

Evaluación de la variación del contenido de silicio en diferentes muestras comerciales de arroz, *Oryza sativa* L. sometidos a distintas condiciones de procesamiento industrial a través de análisis por activación neutrónica

Evaluation of the variation of silicon content in different commercial samples of rice, *Oryza sativa* L. subjected to different processing conditions through neutron activation analysis

Luz Bóveda¹ , Julio Cabello¹ , Rafael Gómez González¹ , Rosa Dejen de Arrúa² , Yenny González² , Boris Michajluk^{1*} 

¹ Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de Técnicas Nucleares, Paraguay; *e-mail: jmichajluk@yahoo.es

² Universidad Nacional de Asunción; Facultad de Ciencias Químicas, Dirección de Investigaciones, Departamento de Botánica, Paraguay.

Resumen: El propósito de la presente investigación fue determinar a través de análisis por activación neutrónica el contenido de silicio en muestras comerciales de arroz, *Oryza sativa* L. sometidas a distintas condiciones de procesamiento. Se realizó un muestreo aleatorio estratificado por conveniencia y se recolectaron muestras de arroz comercial de las variedades integral, parbolizado y blanco. Las muestras fueron irradiadas por diez minutos en una fuente isotópica de neutrones Amersham International de 25 Ci (^{95}Am) y 150 g (^9Be) con flujo de neutrones de $5,0 \cdot 10^7 \text{ ns}^{-1} \text{ cm}^{-2}$, se midió la actividad a través de un detector de centelleo de NaI de 2" x 2" y PC tarjeta multicanal. Los resultados por triplicado fueron comparados con patrones de silicio con pureza de 97,5% y preparados en condiciones similares a las muestras. Con los resultados obtenidos se observó que los granos de arroz integral presentaron el mayor contenido de silicio con valores en un rango de 0,6177 g/100 g a 1,4761 g/100 g y las menores concentraciones del elemento se determinaron en granos de arroz blanco en un rango de 0,4917 g/100 g a 0,9148 g/100 g. Valores intermedios fueron encontrados en el arroz parbolizado en un rango de 0,5926 g/100 g a 1,0744 g/100 g. El análisis a través de activación neutrónica permitió cuantificar el contenido de silicio en todas las variedades de arroz en estudio.

Palabras Clave: análisis por activación neutrónica, arroz, silicio.

Summary: The purpose of the present investigation was to determine through neutron activation analysis the silicon content in commercial samples of rice, *Oryza sativa* L., subjected to different processing conditions. A stratified random sampling was carried out for convenience and commercial rice samples of the integral, parboiled and white varieties were collected. The samples were irradiated for ten minutes in an Amersham International 25 Ci (^{95}Am) and 150 g (^9Be) isotopic neutron source with a neutron flux of $5.0 \cdot 10^7 \text{ ns}^{-1} \text{ cm}^{-2}$, activity was measured through a 2" x 2" NaI scintillation detector and multi-channel PC card. The results in triplicate were compared with silicon standards of 97.5% purity and prepared under conditions similar to the

Manuscrito recibido: agosto de 2020.

Manuscrito aceptado: diciembre de 2020.

samples. With the results obtained, it was observed that integral rice grains had the highest silicon content with values ranging from 0.6177 g/100 g to 1.4761 g/100 g. and the lowest concentrations of the element were determined in white rice grains in a range of 0.4917 g/100 g to 0.9148 g/100 g. Intermediate values were found in parboiled rice in a range from 0.5926 g/100 g to 1.0744 g/100 g. The analysis through neutron activation allowed to quantify the silicon content in all the rice varieties under study.

Keywords: neutron activation analysis, rice, silicon.

Introducción

El arroz, *Oryza sativa* L., perteneciente a la familia Poaceae (Linneo, 1753), es una gramínea anual de cañas erectas de 0,6 a 2 m de altura, hojas planas de 15 a 45 mm de largo, con ramas secundarias ramificadas e inflorescencia con panícula terminal suelta de flores, con algunas espiguillas oblongas, lanceoladas o elípticas comprimidas de 4 a 8 mm de largo con un solo flósculo y flor rodeada por lema y palea cuya base presenta dos pequeñas glumas. El grano es de tamaño, textura y colores variables y cada panícula presenta alrededor de 100 a 150 semillas (Milan, 1978; Skerman y Riveros, 1992).

