

Silicio (Si), mucho más que un nutriente

Diana C. González C.
Ingeniera Agrónoma
Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
Colombia

Abstract

Silicon (Si) is a natural nutrient which, although not considered an essential element for the complete development of plants, is classified as a beneficial or “quasi-essential” element, which, under conditions of biotic or abiotic stress, gives the plant defense qualities as tolerance to pests and diseases, improves its architecture, increases the radical development for nutrient intake, cushions situations of water stress and is an effective barrier to the loss of water by transpiration. In the soil is a conditioner that allows to increase the cation exchange capacity, improving the availability of other nutrients, complexes toxic aluminum and helps to maintain soil moisture. The objective of this work is to discuss the role of Silicon in agriculture, its benefits and how in the cultivation of pastures can present a viable alternative for the management of some limitations.

Keywords:

- Beneficial element, stress, nutrition, CIC, performance.

Resumen

El Silicio (Si) es un nutriente natural que, aunque no es considerado un elemento esencial para el completo desarrollo de las plantas, es catalogado como un elemento benéfico o “cuasi esencial”, el cual, en condiciones de estrés biótico o abiótico, le otorga a la planta cualidades de defensa como tolerancia a plagas y enfermedades, mejora su arquitectura, aumenta el desarrollo radicular para la toma de nutrientes, amortigua situaciones de estrés hídrico y es una barrera efectiva a la pérdida de agua por transpiración. En el suelo es un acondicionador que permite aumentar la capacidad de intercambio catiónico, mejorando la disponibilidad de los demás nutrientes, acompleja el aluminio tóxico y ayuda a mantener la humedad del suelo. El objetivo de este trabajo es discutir el papel del Silicio en la agricultura, sus beneficios y cómo en el cultivo de pastos puede presentar una alternativa viable para el manejo de algunos limitantes.

Palabras clave:

- Elemento benéfico, estrés, nutrición, CIC, rendimiento.



▲Foto: Luis Parravicini

Tomada de: <https://goo.gl/HD8jc3>. Creative commons

Silicio en el suelo

El silicio (Si) es un elemento natural y abundante en la corteza terrestre, normalmente se encuentra en forma de dióxido de silicio (SiO_2) en el cuarzo, la arena, otros tipos de rocas y arcillas (Matichenkov & Bocharnikova, 2001), los cuales son completamente insolubles y no disponibles para ser tomados por las raíces de las plantas desde la solución del suelo. Para que el Si sea asimilable debe estar como ácido ortosilícico (H_4SiO_4), que es la única forma aprovechable por las plantas (Mitani & Ma, 2005; Epstein, 1994). Este elemento generalmente está acompañado por el oxígeno (O_2) y en algunas ocasiones combinado con aluminio (Al), manganeso (Mn), hierro (Fe) y otros minerales (Gasho, 2001).

Recientemente el silicio se ha clasificado como un elemento "cuasi esencial" o benéfico para la agricultura (Epstein, 1999), pues aunque no hace parte de una molécula o metabolito en el vegetal, ni se ha comprobado que su ausencia total en la planta pueda ocasionar la inviabilidad de la

misma, sí se ha demostrado su impacto al adicionarlo a los planes de nutrición en los cultivos, aportando beneficios importantes. La alta remoción de Si en el suelo por diferentes especies vegetales y las pérdidas por lixiviación o escorrentía hacen que el silicio disponible para las plantas se agote fácilmente (Datnoff *et al.*, 1997), por lo que requiere ser suministrado en fertilizantes ricos en este nutriente.

Las mayores limitaciones edáficas en la producción agrícola son la deficiencia de fósforo (P) y las cantidades de aluminio tóxico en el suelo. El P es fácilmente fijado por la presencia de altas concentraciones de metales como Al^{3+} , Mn^{2+} y el Fe^{2+} , disminuyendo su disponibilidad en la solución del suelo y transformándose en complejos insolubles no asimilables por las plantas (Vassileva *et al.*, 1998). Una vez en la solución del suelo, el ácido ortosilícico (H_4SiO_4) puede reaccionar con los complejos y ocupar el lugar del ion fosfato (H_2PO_4) liberando el P e incrementando su disponibilidad en el suelo (Datnoff *et al.*, 2007). En investigaciones desarrolladas en suelos de Hawái encontraron que suministrando al suelo silicato de calcio se redujo hasta en un 47% el P que requiere aplicarse para una buena nutrición de las plantas, variando según el tipo de suelo (Roy *et al.*, 1971).

