

Evaluación preliminar del contenido de silicio en hojas y tallos de *Saccharum officinarum*, “caña de azúcar” a través de técnicas analíticas nucleares

Preliminary evaluation of the silicon content in leaves and stems of *Saccharum officinarum*, "sugar cane" through nuclear analytical techniques

Boris Michajluk^{1*}, Rafael Gómez¹, Luz Bóveda¹, Yenny González²,
Julio Cabello¹

¹Departamento de Técnicas Nucleares, Dirección de Investigaciones, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay;

*e-mail: jmichajluk@yahoo.es

²Departamento de Botánica, Dirección de Investigaciones, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay

Resumen: El silicio es considerado un elemento esencial para ciertos cultivos y su concentración en la planta es variable dependiendo fundamentalmente de la especie vegetal. La técnica de activación neutrónica en fuente isotópica es una técnica analítica que permite identificar y cuantificar silicio y otros minerales en diferentes matrices, es una técnica analítica muy sensible y puede ser utilizada en amplios campos de interés científico. El objetivo de la investigación fue determinar a través de técnicas analíticas nucleares la concentración de silicio en plantas de caña de azúcar. Para el estudio se utilizaron ocho lotes de muestras de plantas de caña de azúcar obtenidas de las ciudades de Villa Hayes, San Lorenzo, Guarambare y Nueva Italia. Se cosecharon seis plantas por lote realizando un corte en el tallo a una altura de aproximadamente 10 cm por encima de la superficie del suelo, la determinación se realizó según la metodología descrita por Iturbe (2003). Los análisis fueron realizados por triplicado, digitalizados en una planilla Excel 2007® (USA) y presentados los valores según su media y desvío estándar. Se determinó presencia de silicio en todas las muestras analizadas, siendo los mayores valores del elemento los encontrados en hojas de plantas cosechadas de Tpychaty 3,01 g/100g e Ybysunu 2,62 g/100g; las mayores concentraciones de silicio en tallos se encontraron en muestras de Ybysunu 1,13 g/100g y Santa Rosa 0,977 g/100g. El análisis realizado a través de técnicas analíticas nucleares permitió cuantificar el contenido de silicio en los tejidos vegetales en estudio.

Palabras claves: caña de azúcar, hojas, silicio, tallos, técnicas analíticas nucleares.

Summary: silicon is considered an essential element for certain crops and its concentration in the plant varies depending mainly on the plant species. The isotopic source neutron activation technique is an analytical technique that allows the identification and quantification of silicon and other minerals in different matrices, it is a very sensitive analytical technique and can be used in wide fields of scientific interest. The objective of the research was to determine through nuclear analytical techniques the concentration of silicon in sugarcane plants. Eight batches of samples of sugarcane plants obtained from the cities of Villa Hayes, San Lorenzo, Guarambare

Manuscrito recibido: febrero de 2019.

Manuscrito aceptado: abril de 2019.

and Nueva Italia were used for the study. Six plants were harvested per batch making a cut in the stem at a height of approximately 10 cm above the soil surface, the determination was made according to the methodology described by Iturbe (2003). The analyzes were carried out in triplicate, digitized in an Excel 2007 ® spreadsheet (USA) and the values were presented according to their mean and standard deviation

The presence of silicon was determined in all the samples analyzed, the highest values of the element being those found in leaves of plants harvested from Typychaty 3.01 g / 100g and Ybysunu 2.62 g / 100g; the highest concentrations of silicon in stems were found in samples of Ybysunu 1.13 g / 100g and Santa Rosa 0.977 g / 100g. The analysis carried out through nuclear analytical techniques allowed to quantify the silicon content in the plant tissues under study.

Key words: sugar cane, leaves, silicon, stems, nuclear analytical techniques.

Introducción

La caña de azúcar, *Saccharum officinarum* L., es una planta perenne perteneciente a la familia de las Poáceas, puede alcanzar hasta 6 m de altura, presenta hojas de margen rugoso que pueden alcanzar hasta 1 m, su extremo inferior es generalmente deshojado con una amplia panícula de espinillas pequeñas y vellosas (Alonso, 2004). Es una planta robusta con cañas macizas, erguidas, gruesas de 10 a 40 nudos y diámetro de 2 a 6 cm; médula jugosa, azucarada y muy cultivada para la producción de azúcar en los países tropicales y sub tropicales de todo el mundo (Milan, 1978).

