

Fitólitos en clones y variedades de *Cenchrus purpureus*

Carlos González González, Jatnel Alonso Lazo, Anarelly Costa Alvarenga¹ y Reginaldo Arruda Sampaio¹

Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

jalonso@ica.co.cu

¹ Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias, Caixa Postal 135, CEP 39404-006 Montes Claros, MG, Brasil

Resumen

Las plantas acumulan cuerpos silíceos conocidos como fitólitos. Estos polímeros participan en la reducción del estrés hídrico y salino y afectan la digestibilidad de los forrajes. Por su alta estabilidad, contribuyen a la captura del carbono atmosférico. En este trabajo se caracteriza el contenido de fitólitos en clones y variedades de *Cenchrus purpureus*. Los fitólitos se cuantificaron por el método de cenizas secas. Los genotipos evaluados se ordenaron en grupos de alto contenido de fitólitos (8.33%), niveles intermedio (6.46%) y bajos (4.37%). Esta distribución facilitará la selección de individuos promisorios para la producción de forraje en regiones con sequía y salinidad. Al mismo tiempo permitirá estimar el impacto ambiental de las variedades que se liberen en términos de su potencial de acumulación de carbono.

Palabras claves: silicatos, biomineral, forraje, digestibilidad

Phytoliths in clones and varieties of *Cenchrus purpureus*

Abstract

The plants accumulate siliceous bodies known as phytoliths. These polymers participate in the reduction of hydric and saline stress and affect the digestibility of forages. Because of their high stability, they contribute to the capture of atmospheric carbon. In this work, the content of phytoliths in clones and varieties of *Cenchrus purpureus* is characterized. The phytoliths were quantified by the dry ash method. The evaluated genotypes were arranged into groups with a high content of phytoliths (8.33%), intermediate levels (6.46%) and low levels (4.37%). This distribution will facilitate the selection of promising individuals for the production of forage in regions with drought and salinity. At the same time, it will allow estimating the environmental impact of the varieties that are released in terms of their carbon accumulation potential.

Key words: silicates, biomineral, forage, digestibility

Introducción

La hierba Napier (*Cenchrus purpureus* Schumach) representa una alternativa viable para la alimentación del ganado por ser una especie que produce altos rendimientos de forraje con bajos insumos. Además presenta rápida capacidad de rebrote (Grajales et al 2018), es fácil de propagar, contribuye al control de la erosión del suelo y resiste un amplio espectro de plagas y enfermedades (Negawo et al 2017).

Por su parte, los silicatos son el séptimo elemento más abundante en el universo y el segundo en el suelo (Tréguer y De La Rocha 2013). Las plantas pueden acumular la sílice disuelta en el suelo la cual se polimeriza y se deposita en las paredes celulares, lumen y espacios intercelulares de los tejidos aéreos (Kumar et al 2017). En muchas especies estos polímeros existen en forma de una matriz esquelética conocida como fitólitos. Estas estructuras participan en el sostén de los tejidos, el secuestro de metales pesados (Gonçalves et al 2015), la defensa contra herbívoros, imparten tolerancia contra estrés biótico y abiótico (Haynes 2017) y se relacionan con la reducción del estrés salino al aumentar los rendimientos y el contenido de agua de las hojas (Rohanipoor et al 2013).

Uno de los mecanismos de secuestro de carbono más promisorios es la oclusión de carbono dentro de los fitólitos (Fulweiler et al 2015). Se ha demostrado que los fitólitos, producidos por la planta, están conformados por carbono en un 5.8% de su estructura. Son altamente resistentes a la descomposición y pueden acumularse en el suelo durante miles de años, lo cual evidencia el potencial de estos compuestos para el secuestro del carbono atmosférico (Song et al 2012).

Existen evidencias que los esqueletos silíceos depositados en los tejidos vegetales funcionan como soporte estructural alternativo a la lignina y constituyen una barrera para la colonización de los tejidos herbáceos por bacterias ruminales (Bae et al 1997). Van Soest y Jones (1968) estimaron que la digestibilidad disminuye tres unidades por unidad de sílice en la materia seca. Katz (2015) señaló además, que la variación intra-familiar en el contenido de fitólitos puede llegar a ser hasta de 5 órdenes de magnitud, por lo cual pueden ser utilizados para la diferenciación de materiales vegetales.