Por otro lado, la fuerte acidez que se encuentra en los suelos agrícolas del trópico y la presencia de aluminio tóxico en altas concentraciones son un problema que generalmente se resuelve con la aplicación de carbonatos de calcio y magnesio, los cuales, usados en exceso, contribuyen al incremento de gases de efecto invernadero,

ya que por cada tonelada utilizada de carbonato de calcio (CaCO_3) se liberan hasta 440 kg de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera (Thomé *et al.*, 2011).

Una alternativa no contaminante para el ambiente se refiere al uso de minerales silicatados de calcio (Ca) y/o magnesio (Mg), los cuales tienen la capacidad de captar CO_2 al utilizarse como enmiendas para neutralizar la acidez de los suelos (Bernier, 2005 & ANLEC, 2011), también reaccionan con el aluminio tóxico (Al^{3+}), formando especies de hidroxialuminosilicatos (HAS), los cuales son complejos insolubles que se precipitan y dejan de ser tóxicos para la planta (Exley and Birchall, 1992). Ma y Takahashi (2002) encontraron que a medida que agregaban ácido ortosilícico (H_4SiO_4) a una solución rica en Al^{3+} , este disminuía considerablemente, tal como se muestra en la Figura 1.

La formación de complejos no solo ocurre con el ion Al^{3+} , también se da con metales como Mn^{2+} , Fe^{2+} y otros metales pesados que se suministran en abonos orgánicos poco o nada compostados, con altas concentraciones de cadmio (Cd), plomo (Pb), arsénico (As) y mercurio (Hg).

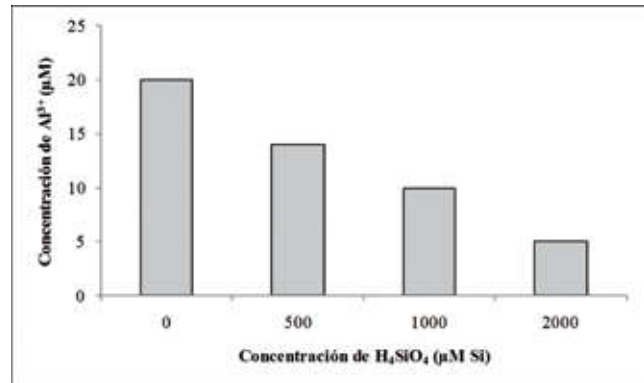
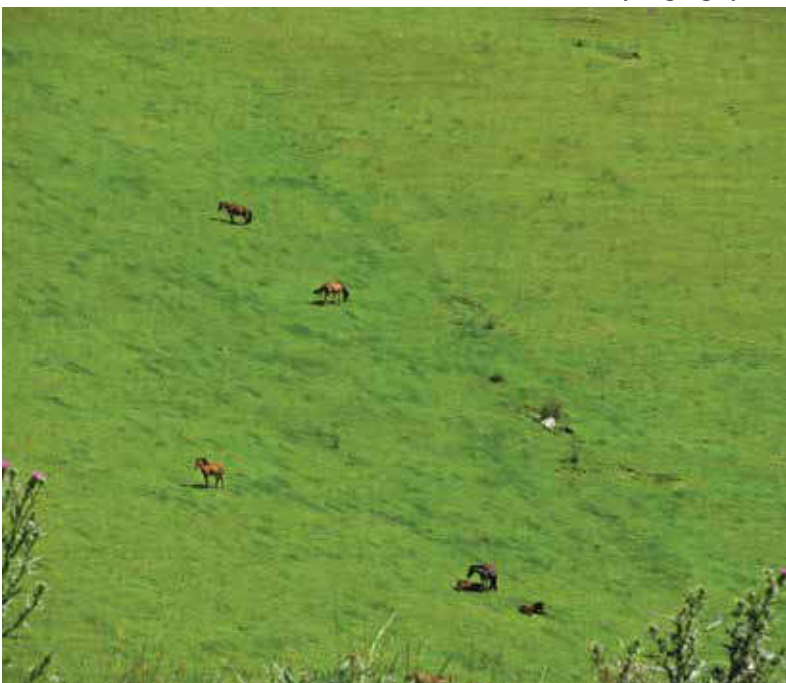
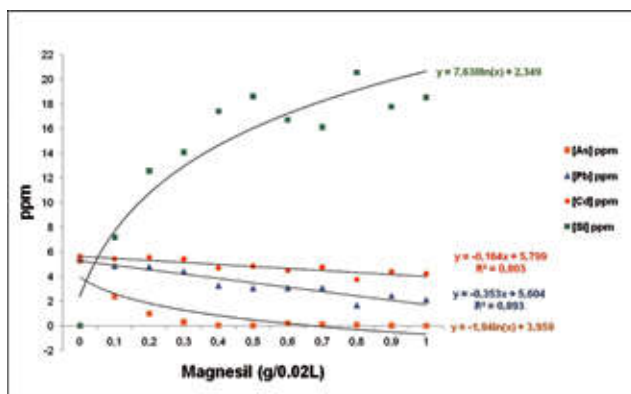