El arroz es considerado un cereal de elevado consumo a nivel mundial, siendo los países de mayor producción India y China que producen y consumen más del 50% del arroz del mundo (Rathore et al., 2016). En la dieta proporciona un alto aporte de silicio en virtud a su capacidad de acumularlo metabólicamente (Okuda, 1964) y se estima que la ingesta diaria de este elemento es de alrededor de 20 a 40 mg/día basado en estudios realizados en población británica y norteamericana (Pennington, 1991).

Para lograr mayor palatabilidad y variada oferta ante las necesidades del consumidor, el arroz es sometido a diversos procesos obteniéndose así diferentes tipos, el primer producto al cosecharlo es denominado paddy que solo fue sometido a trilla y conserva aún su cáscara, luego del descascarillado se obtiene el arroz integral que conserva su salvado. Mediante un proceso de remojo y cocción con vapor de agua o con agua caliente se consigue el arroz parbolizado, en cambio, si el arroz integral es sometido a pulido, donde se retiran el germen y el pericarpio conservando el endospermo, esto da origen al arroz blanco (Espinoza et al., 2017).

El rendimiento del arroz está influenciado por el contenido de silicio en el suelo debido al papel que este mineral cumple en cuanto a la resistencia a enfermedades, ataque de insectos y volcamiento de las plantas de arroz. Se ha observado que, pese al uso de fertilizantes silícicos, el suelo puede presentar deficiencias de silicio (Filho et al., 2000), lo cual se debe principalmente a su biodisponibilidad debido a la influencia de factores físicos y químicos especialmente en Oxisoles, Entisoles e Histosoles (Foy, 1992; Hallmark et al., 1982).

El silicio biodisponible se encuentra en forma de ácido silícico, también conocido como silicio activo (Raven, 1983), esta forma química se halla principalmente en suelos con un pH bajo que han demostrado buena respuesta a la fertilización con silicio debido a su pH ácido, pudiendo tener un impacto positivo en la producción de arroz (Paye et al., 2018).

El pH a su vez es dependiente de los agentes abióticos como la temperatura, agua y el

CO₂ generado por la respiración de los microorganismos del suelo que ocasionan su acidificación y la consecuente acidificación de los silicatos (Van Den Berghe, 2003). Las plantas de arroz requieren de buena concentración de silicio en el suelo, alrededor de 500 a 1000 kg/ha y bajo la forma de ácido monosilícico Si(OH)₄ (Dpto. Técnico de SEPHU S.A., 2012).

El aporte de este elemento se da principalmente a partir del agua potable, granos y verduras. El silicio proveniente del agua se encuentra en forma de ácido ortosilícico, mientras que la forma predominante en vegetales es la sílice fitolítica (Reffitt et al., 2003). En cuanto a su absorción se ha planteado que el silicio presente en granos es más fácil de absorber que aquel presente en frutas y verduras, es así que se ha demostrado que la banana posee una elevada concentración de silicio pero es muy poco absorbido a nivel gastrointestinal, lo que indicaría que la absorción puede estar influenciada por la matriz alimentaria ya que dependiendo de la forma química en la que el silicio se encuentre en el alimento este podría polimerizar afectando su absorción a nivel gastrointestinal (Jugdaohsingh et al., 2002).

El silicio se encuentra presente en plantas y entre ellas las que presentan mayores concentraciones de silicio son la cebada, girasol, remolacha y arroz, constituyendo las principales fuentes de silicio en la dieta. En el arroz, el silicio se encuentra mayoritariamente en forma de sílice hidratada (SiO₂.nH₂O), cuyo contenido es variable y dependiente de la especie vegetal (Navarro G, 2013). Así también, el contenido de silicio varía de acuerdo al procesamiento de los alimentos y se ha observado que en alimentos refinados su contenido es considerablemente menor que en aquellos poco procesados (Prescha A, 2019).