En este sentido el objetivo de este trabajo fue caracterizar el contenido de fitólitos en materiales vegetales de *Cenchrus purpureus* conservadas en el banco de germoplasma del Instituto de Ciencia Animal en Cuba.

Materiales y métodos

Procedencia de los materiales: Se colectaron muestras de 7 clones y 5 variedades de *Cenchrus purpureus* (Tabla 1) conservadas en el banco de germoplasma del Instituto de Ciencia Animal, ubicado en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Miguel Sistachs Naya, en suelo Ferralítico rojo típico (Hernández et al 2015).

Tabla 1. Clones y variedades evaluadas en el experimento.

Nombre	Registro
King Grass	variedad
OM-22	variedad
CT-169	variedad
CT-115	variedad
Morado	variedad
CT-442	clon
H-31	clon
CT-806	clon
CT-452	clon
CT-609	clon

Las variedades CT-115 y CT-169 se obtuvieron por cultivo de tejidos, a partir de meristemos de King grass dentro del programa genético fitotecnia de las mutaciones (Martínez et al 1986). El OM-22 es un híbrido interespecífico obtenido del cruzamiento de *C. purpureus* vc CT-169 con *Pennisetum glaucum* vc Tifton Late y González 2018). El resto de los clones se obtuvieron en programas de mejoramiento mediante cultivo de tejidos donde se simulaban in vitro, las condiciones de sequía y salinidad con polietilenglicol y cloruro de sodio respectivamente (Herrera 2001).

Evaluación de los materiales

Las variedades y clones fueron plantados en parcelas de 25m² y presentaron entre 170 y 180 días de rebrote en el momento del muestreo en abril de 2014. Cada parcela estaba conformada por 5 surcos de 5m con 5 plantas (macolla) en cada uno. En cada parcela se seleccionaron 3 macollas al azar de las cuales se cortó un plantón (tallo con hojas) por macolla. Se separaron las fracciones hojas y tallos y se secaron en estufa de circulación de aire libre hasta que mantuvieran peso constante. Luego se molieron y tamizaron a 1mm de espesor.

Las muestras se trasladaron al Instituto de Ciencias Agrarias de la UFMG para determinar, en el Laboratorio de Análisis de Residuos para Aprovechamiento Agrícola, el contenido de cenizas y fitólitos utilizando el método descrito por Parr et al (2001)

Los materiales se calcinaron en mufla a 500°C durante 6 horas. Las cenizas se transfirieron a tubos de ensayos donde se retiraron los carbonatos con una solución de ácido clorhídrico al 10% en baño tibio a 70°C por 30min. Luego se centrifugaron con altas velocidades durante 5 minutos y se eliminó el sobrenadante.

Este proceso se repitió con agua destilada y luego con peróxido de hidrogeno 15%, seguido de dos lavados con agua destilada des ionizada. Finalmente las muestras se colocaron en etanol y se deshidrataron en estufa a 60⁰C, para pesarlas en balanza analítica. La concentración se expresó como porciento del peso seco original de la muestra. El contenido de cenizas se determinó por el método AOAC (2000).

Análisis estadístico

El procesamiento estadístico se realizó a través de la comparación de los intervalos de confianza de la media utilizando t de Student a p < 0.05 (Banzatto y Kronka 1992) para cada uno de los indicadores estudiados. Luego se realizó análisis de conglomerados jerárquico, como herramienta de análisis multivariado, para agrupar los genotipos según el contenido de fitólitos y en el establecimiento de los grupos se utilizó el valor uno en la matriz de la distancia euclídea. Los análisis se realizaron con el programa Infostat 2012 (Di Rienzo et al 2012).

Resultados

Se detectaron diferencias en el contenido de cenizas de los clones y variedades de *Cenchrus purpureus* estudiados (Figura 1). El clon CT-452 expresó el menor valor con 0.32 g. Le siguieron en orden creciente las variedades CT-115 (0.47 g), CT-169 (0.47g), Morado (0.48 g) y el clon CT-423 (0.50 g). Las mismas no presentaron diferencias significativas entre ellas. El clon CT-806 (0.71 g) presentó el mayor contenido de cenizas. Este no difirió significativamente de los clones CT-800 (0.62 g) y H-31 (0.61 g) que al mismo tiempo presentaron los mayores intervalos de confianza. Sin embargo superó significativamente a los clones CT-442 (0.63 g) y CT-609 (0.64 g). Estos dos clones superaron significativamente a las variedades King grass (0.56 g) y OM-22 (0.56 g).