Figura 1. Concentración de Al^{3+} monomérico en solución en función de la concentración de ácido ortosilícico (H_4SiO_4).

▼ Foto: **Gabofotógrafo t. 4** via **Foter.com** / CC BY-NC.
Tomada de: <https://goo.gl/qUFLG4>



En un trabajo desarrollado por el equipo técnico de Agrosilicium Mejisulfatos S.A.S (2014) se logró determinar que, a medida que aumentaban las concentraciones de Magnesil®, se lograba reducir considerablemente las concentraciones de tres metales pesados: Cd, Pb y As, una hora después de aplicado el producto, liberando progresivamente ácido ortosilícico (Figura 2).



Fuente: Trabajo desarrollado por el equipo técnico de Agrosilicium Mejisulfatos S.A.S (2014).

Figura 2. Impacto del Magnesil sobre la reducción de tres metales pesados Cd y Pb.



Figura 3. Efecto del Silicio sobre el enraizamiento, macollamiento y producción de forraje del pasto Raigrás o Ballica (*Lolium sp*). A la izquierda se aprecia la raíz sin silicio y a la derecha con silicio.

Según Schindler *et al.*, (1976) se forman complejos insolubles, lo cual puede ser una alternativa eficiente a la hora de remediar los biosólidos que se suministran como abono, ya que estos generalmente no están tratados de manera adecuada y su fermentación no es completa, lo cual representa un riesgo ambiental.

La formación de estos complejos insolubles permite acondicionar el suelo físicamente aumentando la capacidad de intercambio catiónico, formando coloides y, por ende, aportando estructura al suelo (Hodson and Evans, 1995) para un mayor desarrollo de raíces. En el suelo se forman ácidos polisilícicos, los cuales funcionan como absorbentes saturados de agua, mejorando la retención de humedad en el suelo (Chadwick *et al.*, 1987), acondicionándolo para solventar mejor las épocas de verano intenso.

Silicio (Si) en la planta

La alimentación del ganado de leche o de carne generalmente se hace con base en pasturas y forrajes y, en menor cantidad, con concentrado, sobre todo en épocas de sequía, razón por la cual se debe prestar mayor atención a la calidad del forraje y a las condiciones del suelo en que este se desarrolla para que pueda tener la capacidad de suministrar nutrientes en un área determinada y a un número determinado de rumiantes. En la mayoría de los estudios realizados, las gramíneas están consideradas como plantas acumuladoras de Si (Hodson *et al.*, 2005; Ma & Takahashi,

2002), un gran soporte para potencializar su uso en el cultivo de pastos y mejorar su eficiencia productiva.

En un trabajo reciente presentado por Legarda D., *et al.* (2015), en un cultivo de pasto *ryegrass aubade*, se encontró que con aportes de 100 kg/ha de silicio (Si) a la fertilización tradicional de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), se obtuvieron producciones de forraje verde de 167.2 Toneladas por hectárea al año (Ton/ha/año), una altura de la planta de 101 centímetros y materia seca de 27,44 Ton/ha/año, comparados con el tratamiento al que no se le adicionó Si en la fertilización, el cual produjo 89,09 Ton/ha/año de forraje verde, tuvo una altura de 84,67 cm y producción de materia seca de 14,09 Ton/ha/año, indicando que con la adición de Si se potencializa de una manera eficiente la absorción de los demás nutrientes.

