

Geoquímica del selenio en los llanos del estado Portuguesa, Venezuela

Selenium geochemistry in the plains of Portuguesa state, Venezuela

Beatriz Angulo ¹

Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Miranda, Venezuela.¹

angulobcs@gmail.com¹

Fecha de recepción: 09/06/2023

Fecha de aceptación: 04/09/2023

Pág: 130 – 141

Resumen

El selenio actúa como micronutriente, siendo necesario para la salud humana, sin embargo, en exceso llega a ser tóxico. Esta revisión ilustra la geoquímica del selenio, en los llanos occidentales de Venezuela, Estado Portuguesa, caracterizados por una alta concentración de selenio en alimentos y en su población. El origen de este metaloide parece estar asociado a lutitas negras cretácicas que afloran en el piedemonte andino, cuyo material, al ser meteorizado, lixivia entre otras especies al selenio. Este es transportado en solución o adsorbido al material particulado fino por quebradas y ríos hasta la planicie de Portuguesa donde conforma suelos de gran fertilidad, en los que son cultivados, alrededor del 70 % de los cereales y granos de Venezuela. Las plantas y animales que crecen sobre estos suelos enriquecidos en selenio alcanzan concentraciones por encima de la media mundial, lo que hace que sus pobladores, presenten también valores altos de selenio en sangre y orina. La gestión de estas elevadas concentraciones de selenio en alimentos podría ser una ventaja que permita una óptima dosificación en la población venezolana.

Palabras clave: bioacumulación, geoquímica, Portuguesa, selenio, Venezuela.



Esta obra está bajo licencia CC BY-NC-SA 4.0.

Abstract

Selenium acts as a micronutrient, being necessary for human health; however, in excess it becomes toxic. This review illustrates the geochemistry of selenium in the western plains of Venezuela, Portuguesa State, characterized by a high concentration of selenium in food and in its population. The origin of this metalloid seems to be associated with Cretaceous black shales that outcrop in the Andean foothills, whose material, when weathered, leaches selenium among other species. Selenium is transported in solution or adsorbed to fine particulate material by streams and rivers to the Portuguesa plains where it forms soils of great fertility, where about 70% of Venezuela's cereals and grains are cultivated. The plants and animals that grow on these selenium-enriched soils reach concentrations above the world average, which means that their inhabitants also have high selenium levels in their blood and urine. The management of these high concentrations of selenium in food could be an advantage that allows an optimal dosage in the Venezuelan population.

Key words: bioaccumulation, geochemistry, Portuguesa, selenium, Venezuela.

Introducción

El selenio es un metaloide que, por sus propiedades químicas, tiene un comportamiento geoquímico similar al azufre. Sus estados de oxidación más comunes son +2, +4 y +6, lo que influye en sus propiedades físicas, químicas, bioquímicas y toxicológicas. Tiende a estar en mayor proporción en rocas ígneas básicas así mismo, durante el proceso de diferenciación magmática, al ser volátil es incorporado a fluidos hidrotermales, presentando una distribución heterogénea en asociación con sulfuros, hallándose en la naturaleza tanto en forma inorgánica (principalmente como selenito SeO_3^{2-} , estado de oxidación +4; Selenuro (Se^{2-}); selenato SeO_4^{2-} , valencia +6; Selenio elemental Se^0 y; en forma orgánica, al ser metabolizado por animales, sustituyendo al azufre en aminoácidos como la cisteína y la metionina, para formar selenocisteína y seleniometionina, entre otras. Tiende a acomplejarse con la materia orgánica y puede ser adsorbido sobre minerales de arcilla, por lo que es común hallarlo asociado al uranio, el vanadio y el molibdeno, en lutitas negras del periodo Cretácico (Malisa, 2001).

Durante la meteorización de las rocas parentales es trasladado como soluto, formando complejos organometálicos o adsorbido sobre el material particulado fino para finalmente acumularse en ambientes como llanuras aluviales, para formar parte de suelos fértiles, especialmente si proviene de lutitas con alto contenido en materia orgánica.

Una vez en los suelos y el agua es incorporado a las especies vegetales, siendo bioasimilado por animales y transferido a los seres humanos mediante la cadena trófica, actuando como

micronutriente, en una dosis óptima que varía entre 60 y 143,5 μg día, siendo tóxico a dosis mayores, causando en casos críticos, selenosis e incluso la muerte (Cardoso et al., 2022).