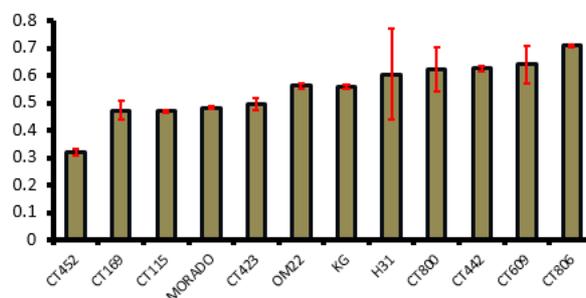


Figura 1. Comportamiento del contenido de cenizas (gramos) en variedades y clones de *Cenchrus purpureus*.

El contenido de fitólitos tuvo menor variabilidad en los intervalos de confianza de la media y de igual manera mostró diferencias entre los materiales vegetales en estudio (Figura 2). El clon CT-423 presentó el menor contenido de fitólitos (3.48 %) aunque no difirió significativamente de los CT-452 (5.80 %), CT-800 (4.67 %) y de la variedad CT-169 (4.75 %). El clon CT-806 (9.43 %) presentó el mayor contenido de fitólitos aunque no superó significativamente a los clones CT-442 (8.50 %) y H-31 (8.19%). La variedad CT-115 (6.92 %) no difirió significativamente de las variedades King grass (7.83%), Morado (6.20 %), OM-22 (7.70 %) ni de los clones CT-609 (6.92 %), CT-452 (5.80 %) y H-31 (8.19 %).

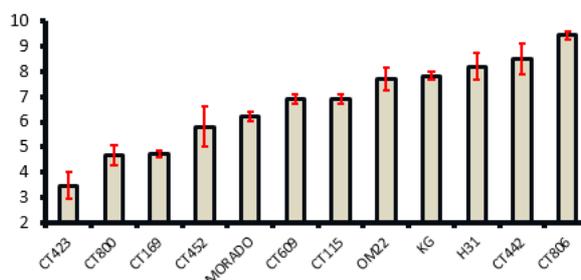


Figura 2. Comportamiento del contenido de fitólitos (%) en variedades y clones de *Cenchrus purpureus*.

El análisis de conglomerado, a partir de los contenidos de fitólitos, permitió la conformación de cinco grupos (Figura 3). Los clones CT-423 y CT-806 formaron dos grupos independientes que se caracterizaron por el de menor y mayor contenido de fitólitos, respectivamente. El clon, CT-800 y la variedad CT-169 conformaron un tercer grupo con un promedio de 4.71% de fitólitos. El cuatro grupo, con promedio de 8.05 % de fitólitos, se

conformó con los clones H-31, CT-442 y las variedades OM-22 y King grass. Las variedades Morado y CT-115 y los clones CT-452 y CT-609 conformaron el quinto grupo con valores promedio de 6.46 % en el contenido de fitólitos.

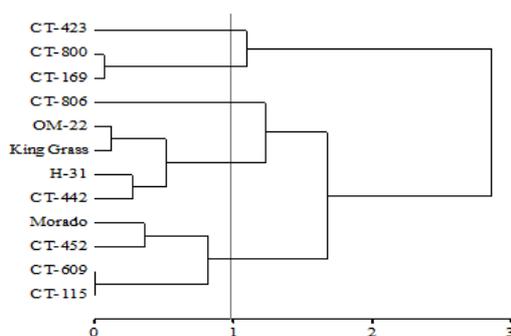


Figura 3. Agrupamiento de las variedades y clones de *Cenchrus purpureus* por el contenido de fitólitos.

Discusión

En general se detectó diferencias en el contenido de cenizas y de fitólitos de las variedades y clones evaluados lo cual indica que hay variabilidad genética en estos indicadores en el banco de germoplasma de *Cenchrus purpureus*.

Las cenizas constituyen la suma de todos los minerales en el forraje, determinados por la incineración de la muestra y el pesaje del residuo. Este indicador ha sido sumamente ignorado, lo cual conduce a sobrestimaciones del valor nutritivo de los forrajes. En general, existió poca variación en el contenido de cenizas. Este comportamiento coincide con lo observado en otras evaluaciones, donde a pesar de detectarse diferencias significativas entre las variedades, el contenido de cenizas se mantuvo en el rango de 9 a 10.36% de la materia seca (Perdomo et al 2016).