La nutrición vegetal está basada en 17 elementos esenciales, los cuales son necesarios en el desarrollo óptimo de la planta como, por ejemplo, el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), requeridos para llevar a cabo su completo ciclo de producción y los cuales son los más comúnmente aplicados en la nutrición vegetal (Taiz, 2006). Sin embargo, para estos elementos su disponibilidad y eficiencia se ve reducida hasta en un 90% (Isherwood, 1990) por efectos de lixiviación, fijación o volatilización (Osorio, 2014), debido a la acidez de los suelos y las intensas lluvias que se presentan en las regiones tropicales.

El silicio, una vez en la solución del suelo como ácido ortosilícico (H_4SiO_4), es

absorbido por las raíces de las plantas, permitiendo un mejor desarrollo radicular y una mayor superficie de absorción de los demás nutrientes presentes en el suelo (Adatia & Besford, 1986). Desde las raíces es transportado hasta los tejidos foliares de la planta donde se acumula en la epidermis de hojas y tallos. Esta acumulación no es toxica para la planta, ya que en exceso este elemento tiene la propiedad de polimerizarse (Ma *et al.*, 2001), es decir autorregularse, formando fitolitos dentro de la pared celular, lo cual le otorga mayor estructura y rigidez y una mejor exposición de la hoja a la luz del sol para así estimular la fotosíntesis (Kaufman *et al.*, 1979).



▲ Foto: Mejisulfatos S.A.S.



Figura 4. Desarrollo radicular de un pasto Kikuyo con y sin la adición de silicio.

La capa de fitolitos debajo de la epidermis vegetal permite aumentar la resistencia mecánica a la penetración física de insectos plagas y hongos fitopatógenos, tal como se ilustra en la Figura 3 (Menzies *et al.*, 1991; Dann & Muir, 2002). En algunas gramíneas el espesor de esta capa puede llegar a medir hasta 2.5 micrómetros (μm) de espesor (Yoshida *et al.*, 1962), la cual, de acuerdo con Takahashi(2002) funciona como barrera protectora y termina por afectar el aparato bucal de los insectos plaga (Figura 4). Lo anterior fue demostrado por Moore, (1984) en un cultivo de raigrás italiano, donde el barrenador del tallo (*Oscinella frut*) se vio seriamente afectado en plantas que fueron tratadas con silicio.

La acumulación de este elemento en las paredes celulares no solo funciona como una protección al estrés biótico, también amortigua las condiciones de estrés hídrico, evitando la compresión de los vasos del xilema bajo condiciones de

alta transpiración (Mitani & Ma, 2005; Matichenkov % Bocharnikova, 2001), además confiere tolerancia a la sequía, Ma. (1990) encontró que un cultivo de arroz que fue tratado con aplicaciones de silicio redujo su transpiración hasta en un 30% con respecto a las plantas que no fueron tratadas.

De acuerdo con los resultados expuestos y con la información recolectada en distintos países del mundo, se destaca la importancia de incluir silicio en los planes nutricionales y de fertilización de pasturas para mejorar su productividad y contrarrestar los impactos negativos de los diferentes tipos de estrés en las plantas.

Además, la adición de silicio en los planes de fertilización, permitirá complementar la nutrición vegetal para hacer la toma de los nutrientes suministrados de una manera mas eficiente.■

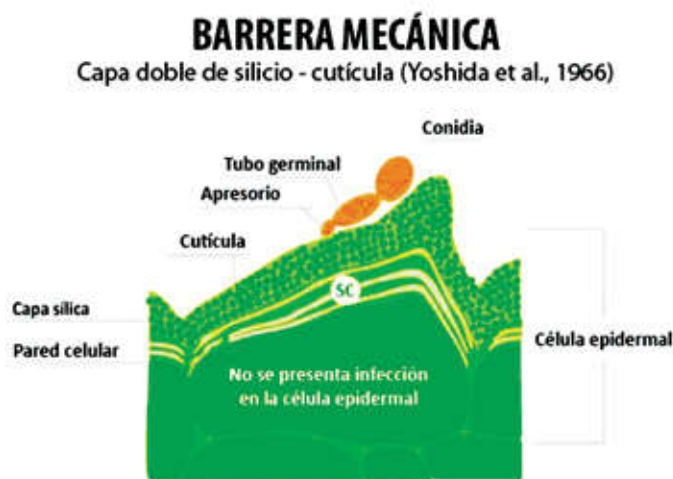


Figura 5. Representación esquemática de la barrera mecánica por la doble capa de silicio-celulosa.

