2000) y Bokhtiar et al. (2012). La aplicación de Quick Sol, adicionalmente tuvo el menor valor en cuanto a la incidencia de la enfermedad Muermo Negro. No se determinaron diferencias significativas para las variables: número de entrenudos, número de tallos molibles, diámetro de tallos, y presencia de muermo negro.

Cuadro 1. Análisis de varianza de las medias (n = 16) de datos^z colectados en un estudio de aplicación de Quick Sol (36% Si) en un cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L). CASUR, 2015. Belén, Rivas, Nicaragua.

Factor	Tratamiento	p-value	Regresión lineal	r²	Medias	Separación de medias^z
Tallos molineros, gr	Quick Sol	0.3332	Y = 1286.41 + 8.80x	0.002	1283.50	A
	Control		Y = 1174.64 + 40.00x	0.09	1246.00	A
Número de entrenudos por tallo	Quick Sol	0.3499	Y = 17.85 – 0.09x	0.01	17.44	A
	Control		Y = 16.10 + 0.27x	0.03	16.69	A
Numero de tallos por surco de 10 m lineales	Quick Sol	0.0207	Y = 133.0 – 5.86x	0.26	123.25	A
	Control		Y = 120.0 – 5.29x	0.85	104.25	B
Altura de planta, m.	Quick Sol	0.0250	Y = 1.98 + 0.06x	0.12	2.21	A
	Control		Y = 1.83 + 0.12x	0.39	2.00	B
Diámetro de tallo, cm.	Quick Sol	0.2433	Y = 2.65 – 0.01x	0.002	2.54	A
	Control		Y = 2.87 – 0.09x	0.08	2.58	A
Grados Brix (°Brix)	Quick Sol	0.0355	Y = 20.51 + 0.12x	0.01	22.07	A
	Control		Y = 18.31 + 1.36x	0.60	18.31	B
Incidencia Muermo Negro	Quick Sol	0.2830	Y = 2.17 – 0.17x	0.25	0.69	A
	Control		Y = 1.13 + 0.09x	0.03	0.75	A

Datos analizados usando SAS PROC GLM para el ANDEVA, MEAN STDERR, y PROC REG para las Líneas de Regresión.

Separación de medias usando LSM test estudentizado y separación de Tukey's test, $p \leq 0.05$.

^zMedias con las mismas letras dentro de cada factor son no significativas. Medias con letras diferentes dentro de cada factor son significativas, $p \leq 0.05$.

LITERATURA CITADA

- Ayres, A.S., H.H. Hagihara, and G. Stanford.** 1966. Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugarcane on low-silicon soils. *Soil Science* 101:216-227.
- Aziz, T., M.A. Gill, and T. Rahmatullah.** 2002. Silicon nutrition and crop production: A review. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 39(3):181-187.
- Berthelsen, S., A. Noble, G. Kingston, A. Hurney, and A. Rudd.** 2002. Effect of Ca-silicate amendments on soil chemical properties under a sugarcane cropping system. 'Proceedings of the 2nd. Silicon in Agriculture Conference, Tsuruoka, Japan'. Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition, Tsuruoka. pp:57.
- Bokhtiar, S.M.** 2011. Effects of silicon on yield contributing parameters and its accumulation in abaxial epidermis of sugarcane leaf blades using energy dispersive x-ray analysis. Proceedings of the 5th. International Conference on silicon in agriculture. September 13-18, 2011. Beijing, China. pp:12.
- Bokhtiar, S.M., H. H-R. Huang, and Y-R. Li.** 2012. Response of sugarcane to calcium silicate on yield, gas exchange characteristics, leaf nutrient concentrations, and soil properties in two different soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 43(10):1363-1381.
- Brassioli, F.B., R.M. Prado, and F.M. Fernandes.** 2009. Avaliação agronômica da escória de siderurgia na cana-de-açúcar durante cinco ciclos de produção. *Bragantia* 68:381-387.
- Camargo, M.S. de, A. Rodríguez-Gomes, Jr., P. Wyler, and G.H. Korndörfer.** 2010. Silicate fertilization in sugarcane: Effects on soluble silicon in soil, uptake and occurrence of stalk borer (*Diatraea saccharalis*). 19th. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1-6 August, 2010. pp:259-262 Brisbane, Australia.
- Clements, H.F.** 1965. Effects of silicate on the growth and leaf freckle of sugarcane in Hawaii. Proceedings of the 12th. Congress of the International Society of Sugarcane Technology. pp:197-215.
- Currie, H.A. and C.C. Perry.** 2007. Silica in plants: Biological, biochemical and chemical studies. *Annals of Botany* 100:1383-1389.
- du Preez, P.** 1970. The effect of silica on cane growth. Proceedings of the South African Sugar Technologist's Association. South African Sugar Association Experimental Station, 183-188.
- Datnoff, L.E., K.W. Seebold, and F.V. Correa-V.** 2001. The use of silicon for integrated disease management: reducing fungicide applications and enhancing host plant resistance. pp:171-184. *In*: L.E. Datnoff, G.H. Snyder, and G.H. Korndörfer (eds.). Silicon in agriculture. Elsevier Science B.V. Amsterdam, The Netherlands. 403 p.