La concentración de selenio en las plantas está relacionada directamente con su abundancia en los suelos, por lo que el estudio geoquímico del selenio en distintos escenarios geológicos incide en la estimación de su abundancia en las distintas matrices ambientales, resultando de interés para estudios de nutrición y salud humana, en relación a este micronutriente.

El selenio en la salud humana

El selenio tiene un rol destacado en varias funciones del cuerpo humano. En el cerebro y el sistema inmune actúa frente al estrés oxidativo. En la glándula tiroides participa en la síntesis y funcionamiento de las hormonas; sobre el ADN tiene un efecto antimutagénico y en el sistema reproductivo favorece la fertilidad al mejorar las propiedades del semen. El selenio destaca también por sus propiedades antimicóticas, antivirales y antiparasitarias (Kieliszek et al., 2022; Mehdi et al., 2013).

Estudios recientes sugieren que el déficit de selenio puede alterar negativamente a la microbiota intestinal, causando una respuesta inflamatoria y aumentando los riesgos de enfermedades como el cáncer colorectal. Así mismo su déficit está asociado a cardiopatías infantiles, osteoartrosis, afecta el sistema inmune, enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer, Parkinson y epilepsia (Hughes et al., 2014; Sun et al., 2023).

En contraposición, dosis elevadas de selenio pueden aumentar el riesgo de padecimiento de diabetes tipo 2 además hígado graso, depresión y en casos extremos selenosis, caracterizada por pérdida del cabello, niebla mental y daño en las uñas, lo que sugiere una curva tipo U en relación a su dosis segura, en un rango de dosis extremadamente estrecho (Sun et al., 2023).

En general, dosis de selenio por debajo de 30-45 μg al día son deficitarias y por encima de 135 μg día son excesivas (Sun et al., 2023). Es considerado por la Organización mundial de la Salud, como dosis máxima de consumo humano diario seguro la cantidad de 400 μg por día, aunque otros organismos como la Agencia para registro de sustancias tóxicas y enfermedades (ATSDR) y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA), establecen un valor máximo seguro de 250 μg por día (Dalton y Bird, 2003).

Concentración de selenio en la población venezolana

Al ser ingerido, el selenio es incorporado en unas 25 selenoproteínas, entre las que destacan selenocisteínas, en moléculas con estructuras químicas similares a las de azufre, con funciones específicas, que promueven una óptima condición de salud. La concentración de selenio en exceso es expulsada principalmente por vía urinaria y puede llegar a acumularse en el cabello,

por lo tanto, el cabello, la sangre o la orina excretada sirven como indicadores de nivel de Se, asociado al consumo humano (Phiri et al., 2020).

Durante las décadas de los 70 y los 80 fueron llevados a cabo para distintas regiones de Venezuela, dos estudios sobre las concentraciones de selenio en humanos (Bratter y Schramel, 1984; Mondragón y Jaffé, 1971). Para el primer estudio, Mondragón y Jaffé (1971), analizaron el Selenio en 1055 muestras de orina captadas en niños escolares de distintas regiones del país.

Los análisis fueron realizados previa extracción, purificación y acomplejamiento del selenio con diaminonaftaleno, mediante fluorimetría, hallando valores particularmente elevados para la población de Villa Bruzual, Turén, Estado Portuguesa y un valor promedio en el país superior al resto de estudios considerados, Tabla 1.

Posteriormente Bratter y Schramel (1984), analizaron la cantidad de selenio en muestras de suero sanguíneo para la región de Turén, Portuguesa, estas muestras fueron analizadas por activación neutrónica, después de ser secadas a 50 °C.

Según Fonseca, 2010 el promedio ponderado de Selenio en suero sanguíneo para América del Sur es de 90 $\mu\text{g}/\text{L}$ y para Europa es de 85 $\mu\text{g}/\text{L}$, mientras que el valor promedio reportado por Bratter y Schramel (1984), en el suero sanguíneo de la población de Villa Bruzual, en el Estado Portuguesa es de 259 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Tabla 1: Concentración la concentración de Selenio en orina respecto a la reportada para otros países.

País	N	Rango Edad	Promedio Se Orina ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Referencia
Venezuela	1055	6-12	166	Mondragón y Jaffé (1971)
Brasil	160	6-12	15	Dos Santos et al. (2021)
México	214	6-18	87	Barragán (2020)
Canadá	718	6-11	65	Hu y Chan (2018)
USA	73	10-18	145	Tank y Storvick (1960)
Alemania	72	2-17	39	Heitland y Köster (2006)
Polonia	40	8-17	58	Błażewicz et al. (2015)
Turquía	32	6-12	29	Çelik et al. (2014)

Fuente: Elaboración propia (2023).