Las gramíneas como la caña de azúcar son capaces de absorber grandes cantidades de silicio y las respuestas a las aplicaciones de este elemento se traducen en términos de rendimiento de caña de azúcar sobre todo en aquellos suelos con bajos contenidos de silicio disponible (Pérez, 2016).

El Silicio constituye el segundo elemento en abundancia en la corteza terrestre y se lo encuentra en el suelo bajo las formas de ácido monosilícico, oligómeros de ácido silícico y ácidos polisilícicos que son sustancias biogeoquímicamente activas y también como cuarzo que es inerte (Araya, 2015 y Matichenkov, 2008), según Navarro (2013), se lo considera un nutriente esencial para ciertas plantas como caña de azúcar, arroz, cebada, girasol y remolacha pues lo presentan en sus tejidos como un componente constante y en elevada proporción; su acumulación en la plantas se da principalmente en las paredes de células de la epidermis en forma de ácidos mono y polisilícico, pudiendo alcanzar en la savia una concentración de 15g/100g proporcionando funciones de protección a nivel mecánico y fisiológico constituyendo de esta manera una barrera mecánica contra el ataque de plagas como el barrenador y algunas enfermedades causadas por hongos (Matichenkov, 2008 y Pérez, 2016).

Los efectos abióticos del Si en las plantas son diversos, produciendo aumento de absorción de fósforo, resistencia a enfermedades fúngicas, tolerancia a toxicidad por exceso de hierro y manganeso, minimiza efectos adversos del estrés hídrico mejorando la eficiencia de absorción de agua y regulación de la transpiración, plantas que se desarrollan en ausencia de silicio por lo general presentan estructura débil, tamaño menor y desarrollo anormal, siendo susceptibles a estrés abiótico y son fácilmente atacadas por organismos patógenos (Araya, 2015; Pérez, 2016 y Raya Pérez, 2012).

Estudios de fertilización combinada de nitrógeno, silicato y caliza, lograron aumentar los niveles de nitrógeno y silicio en suelo, hojas y tallos de caña de azúcar, produciendo además el mejoramiento del estado nutricional del cultivo; en países como Sudáfrica, India, Australia, Brasil, Estados Unidos y México se han realizado investigaciones que demuestran los efectos beneficios de las fertilizaciones combinadas con silicio en cultivos de caña de azúcar, su aplicación se está extendiendo a nivel experimental y comercial sobre todo en suelos con bajas concentraciones de silicio (Pereira, 2015; Pérez, 2016 y Raya Pérez, 2012).

El análisis por activación neutrónica es una técnica nuclear rápida y eficaz que permite identificar y cuantificar elementos presentes en diferentes matrices, constituye además una técnica analítica muy sensible que puede ser utilizada en amplios campos de investigación. Para realizar el análisis se necesitan una fuente de neutrones, instrumentos para detección de radiación gamma y el conocimiento detallado de todas las reacciones que ocurren cuando los neutrones son bombardeados e interactúan con un núcleo blanco. Los límites de detección del análisis son muy variables pues difieren de un elemento a otro, siendo un factor determinante la radioactividad que presenta el elemento; existen algunos que resultan extremadamente radiactivos peso por peso y su determinación puede ser realizada a muy bajas concentraciones, sin embargo otros, presentan una menor actividad radiactiva y vida media muy corta (inclusive menores a 10 segundos) que limitan la medición de su concentración. El análisis por activación neutrónica puede ser aplicado en varias áreas de la ciencia (Michajluk et al. 2018).

En el Paraguay no se registra información acerca del contenido de silicio en muestras de tejido vegetal, así como no se verifica que laboratorios del sector agrario ofrezcan este servicio. En este sentido constituye un desafío iniciar estudios referentes al contenido de silicio en muestras de tejido vegetal, principalmente en plantas de caña de azúcar, arroz y girasol pues son especies vegetales ampliamente cultivadas en nuestro país y el silicio podría ser un factor determinante en su desarrollo. El objetivo de la presente investigación fue determinar de manera preliminar el contenido de silicio en muestras de hojas y tallos de plantas de caña de azúcar a través de la técnica analítica nuclear utilizando una fuente isotópica de neutrones de baja intensidad.

Materiales y Métodos

Para el estudio se utilizaron ocho lotes de muestras de plantas de caña de azúcar obtenidas de las ciudades de Villa Hayes, San Lorenzo, Guarambare y Nueva Italia. Se cosecharon seis plantas por lote realizando un corte en el tallo a una altura de aproximadamente 10 cm por encima de la superficie del suelo. Las muestras fueron llevadas al Departamento de Botánica de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de Asunción, para certificar su identidad botánica, constatándose que se trataba de *Saccharum officinarum* L. (Poaceae).