El arroz proporciona a la dieta un elevado aporte de silicio lo que ocurre en virtud a su capacidad excepcional de absorber y acumular silicio metabólicamente (Okuda, 1964), además se ha evidenciado que es fácilmente absorbible a nivel gastrointestinal basado en la excreción urinaria media de silicio en relación a su ingesta (Jugdaohsingh et al., 2002).

El estudio de este elemento ha demostrado que es un mineral que podría ser considerado esencial debido a que su contenido en la piel y paredes vasculares disminuye significativamente con el avance de la edad al igual que otros elementos esenciales que siguen el mismo patrón, entre los cuales podemos citar al calcio, hierro y cobre que contribuyen a la elasticidad del tejido conjuntivo (Carlisle, 1982).

Actualmente existen investigaciones que indican que el silicio puede tener efecto en el mantenimiento del equilibrio redox sistémico por su poder en la reducción de marcadores redox e inflamatorios en pacientes con artritis reumatoidea (Prescha, 2019). Otros estudios mencionan que la biodisponibilidad del silicio presenta correlación negativa con el aumento de la edad (Prescha, 2019), en mujeres está directamente relacionado con el nivel de estrógeno, pues investigaciones recientes demostraron la existencia de una asociación positiva entre la ingesta de silicio y la densidad mineral ósea de caderas en mujeres con altos niveles de estrógenos (Macdonald, 2012), lo que indicaría que la población de mujeres pre-menopáusicas y menopáusicas sin tratamiento hormonal son las más afectadas por la deficiencia de este mineral.

La suplementación con silicio ha demostrado ser beneficiosa para animales y también para el suelo ya que actúa como potente biorremediador, al aumentar la suplementación del suelo con silicio se produce una disminución de la concentración de metales pesados en las plantas debido a que estos son análogos por los receptores de silicio presentes, con lo cual se produce la reducción de la concentración de estos metales nocivos para las plantas (Mitra, 2017).

Por otro lado, el análisis por activación neutrónica es un método nuclear de análisis elemental basado en la irradiación de átomos estables con neutrones produciendo la inducción de reacciones nucleares para una posterior detección, identificación y cuantificación de núcleos radiactivos midiendo el decaimiento o radiación gamma liberada a partir de estos núcleos producidos por el bombardeo con neutrones (Luciana, 2018; OIEA, 2017; Guinn, 1969). Esta técnica presenta gran sensibilidad y la ventaja que no altera ni destruye el material de estudio por lo tanto la muestra se podrá utilizar para otras determinaciones posteriores (Luciana V, 2018; Organismo Internacional de Energía Atómica, 2017), además, presenta una gran ventaja frente a otros métodos analíticos y es de gran utilidad para el estudio de materiales únicos (Luciana, 2018), incluso brinda la posibilidad de analizar no solo capas superficiales como se presenta en otros métodos que también no son destructivos como por ejemplo el Particle Induced X-Ray Emission (PIXE), sino también permite el análisis con precisión de la composición en muestras homogéneas en profundidad (International Atomic Energy Agency, 2005; Tzika et al., 2007).

En el Paraguay, la información acerca del contenido de silicio en alimentos es limitada y en ese sentido, el análisis por activación neutrónica se convierte en una herramienta excepcional para determinar la concentración de este mineral ya que ofrece alta sensibilidad, rapidez, no destruye la muestra y tiene menor probabilidad de contaminación (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2017).

El objetivo de la presente investigación fue determinar a través de análisis por activación neutrónica el contenido de silicio en muestras comerciales de arroz, *Oryza sativa* L. sometidos a distintas condiciones de procesamiento industrial.

Materiales y Métodos

Para la determinación de silicio se recolectaron muestras de arroz integral, parbolizado y blanco, comercializados en 30 puntos de muestreo correspondientes a supermercados de la zona metropolitana de Asunción. La recolección de las muestras se realizó por medio de un muestreo aleatorio estratificado por conveniencia y se corroboró que las mismas no presentan en su etiquetado nutricional el contenido de silicio presente. La porción de la muestra a ser analizada fue seleccionada mediante un muestreo por cuarteo para lograr la mayor representatividad y homogeneidad posible de cada paquete de arroz recolectado.