Concentración de selenio en alimentos

Existe una relación entre la concentración de selenio en humanos, la dieta alimenticia y los suelos donde son producidos los alimentos ingeridos, esto porque en general, la concentración de selenio en las fuentes de agua potable, suele ser despreciable.

Aunque la capacidad acumuladora del selenio varía dependiendo de la bioquímica de los alimentos; entre los más analizados están el arroz, la leche de vaca y el huevo. Este estudio muestra que la concentración de selenio en huevo, arroz y leche de vaca es notoriamente superior para Venezuela que para Argentina y Grecia, cuyos valores son similares, excepto para la leche. Ver Tabla 2.

Tabla 2: Concentración del selenio en huevo, arroz y leche para distintos países.

País	Se Huevo ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)*	Se Arroz ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)*	Se Leche ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)*	Método	Referencia
Venezuela	0,395	0,134	0,115	Fluorimetría	Mondragón y Jaffé (1971)
Argentina	0,178	0,022	0,007	GH-EFA*	Sigrist et al. (2012)
Grecia	0,173	0,0026	0,015	GH-EFA*	Pappa et al. (2006)

* Concentraciones promedio

** GH-EFA Generación de Hidruros-Espectroscopía de Fluorescencia Atómica

Fuente: Elaboración propia (2023).

Plantas empleadas como indicadores de suelos seleníferos

Un método indirecto para identificar suelos seleníferos, consiste en analizar el contenido de este metaloide en ciertas especies vegetales que lo incorporan como micronutriente para ciertas funciones fisiológicas, llegando a bioacumularlo.

En el hemisferio norte, unas de las plantas más comúnmente empleadas como indicadores han sido varias de las especies del género *Astragalus*, (*A. bisulcatus*, *A. racemosus*, *A. pectinatus*, *A. thephorosides*, *A. praelongus*) denominadas hiperacumuladoras por su capacidad de concentrar hasta 5000 mg/Kg de Se, caso del *Astragalus praelongus*.

Otras especies acumuladoras reportadas para Estados Unidos son *Machaeranthera* y *Oonoposis* que contiene 800 mg/Kg. *Stanleya* y *Haplopappas* pueden llegar a presentar concentraciones de 700 y 120 mg/Kg, respectivamente. Un dato interesante es que por lo general las gramíneas parecen ser mejores acumuladoras del selenio que las oleaginosas (Clayman y Gunter, 1973; Mehdi et al., 2013).

Luego del hallazgo del árbol denominado coco del mono (*Morisonia Americana*) con concentraciones de selenio de hasta 18.000 mg/Kg y con propiedades eminentemente tóxicas, Ortiz y Carrasquero (1968), establecieron tres principales plantas indicadoras de Se, para la región de los llanos occidentales de Venezuela: *Echinocloa colonum*, *Poponax flexuosa*

y *Morisonia Americana* con $Se > 10$ mg/Kg, identificando Turén, Estado Portuguesa y Barbacoas, Estado Lara, como posibles regiones seleníferas en Venezuela.

El selenio en sistemas acuáticos

El selenio es transportado en medio acuoso como soluto, adsorbido sobre partículas en suspensión o como coloide. Su recorrido inicia una vez que la roca parental es sometida al proceso de meteorización física, pasando a formar parte de sedimentos transportados por vía aérea, o acuática, para sufrir alteración química, variando su solubilidad según su estado de valencia, siendo las especies disueltas más comunes selenuro (Se^{2-}) y selenato (SeO_4^{2-}), mientras que el selenito (SeO_3^{2-}), tiende a transportarse adsorbido sobre arcillas, conformando coloides (Mehdi et al., 2013).

Alrededor del 60% de los compuestos orgánicos de selenio, están asociados al material particulado, con tamaño de partícula mayor a $0,22 \mu m$, por otra parte, de la fracción soluble de orgánicos del selenio, los ácidos seleno-amínicos representan el 70%, el dimetilselenuro, metabolito del selenio en plantas, así como producto de degradación de otras especies orgánicas del selenio en ambiente anaeróbico, tiende a volatilizarse hacia la atmósfera, donde es fotodegradado (Kang et al., 2004; Mason et al., 2018).