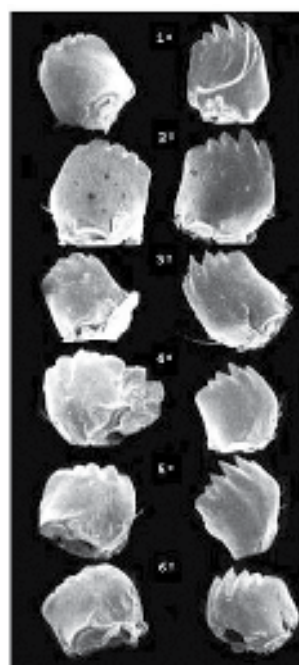


Figura 6. Mandíbulas de larvas de 1er, 2do, 3er, 4to, 5to y 6to instares de *S. frugiperda* alimentadas con hojas de maíz con aplicación de Silicio (izquierda) y sin aplicación de Silicio (derecha).

◀ Fuente: Goussain, *et al.*, (2002)

Lista de términos científicos

Edáfico	Pertenciente o relativo al suelo, especialmente en lo que respecta a las plantas.
Escorrentía	Movimiento del agua sobre la superficie del suelo por efecto de la gravedad.
Lixiviación	Fenómeno de desplazamiento de sustancias solubles o dispersables (arcillas, sales, bases, humus) causado por el movimiento de agua en el suelo.
Volatilización	Cambio de estado que ocurre cuando una sustancia pasa del sólido a gaseoso, por aumento de la temperatura, sin pasar por el estado líquido intermedio.
Polimerizar	Reacción química en la que dos o más moléculas pequeñas se combinan para formar otra molécula más grande.
Fitolitos	Partículas de tamaño y morfología variados que se producen en el organismo vegetal como consecuencia de un proceso de mineralización.
Estrés hídrico	Estado de los organismos sometidos a insuficiente suministro de agua.
Capacidad de intercambio catiónico	Capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, gracias a su contenido en arcillas y materia orgánica.

Referencias

- Adatia, M., Besford, R. (1986). The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Annals. Botany*. 58:343-351.
- ANLEC RD. (2011). Novel CO2 Capture. Task Force Report. Australia: *Australian National Low Emissions Coal Research & Development*.
- Bernier, L. R. (2005). The potencial use of serpentinite in the passive treatment of acid mine drainage: batch experiments. *Environmental Geology*. 47:670-684.
- Chadwick, O., Hendriks, D., Nettleton, W. (1987). Silica in durick soil. *Soil Science Society of America Journal*. 51:975-982.
- Dann, E., Muir, S. (2002). Peas grown in media with elevated plant-available silicon levels have higher activities of chitinases and B-1, 3-glucanase, are less susceptible to a fungal leaf spot pathogen and accumulate more foliar silicon. *Australasian Plant Pathology*. 31:9-13.
- Datnoff, L., Deren, C., Snyder, G. (1997). Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. *Crop Protection*. 16:525-531.
- Datnoff, L. E., Rodrigues F. Á., Seebold, K. W. (2007). Silicon and Plant Disease. In: Datnoff, L., Elmer, E., Huber, D. editors. *Mineral Nutrition and Plant Disease: The American Phytopathological Society*. p 233-246.
- Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 91:11-17.
- Epstein, E. (1999). Silicon. *Annual review of plant physiology and plant molecular biology*. 50:641-664.
- Exley, C., Birchall, J. (1992). Hydroxylaluminosilicate formation in solutions of low total aluminum concentration. *Polyhedron* 11(15):1901-1907.
- Gasho, G. J. (2001). Silicon sources for agriculture. In: Datnoff L, Snyder G, Korndorfer G, editors. *Silicon in Agriculture*. Amsterdam: Elsevier. p 197-208.