Las muestras fueron secadas en estufa a 105° C, molidas, pasadas a través de un tamiz de 1 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 20 g de muestra en viales de plástico herméticos y se colocaron en un portamuestra de cadmio el cual se irradió por diez minutos en una fuente isotópica de neutrones de manera a que los neutrones interactúen con la muestra. Esta irradiación produjo la conversión del nucleído estable 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 midió su actividad por diez minutos. Cada radio nucleído posee una energía característica que permite su identificación (Iturbe, 2003).

Los equipos utilizados fueron balanza analítica, porta muestras de cadmio, fuente isotópica de neutrones, ^{25}Ci (^{95}Am) y ^{150}g (^4Be). 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 yoduro de sodio (NaI) de 2" x 2" y PC tarjeta multicanal. Los resultados por triplicado fueron comparados con patrones de silicio con pureza de 97,5 % y preparados en condiciones similares a las muestras.

Los resultados obtenidos fueron digitalizados en una planilla Excel 2008 ® (USA) y analizados los valores mediante un análisis de varianza (ANOVA).

Resultados y Discusión

El estudio de las muestras de arroz comercial por el método de análisis por activación neutrónica, demostró la presencia de silicio en concentraciones variables para todas las muestras. Cada una de las muestras recolectadas fueron analizadas por triplicado. Las concentraciones fueron expresadas en función al silicio debido a que la técnica se basa en el análisis elemental y reportadas en promedio de concentraciones de silicio (g/100 g) con sus respectivas desviaciones estándar **Tabla 1**.

Promedio de tres repeticiones. Los valores están expresados sobre muestra tal cual (SMTC) en g/100g como promedio $\pm$ desviación estándar. Las letras en minúscula indican la diferencia significativa entre las medias, aquellos que poseen la misma letra en una marca específica no presentan diferencias significativas.

Se observó en la mayoría de los puntos de muestreo diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tipos de grano de arroz analizados, a excepción de los puntos de muestreo M18, M20, M22.

En cuanto al contenido de silicio los granos de arroz integral presentaron el mayor contenido y las menores concentraciones del elemento se determinaron en granos de arroz blanco. Valores intermedios fueron encontrados en el arroz parbolizado.

En cuanto a la diferencia de contenido de silicio entre los distintos tipos de arroz, esto se debe a la pérdida de las capas más externas del arroz como la cáscara, que posee el mayor contenido de silicio en contraste con los granos (Ding et al., 2005), el mayor porcentaje se encuentra en las capas más externas de la cáscara y conforme se va internalizando, la relación $\text{SiO}_2:\text{CO}_2$ se vuelve favorable en función de la materia orgánica expresada en forma de CO_2 (Arcos et al., 2007), lo que nos hace suponer que esto no solo se cumple en las 8 capas de la cascarilla sino en todas las capas del grano de arroz y cuando se van eliminando las capas más externas se presenta una disminución gradual del contenido de silicio en el grano; si bien en este estudio no fue analizado el

arroz paddy debido a que el mismo no es destinado al consumo humano sino más bien animal (Hurtado et al., 2011), se esperaría que el mismo presente el mayor porcentaje de silicio considerando que los productos menos refinados describen este comportamiento que también se observa en la harina procedentes de los mismos (Prescha et al., 2019), evidenciando una correlación negativa entre la concentración y el procesamiento o remoción de capas externas del grano.

Tabla 1: Concentración de silicio (g/100 g) en muestras de arroz comercializado en Zona Metropolitana de Asunción empleando técnicas analíticas nucleares.