En agua de mar, la concentración promedio de Selenio oscila es de $0,09 \mu g.L^{-1}$, ingresando principalmente por fuentes fluviales continentales, presentando una concentración mayor en zonas costeras, una vez allí, sin embargo, es en parte incorporado a la biota, para posteriormente ser liberado en su mayoría como dimetilselenurio, metabolito volátil, por lo que termina incorporándose a la atmósfera donde tiende a ser fotodegradado (Fordyce, 2007; Mason et al., 2018).

En aguas marinas tropicales, someras y tranquilas es incorporado a las microalgas, lo que redundará, en la acumulación de selenio asociado a la materia orgánica y a las partículas finas de sedimentos, que, en el tiempo geológico, bajo las condiciones adecuadas, darán lugar a las denominadas lutitas negras (Ponton et al., 2020).

En sistemas acuáticos continentales la concentración del selenio presenta un rango muy amplio, generalmente para aguas superficiales, con valores entre menos de 0.1 y $100 \mu g.L^{-1}$ y típicamente menores a $10 \mu g.L^{-1}$ y de hasta $1000 \mu g.L^{-1}$ para aguas subterráneas, debido a una mayor interacción agua roca. Esta concentración es controlada por factores como la geología, el clima, el grado de la interacción agua-roca, y la topografía (Fordyce, 2007; Mehdi et al., 2013). Ver Tabla 3.

Tabla 3: Concentración de Selenio para algunos sistemas acuáticos continentales en el mundo

País	Sistema Hídrico	Concentración ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Actividad	Referencia
Venezuela	Río Catatumbo	0,81	Petrolera	Torres et al. (2020)
Venezuela	Lago de Maracaibo	6,51	Petrolera	Rincón (2001)
Venezuela	Río Portuguesa	2,06	Natural selenífero	Yee et al. (2007)
México	Río Guanaajuato	200	Minera	Byers (1937)
Brasil	Río Amazonas	0,21	Natural	Robberecht y Van Grieken (1982)
Alemania	Río Rin	0,14	Natural	Robberecht y Van Grieken (1982)
USA	Río Colorado	30	Natural selenífero	Robberecht y Van Grieken (1982)
USA	Acuífero Montana	1000	Natural selenífero	Fordyce (2007)

Fuente: Elaboración propia (2023).

Para la cuenca del río Catatumbo, zona asociada a la actividad petrolera y que aporta el 60 % del agua dulce al Lago Maracaibo, la concentración de selenio oscila entre 0,31 - 1,33 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, mientras que para el Lago de Maracaibo oscila entre 4.8 - 8.1 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Estos valores elevados de selenio pueden estar asociados al exhaustivo proceso de producción petrolera llevado a cabo sobre el lago por al menos 100 años.

Selenio en la cuenca del Orinoco, relación con los suelos seleníferos de Portuguesa

El río Orinoco destaca por ser el tercer río con mayor caudal en el mundo; con una longitud de 2.140 Km, atraviesa gran parte del territorio de Venezuela, así como la zona este de Colombia. Su cuenca cubre un área de unos 989.000 km^2 , siendo la tercera mayor de América del Sur.

Durante su recorrido recibe las aguas de tres distintos escenarios geográficos: el escudo de Guayana, constituido por rocas precámbricas altamente meteorizadas; la cordillera andina producto del levantamiento orogénico durante el Terciario y, por último, depresiones tectónicas que representan llanuras de acumulación es por esto que el estudio de selenio en su cuenca sintetiza por tanto el aporte de este metaloide para casi todo el territorio venezolano.

Yee et al. (2007) evaluaron la concentración de selenio natural disuelto para los ríos tributarios del Orinoco, hallando una marcada diferencia en la concentración de selenio para los ríos tributarios ubicados al noroeste del Orinoco (nacientes en el piedemonte andino), respecto a los del sureste (nacientes en el escudo de Guayana), siendo precisamente los primeros, aquellos que drenan hacia los llanos occidentales del Estado Portuguesa, Tabla 4.

Tabla 4: Concentración de Selenio en algunos de los tributarios del Río Orinoco

Tributario	Concentración $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	Tributario	Concentración $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$
Apure	2,31	Guavire	0,20
Boconó	1,11	Meta	0,61
Guanare	2,96	Venturi	0,06
Portuguesa	2,06	Cuchivero	0,21
Morador	4,08	Caura	0,19
Acarigua	2,31	Aro	0,21

Fuente: Yee et al. (2007).