Otras investigaciones evidencian que los factores que más inciden en el contenido de cenizas de esta especie, son la fertilización y los periodos de descanso, durante el pastoreo (Valenciaga et al 2006). La mayor parte del contenido de las cenizas está compuesto por sílice que no puede ser aprovechada por el animal (Dan 2014). En este sentido, es necesario que durante el manejo y la selección de los pastos estos indicadores se mantengan en sus valores mínimos.

Si bien el clon CT-452 presentó el menor contenido de cenizas, la proporción de fitólitos fue relativamente alta. Por este motivo se incluyó en el grupo de contenido de fitólitos intermedio. En cambio el clon CT-423, presentó la menor proporción de fitólitos y expresó valores intermedios en el contenido de cenizas.

En otras variedades de hierba Napier el contenido de sílice osciló entre 3.24 % y 3.89 % al aumentar la edad de rebrote de 30 a 60 días (Jagadeesh et al 2017). También se ha evidenciado que los mayores periodos de descanso, de hasta 140 días, entre pastoreo disminuye la digestibilidad del forraje de CT-115, y al mismo tiempo aumenta el contenido de sílice (Valenciaga et al 2006).

Se estima que el contenido de sílice en plantas puede variar entre 0.1% y 10% del peso seco. Las plantas que pertenecen a la familia *Equisetaceae* y las monocotiledóneas de la familia de las *Poaceae*, *Cyperaceae* y *Commelinaceae*, presentan gran contenido de sílice de alrededor de 4% (Katz 2014).

El contenido de sílice y la contribución a las reservas de sílice en el suelo varían entre 5-9% de peso seco en 23 géneros y 9 familias nativas de los Alpes suizos (Carnelli et al 2001). Los pastizales de México oscilan entre 1.26-4.53%, las praderas del Sur Dakota entre 1-4% y la sabana del África del Este entre 6-9%. La fuente de esta variabilidad puede estar relacionada con los métodos analíticos y las características químicas del suelo (Marx et al 2004). También puede ser un reflejo de las formas de fertilización (Souza et al 2011).

Otro factor de gran importancia son las condiciones climáticas. Por ejemplo en *Rotboellia cochinchinensis* se han reportaron variaciones estacionales en el contenido de SiO_2 entre 5.69-9.95%. Las mayores acumulaciones ocurren en el periodo lluvioso. En esta especie los altos niveles se correlacionaron negativamente con la digestibilidad de la fracción nitrogenada (Kindomihou et al 2016).

También en *Cenchrus pedicellatus*, se encontraron variaciones intraespecíficas en la captación de sílice en 12 regiones de Nigeria con diferentes niveles de precipitación y sequía (Issaharou-Matchi et al 2016).

En este estudio se demostró que las tasas de evapotranspiración aumentan la captación y acumulación de silicatos sobre todo en los ecotipos que habitan en las regiones más secas. Se ha evidenciado que la acumulación y distribución de la sílice puede variar en respuesta a los daños causados por herbívoros (Hartley et al 2015)

El rango de variación del contenido de fitólitos en los clones y variedades evaluadas fue relativamente amplio, entre 3.48% y 9.43%. Este comportamiento es indicativo de que los materiales conservados en el banco de germoplasma, pueden ser promisorios para regiones con estrés salino y sequía. De hecho algunos de estos clones se están escalando en el Valle del Cauto un ecosistema de intensa sequía estacional en el oriente del país (Cruz et al 2017).

Investigaciones desarrolladas por Zhu y Gong (2014) evidencian que la aplicación de sílice puede mejorar por varias vías el estado hídrico de plantas estresadas al reducir la transpiración por la presencia de capa de sílice en la epidermis y aumentar la conductancia estomática, el flujo de CO_2 en las hojas y con ello la fotosíntesis. Por su parte Lux et al (1999) señalaron que la sílice puede acumularse en la pared celular de las células de la endodermis donde aumenta la resistencia a la fuga radial del agua en las raíces favoreciendo la capacidad de las plantas a resistir en ambientes secos.

Conclusiones

- Los resultados obtenidos sugieren que existe variabilidad en el contenido de fitólitos dentro del banco de germoplasma de *Cenchrus purpureus*.
- Las diferencias detectadas contribuyen a la identificación de clones promisorios desde el punto de vista de la digestibilidad del forraje, la tolerancia a la sequía y la captura del carbono.