- Goussain, M. M., Morales, J. C., Carvalho, J. G., Nogueira, N. L., Rossi, M. L. (2002). Efeito da aplicação de Silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*, 31,305–310.
- Hodson, M., Evans, D. (1995). Aluminium/silicon interactions in higher plants. *Journal of Experimental Botany*. 46:161-171.
- Hodson, M., White, P., Mead, A., Broadley, M. (2005). Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. *Annals. Botany*. 96:1027-1046.
- Isherwood, K. (24 de octubre de 1990). [www.fertilizer.org. Obtenido de http://www.fertilizer.org/imagenes/Library_Downloads/1990_ifa_venice_soh.pdf?WebsiteKey=411e9724-4bda-422f-abfc8152ed74f306&=404%3bhttp%3a%2f%2fwww.fertilizer.org%3a80%2fen%2fimagenes%2fLibrary_Downloads%2f1990_ifa_venice_soh.pdf](http://www.fertilizer.org/Obtenido%20de%20http://www.fertilizer.org/imagenes/Library_Downloads/1990_ifa_venice_soh.pdf?WebsiteKey=411e9724-4bda-422f-abfc8152ed74f306&=404%3bhttp%3a%2f%2fwww.fertilizer.org%3a80%2fen%2fimagenes%2fLibrary_Downloads%2f1990_ifa_venice_soh.pdf)
- Kaufman, P., Takeoka, Y., Carlson, T., Bigelow, W., Jones, J., Moore, P., Ghosheh, N. (1979). Studies on silica deposition in sugarcane using scanning electron microscopy, energy-dispersive X-ray analysis, neutron activation analysis and light microscopy. *Phytomorphology* 29:185-193.
- Legarda, López, D., Benavides, Cuesta, G. & Ruiz, Eraso, H. (2015). Respuesta del pasto raigrass aubade (*Lolium sp.*) a dosis de Silício en interacción con diferentes dosis de NPK. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 13(1), 99-109
- Ma, J. (1990). Studies on beneficial effects of silicon on rice plants: Kyoto University
- Ma, J. F., Miyake, Y., Takahashi, E. (2001). *Silicon as a beneficial element for crop plants*. In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndorfer GH, editors. *Silicon in Agriculture*. Amsterdam: Elsevier. p 17-40.
- Ma, J., Takahashi, E. (2002). *Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan*. Amsterdam: Elsevier. 281 p
- Matichenkov, V., Bocharnikova, E. (2001). The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndorfer GH, editors. *Silicon in Agriculture*. Amsterdam: Elsevier. p 209-219.
- Menzies, J., Ehret, D., Glass, A., Samuels, A. (1991). The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fuliginea* and *Cucumis sativus*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 39:403-414.
- Mitani, N., Ma, J. (2005). Uptake system of silicon in different plant species. *Journal of Experimental Botany* 56(414):1255-1261.
- Moore, D. (1984). The role of silica in protecting Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) from attack by dipterous stem-boring larvae (*Oscinella fruit* and other related species). *Annals. Applied. Biology*. 104:161-166.
- Osorio, Vega, N. W. (2014). *Manejo de Nutrientes en Suelos del Trópico*. Medellín: Vieco S.A.S.
- Roy, A., Ali, M. V., Fox, R., Silva, J. (1971). Influence of calcium silicate on phosphate solubility and availability in Hawaiian Latosols. In: Evaluation I SoSfa, editor; New Delhi. University of Hawaii. p 805-815.
- Schindler, P. W., Furst, B., Dick, R., and Wolf, P. U. (1976). Ligand properties of surface silanol groups. I. Surface complex formation with Fe³⁺, Cu²⁺, and Pb²⁺. *J. Colloid interface Sci.* 55, 469-475.
- Taiz, L. and E. Zeiger. (2006). *Plant physiology*. 4th edition. Sinauer Associates. Sunderland, MA, USA. 764
- Thomé, Albano, L., Kirst, G., M. & Frigotto, Diz, P. (2011). Estimativa de geração de dióxido de carbono por uma obra de alvenaria estrutural em blocos de concreto. Universidade Federal do Paraná. Curitiba: (Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Graduado em Engenharia Civil).
- Vassileva, M., Vassilev, N. and Azcór. (1998). Rock phosphate solubilization by *Aspergillus niger* on olivecake-based medium and its further application in soil-plant system. *WJ Microb Biotech*, 14: 281-284.
- Yoshida, S., Ohnishi, Y., Kitagishi, K. (1962). Chemical forms, mobility, and deposition of silicon in the rice plant. Japon. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 8:107-111.
- Yoshida, S. (1975). *The physiology of silicon in rice*. In: Center FaFT. Technical bulletin No. 25. Taipei, Taiwan.