Arroz	Blanco	Parbolizado	Integral
M1	0,5322 $\pm$ 0,0078 ^a	0,7143 $\pm$ 0,0924 ^b	0,9416 $\pm$ 0,1071 ^c
M2	0,7937 $\pm$ 0,0214 ^a	0,9663 $\pm$ 0,0875 ^b	1,1383 $\pm$ 0,0457 ^c
M3	0,6380 $\pm$ 0,0534 ^a	0,8141 $\pm$ 0,0602 ^b	0,9455 $\pm$ 0,1135 ^c
M4	0,7061 $\pm$ 0,0576 ^a	0,9143 $\pm$ 0,0283 ^b	1,1320 $\pm$ 0,0756 ^c
M5	0,7834 $\pm$ 0,0427 ^a	0,9221 $\pm$ 0,0181 ^b	1,0818 $\pm$ 0,0235 ^c
M6	0,8406 $\pm$ 0,0528 ^a	0,8764 $\pm$ 0,0685 ^b	0,9849 $\pm$ 0,0367 ^c
M7	0,7316 $\pm$ 0,0122 ^a	0,8187 $\pm$ 0,0329 ^b	0,9953 $\pm$ 0,1317 ^c
M8	0,8319 $\pm$ 0,0177 ^a	0,9714 $\pm$ 0,0483 ^b	1,1854 $\pm$ 0,0373 ^c
M9	0,8551 $\pm$ 0,0764 ^a	1,0547 $\pm$ 0,1173 ^b	1,1977 $\pm$ 0,0589 ^c
M10	0,6530 $\pm$ 0,0254 ^a	0,8056 $\pm$ 0,0259 ^b	0,9401 $\pm$ 0,0669 ^c
M11	0,6888 $\pm$ 0,1144 ^a	0,8376 $\pm$ 0,0804 ^b	0,9779 $\pm$ 0,0361 ^c
M12	0,7444 $\pm$ 0,0953 ^a	0,8563 $\pm$ 0,0242 ^b	1,1079 $\pm$ 0,0676 ^c
M13	0,6376 $\pm$ 0,0120 ^a	0,8266 $\pm$ 0,0227 ^b	1,0334 $\pm$ 0,0833 ^c
M14	0,6935 $\pm$ 0,0545 ^a	0,8361 $\pm$ 0,0333 ^b	0,9093 $\pm$ 0,0565 ^c
M15	0,7692 $\pm$ 0,0380 ^a	0,8988 $\pm$ 0,0567 ^b	1,0349 $\pm$ 0,0538 ^c
M16	0,7923 $\pm$ 0,0437 ^a	1,0744 $\pm$ 0,0591 ^b	1,1438 $\pm$ 0,0335 ^c
M17	0,7947 $\pm$ 0,0311 ^a	0,9940 $\pm$ 0,0988 ^b	1,0895 $\pm$ 0,0967 ^c
M18*	0,8761 $\pm$ 0,0469 ^a	0,9315 $\pm$ 0,1093 ^e	1,0766 $\pm$ 0,1019 ^e
M19	0,8045 $\pm$ 0,0560 ^a	0,8626 $\pm$ 0,0186 ^b	1,0248 $\pm$ 0,0554 ^c
M20*	0,9148 $\pm$ 0,0782 ^a	0,9854 $\pm$ 0,2033 ^e	1,2568 $\pm$ 0,1233 ^e
M21	0,7801 $\pm$ 0,1456 ^a	0,9794 $\pm$ 0,0557 ^b	1,4707 $\pm$ 0,1118 ^c
M22*	0,5527 $\pm$ 0,0424 ^a	0,6281 $\pm$ 0,0411 ^e	0,7005 $\pm$ 0,1203 ^e
M23	0,5088 $\pm$ 0,0563 ^a	0,7156 $\pm$ 0,0428 ^b	0,7381 $\pm$ 0,0892 ^c
M24	0,5250 $\pm$ 0,0738 ^a	0,6316 $\pm$ 0,0394 ^b	0,7490 $\pm$ 0,0459 ^c
M25	0,5609 $\pm$ 0,0624 ^a	0,7108 $\pm$ 0,0330 ^b	0,7908 $\pm$ 0,0630 ^c
M26	0,4917 $\pm$ 0,0425 ^a	0,5926 $\pm$ 0,0476 ^b	0,6177 $\pm$ 0,0396 ^c
M27	0,5228 $\pm$ 0,0182 ^a	0,6767 $\pm$ 0,0589 ^b	0,7385 $\pm$ 0,0575 ^c
M28	0,7874 $\pm$ 0,0736 ^a	0,9737 $\pm$ 0,0373 ^b	1,4761 $\pm$ 0,0279 ^c
M29	0,6371 $\pm$ 0,0627 ^a	0,7875 $\pm$ 0,0265 ^b	0,9773 $\pm$ 0,0677 ^c
M30	0,6169 $\pm$ 0,0414 ^a	0,8226 $\pm$ 0,0321 ^b	0,9511 $\pm$ 0,0665 ^c