Los autores captaron las muestras de agua durante distintas campañas realizadas entre 1982, en su mayoría y 1985 especialmente entre septiembre y diciembre, sin especial distinción entre los periodos de sequía y lluvia, encontrando un patrón de concentraciones relacionado con las dos provincias geográficas, asociado principalmente a la geología y al caudal de los ríos.

Los ríos ubicados en las vertientes al noroeste del Orinoco, nacen en el piedemonte de los Andes de Mérida, atravesando rocas del cretácico, principalmente lutitas ricas en materia orgánica y areniscas; mientras que aquellos ubicados del lado de las vertientes al sureste están relacionados con rocas ígneas del precámbrico, siendo que, además, estos últimos tienen un caudal mayor, lo que diluye las especies en solución.

Geología asociada a las elevadas concentraciones de selenio en agua

Las rocas sedimentarias a través de las que discurren los ríos con las mayores concentraciones de selenio, corresponden principalmente al Cretácico o el Pleistoceno, constituidas por rocas de sedimentos movilizados en el piedemonte andino, Tabla 5, (Hackley et al., 2006; Lécico Estratigráfico de Venezuela, 2021).

Tabla 5: Geología asociada a los ríos con las mayores concentraciones de selenio

Tributario	Geología asociada	Edad	Descripción clave
Guanare	Fm. Guache	Cretácico - Eoceno	Secuencia flysch, areniscas, lutitas, conglomerados líticos y muy escasa capa de calizas
	Fm. Barquisimeto	Cretácico tardío	Lutitas, limonitas y margas de color gris oscuro a negro
	Fm. Mamey	Cretácico temprano	Esquistos cuarzo-sericíticos y filitas negras
	Fm. Volcancito	Cretácico temprano-tardío	Secuencia ligeramente metamorfozada con franjas cuarcítica y calcárea
	Fm. Apón	Cretácico temprano	División basal del Grupo Cogollo, calizas arenosas, fétidas fosilíferas intercaladas con lutitas y coquinas
Portuguesa	Fm. Parángula	Oligoceno tardío, Mioceno medio	Conglomerados lenticulares de grano grueso, relativos a depósitos molásicos depositados en anfosa adyacente durante, representando ciclo sedimentario transgresivo-regresivo
Morador	Fm. Guanapa	Pleistoceno	Conglomerados, arenas y arcillas depositadas en conos aluviales
	Fm. Río Yuca	Mioceno - Plioceno	Intervalo molásico principal del levantamiento de los Andes
	Fm. Parángula	Oligoceno tardío, Mioceno medio	Conglomerados lenticulares de grano grueso, relativos a depósitos molásicos depositados en anfosa adyacente durante, representando ciclo sedimentario transgresivo-regresivo

Fuente: Hackley et al. (2006).

En contraste, los ríos tributarios con bajo contenido en selenio tales como el Guavire cuyo cauce proviene de Colombia y el Meta, fronterizo entre Colombia y Venezuela, atraviesan aluviones con alto grado de meteorización química, conteniendo arcillas tales como la caolinita o para el caso de los ríos Cuchivero, Venturi y Caura, rocas sedimentarias volcánicas ácidas, riolitas y riolitas porfídicas de la Fm. Caicara, del Precámbrico y el río Aro, discurriendo sobre rocas intrusivas intermedias tal como cuarzo-monzonitas (Hackley et al., 2006; Léxico Estratigráfico de Venezuela, 2021).

Conclusiones

Varios estudios del selenio realizados en Venezuela en las décadas de los 70 y 80 permiten establecer la geoquímica de este elemento desde su origen en el piedemonte andino, asociado a rocas sedimentarias de origen marino, ricas en materia orgánica, hasta su destino final, la bioacumulación en humanos, para este caso en la región de Turén, Portuguesa así como en la población que consume alimentos cultivados en esta zona. La gestión de alimentos enriquecidos

en selenio es de importancia para garantizar la ingesta adecuada de este micronutriente en la población venezolana.