Referencias

Bae H D, McAllister T A, Kokko EG, Leggett F L, Yanke L J, Jakober K D, Ha J K, Shin H T and Cheng K J 1997 Effect of silica on the colonization of rice straw by ruminant bacteria. *Animal Feed Science and Technology*, 65(1): 165-181. [http://doi/10.1016/S0377-8401\(96\)01093-0](http://doi/10.1016/S0377-8401(96)01093-0)

Banzatto D A e Kronka S do N 1992 Experimentação Agrícola. Jaboticabal Funep 2.

Carnelli A L, Madella M and Theurillat J P 2001 Biogenic silica production in selected alpine plant species and plant communities. *Annals of Botany*, 87(4): 425-434. <https://academic.oup.com/aob/article-abstract/87/4/425/2588386>

Cruz J M, Ray J V, Ledeá J L y Arias R C 2017 Establecimiento de nuevas variedades de *Cenchrus purpureus* en un ecosistema frágil del Valle del Cauto, Granma. *Revista de Producción Animal*, 29(3): 29-35. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202017000300005

Dan U 2014 Why worry about ash content of your forage? *Dairy & Livestock*. Wisconsin Agriculturist.

Di Rienzo J A, Casanoves F, Balzarini M G, Gonzalez L, Tablada M y Robledo C W 2012 InfoStat, versión 2012, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Fulweiler R W, Maguire T J, Carey J C and Finzi A C 2015 Does elevated CO₂ alter silica uptake in trees?. *Frontiers in Plant Science*, 5: 793. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2014.00793/abstract>

Gonçalves A C, Yoshihara M M, Carvalho E A, Strey L e Moraes A J 2015 Teores de nutrientes e metais pesados em plantas de estragão submetidas a diferentes fertilizações. *Revista Ciência Agronômica*, 46(2): 233-240. <http://www.scielo.br/rca/pdf/rca/v46n2/0045-6888-rca-46-02-0233.pdf>

Grajales Zepeda R, Lazo J A, Ocampo Sánchez E M, Hernández García B, Jiménez Sánchez Y J, Aguilar Hernández J O, Pérez Moreno L I, Aguilar Sanchez E y Tuero Martínez R 2018 Evaluación de cultivares de *Cenchrus purpureus* para la producción de forraje. *Livestock Research for Rural Development*, 30(2): <http://www.lrrd.org/lrrd30/2/jale30026.html>

Hartley S E, Fitt R N, McLarnon E L and Wade R N 2015 Defending the leaf surface: intra-and inter-specific differences in silicon deposition in grasses in response to damage and silicon supply. *Frontiers in Plant Science*, 6: 35. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2015.00035/full>

Haynes R J 2017 Significance and role of Si in crop production. Chapter Three in *Advances in Agronomy*. Editor(s): Donald L. Sparks. Academic Press. 146: 83-166. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211317300524>

Hernández J A, Perez J J, Bosch I D y Castro S N 2015 Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA, 93 p; ISBN:978-959-7023-77-7.

Herrera R S 2001 Obtención y evaluación de clones de *Pennisetum purpureum* con posible resistencia a la sequía y salinidad. Informe. Final Proyecto. CITMA-ICA Habana 90.

Issaharou-Matchi I, Barboni D, Meunier J D, Saadou M, Dussouillez P, Contoux C and Zirihi-Guede N 2016 Intraspecific biogenic silica variations in the grass species *Pennisetum pedicellatum* along an evapotranspiration gradient in South Niger. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 220: 84-93. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0367253016300184>

Jagadeesh C H, Reddy Y R, Nagalakshmi D, Mahender M, Kumari N N, Sridhar K and Devi K B 2017 Effect of stage of harvest on the yield, chemical composition, in vitro and in sacco digestibility of hybrid napier (*Pennisetum purpureum*) variety APB N 1. *Indian Journal of Animal Research*, 51(1): 116-120. <http://arcjournals.com/journal/indian-journal-of-animal-research/B-2987>

Katz O 2015 Silica phytoliths in angiosperms: phylogeny and early evolutionary history. *New Phytologist*, 208(3): 642-646. <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.13559>

Katz O 2014 Beyond grasses: the potential benefits of studying silicon accumulation in non-grass species. *Frontiers in Plant Science*, 5: 376. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2014.00376/full>