Las muestras de arroz integral analizadas, presentaron concentraciones superiores a las reportadas por Patel et al. (2017) en la Universidad de Kochi, Japón (0,580 g/100g) y Prescha et al., (2019) en Polonia (0,01 g/100g) y con respecto al arroz blanco, las

concentraciones determinadas en la presente investigación también fueron superiores a las reportadas por Prescha et al., (2019) en Polonia (0,004 g/100g). No se encontraron datos referentes a las concentraciones de silicio en arroz parbolizado en la bibliografía y a nivel nacional no se reportan antecedentes acerca del contenido de silicio en ninguna variedad de arroz como tampoco se verifica que laboratorios del sector alimentario ofrezcan este servicio.

Los resultados obtenidos permiten considerar la realización de futuras investigaciones que involucren el estudio de la influencia del procesamiento industrial en la concentración de otros minerales en granos de arroz empleando la misma técnica analítica nuclear.

Conclusiones

El análisis de diferentes muestras de arroz comercializadas en zona metropolitana de Asunción mediante el método de activación neutrónica permitió verificar la presencia de silicio en todas las muestras analizadas, comprobando que se presenta una variación significativa de la concentración de silicio entre los diferentes tipos de arroz. Además, se comprobó que se produce una disminución gradual de la concentración de silicio conforme se aumenta el procesamiento industrial de granos, lo que produce la reducción sus capas externas, es decir, el arroz integral presenta la mayor concentración de silicio, seguido por el arroz parbolizado y finalmente el arroz blanco.

Referencias bibliográficas

- Arcos, C. A., Pinto, D. M., Enrique, J. y Páez, R. (2007). La cascarilla de arroz como fuente de SiO₂ Husk of rice as source of SiO₂. Pág. 15.
- Carlisle, E. M. (1982). The nutritional essentiality of silicon. *Nutr Rev.*, 40, 193-8.
- Ding, T. P., Ma, G. R., Shui, M. X., Wan, D. F. y Li, R. H. (2005). Silicon isotope study on rice plants from the Zhejiang province, China. *Chemical Geology*, 218(1-2), 41-50.
- Dpto. Técnico de SEPHU, S.A. (2012). El silicio (SiO₂) en el cultivo del arroz. SEPHU. 1(74), 1-8.
- Espinoza, A. y Farias, C. (2017). La cadena del arroz en Chile. ODEPA. Pág. 84.
- Filho, B., Zinder, G.; Prabhu, A.; Datnoff, L. y Kornörfer, G. (2000). Importancia do silicio para a cultura do arroz. *Informações agronômicas*, 89, 1-8.
- Foy, C. D. (1992). Soil chemical factors limiting plant root growth. *Advances in Soil Science*, 19, 97-149.
- Guinn, V. P. (1969). The current status of neutrón activation analysis applications. In: DeVoe James, R., LaFleur Philip, D. Modern Trends in Activation Analysis. 312. Washington D. C.: NBS Special. Pág. 679-697.
- Hallmark, C. T., Wilding, L. P. y Smeck, N. E. (1982). Methods of Soil Analysis, Part 2. *Chemical and Microbiological Properties*, 15, 263-74.
- Hurtado, V., Nobre, R. y Chiquieri, J. (2011). Rendimiento de cerdos alimentados con raciones conteniendo subproductos de arroz, durante la fase de crecimiento. *Rev. MVZ Córdoba*, 16(1), 2372-2380.