Las muestras de hojas y tallos fueron secadas en estufa a 105° C, molidas, pasadas a través de un tamiz de 2 mm y conservadas en recipientes herméticos en el Laboratorio de Técnicas Nucleares de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de Asunción.

Para la determinación de silicio se pesaron alrededor de 15 g de muestra en viales de

plástico herméticos y se colocaron en un porta muestra de parafina el cual se irradio por diez minutos en una fuente isotópica de neutrones de manera a que los neutrones térmicos interactúen con la muestra. Esta irradiación produjo la conversión del nucleído no radioactivo en estudio, en uno radioactivo por interacción con neutrones formados en la fuente, luego estos nucleídos emiten radiación gamma al desexcitarse nuevamente y esta emisión se visualiza en un detector de centelleo donde se mide su actividad por diez minutos. Cada radio nucleído posee una señal característica que permite su identificación (Iturbe, 2003 y Moranchel et al. 2012).

Los equipos utilizados fueron balanza analítica, porta muestras de parafina, fuente isotópica de neutrones 25 Ci (^{241}Am) y 150 g (^9Be). El flujo de neutrones de $5,0 \cdot 10^7 \text{ ns}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ doblemente encapsulado en un diseño anular contenido en un contenedor cilíndrico blindado de 104 cm de longitud y 127 cm de diámetro.

El detector de centelleo utilizado fue de NaI de $3'' \times 3''$ y PC tarjeta multicanal. Se utilizó como estándar silicio (Si) con 97,5 % de pureza preparado en condiciones similares a las muestras.

Los datos fueron digitalizados en una planilla Excel 2008® (USA) y presentados los valores según su media y desvío estándar.

Resultados y Discusión

El silicio total se encontró en concentraciones variables tanto en hojas como en tallos de caña de azúcar como puede observarse en las **Tabla 1** y **Tabla 2**.

Tabla 1. Contenido de silicio (g/100g) en hojas de caña de azúcar determinado por técnicas nucleares.

Muestra	Ciudad	Distrito	Promedio ¹ ± Desvío estándar
M1	San Lorenzo	Campo Experimental (1)	1,92 ± 0,300
M2	San Lorenzo	Campo Experimental (2)	1,36 ± 0,172
M3	Guarambare	Santa Rosa	1,86 ± 0,486
M4	Guarambare	Ybysunu	2,62 ± 0,332
M5	Guarambare	Kaygua Kokue	2,24 ± 0,176
M6	Guarambare	Typychaty	3,01 ± 0,159
M7	Nueva Italia	Itakurupikaity	2,46 ± 0,211
M8	Villa Hayes	Villa Hayes	1,69 ± 0,389

¹Promedio de tres repeticiones.

Tabla 2. Contenido de silicio (g/100g) en tallos de caña de azúcar determinado por técnicas nucleares.

Muestra	Ciudad	Distrito	Promedio ¹ ± Desvío estándar
M1	San Lorenzo	Campo Experimental (1)	0,532 ± 0,050
M2	San Lorenzo	Campo Experimental (2)	0,464 ± 0,078
M3	Guarambare	Santa Rosa	0,977 ± 0,146
M4	Guarambare	Ybysunu	1,13 ± 0,318
M5	Guarambare	Kaygua Kokue	0,799 ± 0,222
M6	Guarambare	Typychaty	0,360 ± 0,026
M7	Nueva Italia	Itakurupikaity	0,530 ± 0,110
M8	Villa Hayes	Villa Hayes	0,573 ± 0,004

¹Promedio de tres repeticiones.

Los menores valores de silicio en hojas de caña de azúcar se encontraron en plantas del Campo Experimental (2) de San Lorenzo 1,36 g/100g y en Villa Hayes 1,69 g/100g. Las mayores concentraciones fueron encontradas en Typychaty 3,01 g/100g e Ybysunu 2,62 g/100g.

Las menores concentraciones de silicio en tallos de caña de azúcar fueron determinadas en muestras cosechadas de Typychaty 0,360 g/100g y del Campo Experimental (2) de San Lorenzo 0,464 g/100g. Los mayores valores se determinaron en Ybysunu 1,13 g/100g y Santa Rosa 0,977 g/100g.

En general, las concentraciones de silicio determinadas en hojas y tallos de caña de azúcar son adecuadas y se encuentran dentro del rango de valores mencionados por autores como Raya Pérez (2012) y Matichenkov (2008), quienes reportaron valores mínimos de silicio en tejido vegetal de 0,10 g/100g y máximos de 15,0 g/100g.