Kindomihou V M, Sinsin B, Holou R A, Ambouta K J, Gruber W, Adjolohoun S, Houinato M, Herbauts J, Lejoly J and Meerts P 2016 The effect of seasonal variations, covariations with minerals and forage value on itchgrass' foliar silicification from Sudanian Benin. *Silicon* 8(4): 487-496. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12633-015-9355-X>

Kumar S, Soukup M and Elbaum R 2017 Silicification in grasses: variation between different cell types. *Frontiers in Plant Science*, 8: 438. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.00438>

Lux A, Luxová M, Morita S, Abe J and Inanaga S 1999 Endodermal silicification in developing seminal roots of lowland and upland cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). *Canadian Journal of Botany*. 77(7): 955-960. <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/b99-043>

Martínez R O and González C 2018 Evaluation of varieties and hybrids of elephant grass *Pennisetum purpureum* and *Pennisetum purpureum* x *Pennisetum glaucum* for forages production. *Cuban Journal Agricultural Science*, 51(4): 477-487. <http://cjas.science.com/index.php/CJAS/article/view/749>

Martínez R O, Morffi N, Arteaga M, Monzote M and Herrera R S 1986 Embriogénesis somática y regeneración de plantas en cultivo de tejidos. X Reunión Asociación Latinoamericana. Producción. Animal. Acapulco, México, 28/04 al 02/05.

Marx R, Lee D E, Lloyd K M and Lee W G 2004 Phytolith morphology and biogenic silica concentrations and abundance in leaves of *Chionochloa* (*Danthonieae*) and *Festuca* (*Poeae*). *New Zealand Journal of Botany*, 42(4):677-691. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0028825X.2004.9512919>

Negawo A T, Teshome A, Kumar A, Hanson J and Jones C S 2017 Opportunities for napier grass (*Pennisetum purpureum*) improvement using molecular genetics. *Agronomy*, 7(2): 28. <http://www.mdpi.com/2073-4395/7/2/28/html>

Parr J F, Lentfer C J and Boyd W E 2001 A comparative analysis of wet and dry ashing techniques for the extraction of phytoliths from plant material. *Journal of Archaeological Science*, 28(8): 875-886. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030544030090623X>

Perdomo G Á, Martínez A G, Congo R C, Armijos M S, Macías T J, Zamora C R, Marcheco E C y de la Ribera J R 2016 Asociación del pasto *Cenchrus purpureum* vc Morado con dos leguminosas a diferentes edades de corte. *REDVET. Revista Electrónica Veterinaria*, 17(6):1-9. www.redalyc.org/pdf/636/63646808002.pdf

Rohanipoor A, Norouzi M, Moezzi A and Hassibi P 2013 Effect of silicon on some physiological properties of maize (*Zea mays*) under salt stress. *Journal Biology Environment Science*, 7: 71-79. https://www.researchgate.net/profile/Mehdi_Norouzi/publication/257640694_Effect_of_Silicon_on_Some_Physiological_Properties_of_Maize_Zea_mays_under_Salt_Stress/links/0deec5258f

Song Z, Liu H, Si Y and Yin Y 2012 The production of phytoliths in China's grasslands: implications to the biogeochemical sequestration of atmospheric CO₂. *Global Change Biology*, 18(12): 3647-3653. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.12017>

Souza R F, de Ávila F W, Faquin V, Pozza A A, Carvalho J G and Evangelista A R 2011 Carbonate-silicate ratio for soil correction and influence on nutrition, biomass production and quality of palisade grass. *Scientia Agricola*, 68(5): 526-534. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90162011000500003&script=sci_arttext

Tréguer P J and De La Rocha C L 2013 The world ocean silica cycle. *Annual Review of Marine Science*, 5: 477-501. <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-marine-121211-172346>

Valenciaga D, La O O, Chongo B and Oramas A 2006 Efecto del tiempo de reposo en la degradabilidad ruminal in situ del complejo lignocelulósico y la producción de gas in vitro del clon Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum* sp.). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 40(1): 71-81. <http://www.redalyc.org/html/1930/193017708011/>

Van Soest P J and Jones L H P 1968 Effect of silica in forages upon digestibility. *Journal of Dairy Science*, 51(10):1644-1648. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030268872467>

Zhu Y and Gong H 2014 Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2):455-472. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-013-0194-1>

[Go to top](#)