- International Atomic Energy Agency (2005). Report of the technical meeting on 'large sample neutron activation analysis using low flux irradiation facilities'. Vienna, Austria: IAEA.
- Iturbe, J. (2003). Análisis por activación neutrónica. Memorias, Congreso Nacional de Educación Química. Departamento de Química. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. México D.F.
- Jugdaohsingh, R., Anderson, S. H. C., Tucker, K. L., Elliott, H., Kiel, D. P., Thompson, R. P. H. y Powell, J. J. (2002). Dietary silicon intake and absorption. *AJCN*. 75, 887–893.
- Linneo, C. (1753). *Especie Plantarum*. Vol. I. Estocolmo. Edición facsímil.
- Luciana, V. (2018). El curso de aprendizaje electrónico del OIEA sobre activación neutrónica ayuda a científicos de 40 países. Viena, Austria: IAEA. Recuperado el 15 de enero de 2020, de <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/el-curso-de-aprendizaje-electronico-del-oiea-sobre-activacion-neutronica-ayuda-a-cientificos-de-40-paises>.
- Macdonald, H. M., Hardcastle, A. C., Jugdaohsingh, R., Fraser, W. D., Reid, D. M. y Powell, J. J. (2012). Dietary silicon interacts with oestrogen to influence bone health: Evidence from the Aberdeen Prospective Osteoporosis Screening Study. *Bone*, 50(3), 681-7.
- Milan, J. (1978). Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo I. Descripción de las plantas cultivadas. 3ra Edición. Editorial ACME SACI. 1, 175.
- Mitra, A., Chatterjee, S., Moogouei, R. y Gupta, D. K. (2017). Arsenic Accumulation in Rice and Probable Mitigation Approaches: A Review. *Agronomy*. 7(4), 67. <https://doi.org/10.3390/agronomy7040067>
- Navarro, G. y Navarro, S. (2013). Química Agrícola. 3a Edición. Madrid. Mundi Prensa. Pág. 461-464.
- Okuda, A. y Takahashi, E. (1964). The role of silicon. In: The Mineral Nutrition of the Rice Plant. Manila, IRRI: John Hopkins Press. Pág. 123-146.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (2017). Análisis por activación neutrónica [Internet]. Viena, Austria: IAEA. Recuperado el 22 de enero de 2020, de <https://www.iaea.org/es/temas/analisis-por-activacion-neutronica>.
- Paye, W., Tubana, B., Harrell, D., Babu, T., Kanke, Y. y Datnoff, L. (2018). Determination of Critical Soil Silicon Levels for Rice Production in Louisiana Using Different Extraction Procedures. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(17), 2091-2102.
- Pennington, J. A. T. (1991). Silicon in food and diets. *Food Addit Contam.*, 8, 97–118.
- Prescha, A., Zabłocka-Słowińska, K. y Grajeta, H. (2019). Dietary Silicon and Its Impact on Plasma Silicon Levels in the Polish Population. *Nutrients*, 11(5), 980.
- Prescha, A., Zabłocka-Słowińska, K., Płaczkowska, S., Gorczyca, D., Łuczak, A. y Grajeta, H. (2019). Silicon intake and plasma level and their relationships with systemic redox and inflammatory markers in rheumatoid arthritis patients. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 28(11), 1485-94.
- Rathore, M., Singh, R., Kumar, B. y Chauhan, B. S. (2016). Characterization of functional trait diversity among Indian cultivated and weedy rice populations. *Scientific Reports*, 6(1), 24176. DOI: 10.1038/srep24176

- Raven, J. A. (1983). The transport and function of silicon in plants. *Biological Reviews*, 58, 179–207.
- Reffitt, D.M., Ogston, N., Jugdaohsingh, R., Cheung, H. J. F., Evans, B. A. J., Thompson, R. P. H., Powell, J. J. y Hampson, G. N. (2003). Orthosilicic acid stimulates collagen type 1 synthesis and osteoblastic differentiation in human osteoblast-like cells in vitro. *Bone*, 32, 127–135.
- Skerman, P. y Riveros, F. (1992) Gramineas tropicales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *FAO*, 23, 537-541.
- Tzika, F., et al. (2007). Neutron activation analysis of large volume samples: the influence of inhomogeneity. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 271, 233–240.
- Van Den Berghe, D. (2003). Ácido silícico, al devolverlo a la cadena alimenticia. Belgica: University of Antwerp.