Por otro lado, Pérez (2016) también reportó en hojas de caña de azúcar, concentraciones mínimas de silicio de 1,6 g/100g y máximas de 3,0 g/100g, valores que coinciden con los obtenidos en la presente investigación.

Las diferencias de concentración de silicio encontradas entre muestras podrían deberse a diferentes tipos de fertilización de los cultivos en estudio, pues según Pereira et al. (2015) suelos fertilizados con silicio, nitrógeno y caliza, aumentaron significativamente la concentración de silicio en hojas y tallos de caña de azúcar de la variedad RB855156.

Los resultados obtenidos permiten considerar futuras investigaciones aplicando esta técnica nuclear para cuantificar silicio en diferentes partes de la planta y en diferentes estados de maduración

La información adquirida es de suma importancia debido a que en el país no existen datos acerca de investigaciones similares realizadas en tejido vegetal, y este es, de acuerdo a nuestro conocimiento, el primer trabajo de detección de silicio en caña de azúcar a través de técnicas analíticas nucleares

Conclusión

El análisis realizado a través de técnicas analíticas nucleares permitió cuantificar el contenido de silicio en los tejidos vegetales en estudio.

Referencias bibliográficas

- Alonso, J. (2004). *Tratado de Fitofármacos y Nutracéuticos*: Rosario, Argentina: Ed. Corpus.
- Araya, M., Camacho, M., Molina, E. y Cabalceta, G. (2015). Evaluación de fertilizantes líquidos con silicio, calcio o magnesio sobre el crecimiento del sorgo en invernadero. *Revista electrónica de Agronomía Costarricense*, 39(2), 47-59. Recuperado el 11 de enero de 2019, de https://www.mag.go.cr/rev_agr/v39n02_047.pdf

- Iturbe, J. (2003). Análisis por activación neutrónica. Memorias, Congreso Nacional de Educación Química. Departamento de Química. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. México D.F.
- Matichenkov, V. (2008). Deficiencia y funcionalidad del sílice en suelos, cosechas y alimentos. II Conferencia Internacional sobre Eco-Biología del suelo y el compost. SOILACE. Tenerife. Recuperado el 25 de enero de 2019, de http://soilace.com/pdf/pon2008/d28/Cas/21_Matichenkov.pdf
- Michajluk, J., Gómez, R., Moreno, H., Leguizamón, C. y Cabello, J. (2018). Aplicación de técnicas analíticas nucleares para determinar aluminio total en suelo. *Revista Científica de la UCSA*, 5(2), 6-10.
- Milan, J. (1978). *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo I. Descripción de las plantas cultivadas*. 3ª (ed.). Buenos Aires: Editorial ACME SACL.
- Moranchel, M., García, A. y Longoria, L. (2012). Análisis de activación neutrónica y actividad en el acero de la vasija de un reactor nuclear tipo BWR para su estudio sin riesgos radiológicos en microscopía y espectrometría. *Revista Mexicana de Física*, 58, 488-496. Recuperado el 30 de enero de 2019, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmf/v58n6/v58>.
- Navarro, G. y Navarro, S. (2013). *Química Agrícola*. 3ª (ed.). Madrid: Mundi Prensas.
- Pereira, S., Mello, P., Batista, F. y Campos, N. (2015). Respuesta del cuarto cultivo de soca de caña de azúcar a la fertilización de nitrógeno, silicio y cal. *Revista de Agrociencia*, 49, 533-544. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v49n5/v49n5a5.pdf>
- Pérez, O., Hernández, F., Azañón, V., Martínez, C. y Duarte, R. (2016). Respuesta de la caña de azúcar al silicio en dos suelos de la zona cañera de Guatemala. *Revista de Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 15, 26-30. Recuperado el 13 de diciembre de 2018, de [http://www.ipni.net/publication/ialacs.nsf/0/F8E8C2528A0F627103257F860055B0AB/\\$FILE/26.pdf](http://www.ipni.net/publication/ialacs.nsf/0/F8E8C2528A0F627103257F860055B0AB/$FILE/26.pdf)
- Raya Pérez, J. y Aguirre, C. (2012). El papel del silicio en los organismos y ecosistemas. *Revista Conciencia Tecnológica*, 43, 42-46. Recuperado el 20 de diciembre de 2018, de <https://www.redalyc.org/pdf/944/94424470007.pdf>