- Elawad, S.H., J.J. Street, and G.J. Gascho.** 1982. Response of sugarcane to silicate source and rate: I. Growth and yield. *Agronomy Journal*, Madison, University of Madison, WI 74(3):481-484.
- Epstein, E.** 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America* 91:11-17.
- Epstein, E.** 1999. Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50:641-664.
- Epstein, E.** 2000. The discovery of the essential elements. pp:1-16. *In: S.-D. Kung and S.-F. Yang (eds.). Discoveries in Plant Biology. III. World Scientific Publishing Co. Inc. Singapore. 473 p.*
- Epstein, E.** 2001. Silicon in plants: Facts vs. concepts. pp:1-15. *In: L.E. Datnoff, G.H. Snyder, and G.H. Korndörfer (eds.). Silicon in agriculture. Elsevier Science B.V. Amsterdam, The Netherlands. 403 p.*
- Epstein, E.** 2005. Silicon in agriculture: A historical review. pp:12-15. *In: G.H. Korndörfer (ed.). III Silicon in Agriculture Conference. Universidad Federal de Uberlândia (UFU). Uberlândia, Mina Gerais, Brazil. 155 p.*
- Epstein, E.** 2009. Silicon: Its manifold roles in plants. *Annals of Applied Biology* 155:155-160.
- Epstein E. and A.J. Bloom.** 2005. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. Second edition. Sinauer Associates. Sunderland, MA. 400 p.
- Exley, C.** 1998. Silicon in life: A bioinorganic solution to bioorganic essentiality. *Journal of Inorganic Biochemistry* 69:139-144.
- Fox, R.L., J.A. Silva, O.R. Younge, D.L. Plucknett, and G.D. Sherman.** 1967. Soil and plant silicon and silicate response by sugarcane. *Soil Science Soc. Amer. Proceedings* 31:775-779.
- Harada, K.** 1965. Calcium silicate tests at Kilauea Sugar Company. *Rep. Hawaiian Sugar Tech.* pp:92-95.
- Hayat, Q., S. Hayat, M. Irfan, and A. Ahmad.** 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany* 68:14-25.
- Hurney, A.P.** 1973. A progress report on calcium silicate investigation. pp:109-113. *In: R.C. Bruce. Proceedings of the 34th. Conference of Queensland Society of Sugarcane Technology. Currant Associates, Inc. Publisher. Palm Cove, Australia. 725 p.*

- Kingston, G., S. Berthelsen, A.P. Hurney, A. Rudd, and A.D. Noble.** 2005. Impact of calcium silicate amendments on sugarcane yield and soil properties in Queensland Australia. *In: Proceedings of the 3rd. Silicon in Agriculture Conference, Uberlândia, Brasil*. Universidad Federal de Uberlândia. Uberlândia, Brasil.
- Keeping, M.G., O.L. Kvedaras, and A.G. Bruton.** 2009. Epidermal silicon in sugarcane: Cultivar differences and role in resistance to sugarcane borer *Eldana saccharina*. *Environmental and Experimental Botany* 66:54-60.
- Korndörfer, G.H., M. Benedini, F.B. Paula, R.C.S. Chagas.** 2000 Cimento como fonte de silício para a cana-de-açúcar. *Stab* 19:30-33.
- Lewin, J. and B.E.F. Reimann.** 1969. Silicon and plant growth. *Annual Review of Plant Physiology* 20:289-304.
- Ma, J.F.** 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science and Plant Nutrition* 50(1):11-18.
- Meyer, J.H. and M.G. Keeping.** 2000. Review of research into the role of silicon for sugarcane production. *Proceedings of the South African Sugar Technologist's Association. SASA Experiment Station, Mount Edgecombe, South Africa.* 74:29-40.
- Samuels, G.I.** 1969. Silicon and sugar. *Sugar y Azucar* 66(4):25-29.
- Savant, N.K., G.H. Snyder and L.E. Datnoff.** 1997. Silicon management and sustainable rice production. *Adv. Agron.*, 58:151-199.
- Savant, N.K., G.H. Korndörfer, L.E. Datnoff, and G.H. Snyder.** 1999. Silicon nutrition and sugarcane production: A Review. *Journal of Plant Nutrition*, 22:1853-1903.
- Shine, J.J.** 1973. Criteria for predicting silicate slag demand for sugarcane. *Republic of Taiwan Sugar Research Institute* 59:15-24.
- Silva, J.A.** 1971. Possible mechanisms for crop response to silicate applications. *Proceedings of the International Symposium on Soil Fertility Evaluation, New Delhi, India.* Vol. 1:807-814.
- Takahashi, E.** 1996. Uptake mode and physiological functions of silica. pp:99-122. *In: T. Matsuo, K. Kumazawa, R. Ishii, K. Ishihara, and H. Hirata (eds.). Science of the rice plant: Physiology. Volume 2. Food and Agriculture Policy Research Center Publisher. Tokyo, Japan.* 1240 p.
- Takahashi, E., J.F. Ma and Y. Miyake.** 1990. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. *Comm. Agric. Food Chem.*, 2: 99-122.

Teranishi, D.Y. 1968. The effects of silicon, phosphorus, and soil pH and their interactions on yield and nutrient uptake of sugarcane. MSc. Thesis, University of Hawaii. 133 p.