Referencias

- Barragán, G. (2020). *La relación de los biomarcadores de daño renal y el biomonitoreo urinario de los elementos potencialmente tóxicos en niños y adolescentes de la Zona Metropolitana del Valle de México* (Tesis de maestría). Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Zacatenco. <https://repositorio.cinvestav.mx/bitstream/handle/cinvestav/3450/SSIT0016361.pdf?sequence=1>
- Błażewicz, A., Klatka, M., Astel, A., Korona, I., Dolliver, W., Szwer, W. y Kocjan, R. (2015). Serum and urinary selenium levels in obese children: a cross-sectional study. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 29(1-2), 116-122. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2014.07.016>
- Bratter, P. y Schramel, P. (1984). *Trace element-analytical chemistry in medicine and biology*. 3. New York, Walter de Gruyter; Co.
- Byers, H. (1937). Selenium in Mexico. *Industrial & Engineering Chemistry*, 29(10), 1200-1202. <https://doi.org/10.1021/ie50334a024>
- Cardoso, B., Cominetti, C. y Seale, L. (2022). Editorial: Selenium, Human Health and Chronic Disease. *Frontiers in Nutrition*, 18(8), 1-5. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.827759>
- Çelik, T., Savaş, N., Kurtoğlu, S., Sangün, Ö., Aydın, Z., Mustafa, D., Öztürk, O., Mısırlıoğlu, S. y Öktem, M. (2014). Iodine, copper, zinc, selenium and molybdenum levels in children aged between 6 and 12 years in the rural area with iodine deficiency and in the city center without iodine deficiency in Hatay. *Turk Pediatri Arsivi*, 49(2), 111-116. <https://doi.org/10.5152/tpa.2014.1209>
- Clayman, D. y Gunter, W. (1973). *Organic selenium compounds: their chemistry and biology*. Wiley-Interscience. New York, USA.
- Dalton, C. y Bird, P. (2003). Risk assessment for the consumption of fish with elevated selenium levels. *New South Wales public health bulletin*, 14(8), 174-176. <https://doi.org/10.1071/NB03050>
- Dos Santos, M., Penteadó, J., Baisch, P., Soares, B., Muccillo-Baisch, A. y da Silva Júnior, F. (2021). Selenium dietary intake, urinary excretion, and toxicity symptoms among children from a coal mining area in Brazil. *Environ Geochem Health*, 43(1), 65-75. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00672-6>
- Fordyce, F. (2007). Selenium Geochemistry and Health. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36(1), 94-97.
- Hackley, P., Urbani, F., Karlsen, A. y Garrity, C. (2006). *Mapa Geológico de Venezuela a Escala 1:750,000*. U.S. Geological Survey Open File Report 2006-1109.

- Heitland, P. y Köster, H. (2006). Biomonitoring of 30 trace elements in urine of children and adults by ICP-MS. *Clinica Chimica Acta*, 365(1-2), 310-318. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2005.09.013>
- Hu, X. y Chan, H. (2018). Factors associated with the blood and urinary selenium concentrations in the Canadian population: Results of the Canadian Health Measures Survey (2007-2011). *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221(7), 1023-1031. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.07.001>
- Hughes, D., Fedirko, V., Jenab, M., Schomburg, L., Méplan, C., Freisling, H. y et al. (2014). Selenium status is associated with colorectal cancer risk in the European prospective investigation of cancer and nutrition cohort. *International Journal of Cancer*, 23(10), 1-15. <https://doi.org/10.1002/ijc.29071>
- Kang, Y., Kamamoto, J., Kaneda, S., Aritome, K. y Sakurai, K. (2004). Characterization of Selenium in the Deep Ocean Water Pumped up at Muroto, Japan. *Deep Ocean Water Research*, 5.
- Kieliszek, M., Bano, I. y Zare, H. (2022). A Comprehensive Review on Selenium and Its Effects on Human Health and Distribution in Middle Eastern Countries. *Biological Trace Elements Research*, 200(3), 971-987. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-02716-z>
- Léxico Estratigráfico de Venezuela. (2021). *Boletín de Geología, Caracas*, 12, 1117pp.
- Malisa, E. (2001). The Behaviour of Selenium in Geological Processes. *Environmental Geochemistry and Health*, 23, 137-158. <https://doi.org/10.1023/A:1010908615486>
- Mason, R., Soerensen, A., Dimento, B. y Balcom, P. (2018). The Global Marine Selenium Cycle: Insights From Measurements and Modeling. *Global Biogeochemical Cycles*, 32. <https://doi.org/10.1029/2018GB006029>
- Mehdi, Y., Hornick, J., Istasse, L. y Dufrasne, I. (2013). Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecules*, 18(3), 3292-311. <https://doi.org/10.3390/molecules18033292>
- Mondragón, M. y Jaffé, W. (1971). Selenio en alimentos y en orina de escolares en diferentes regiones de Venezuela. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 23(2), 185-195.
- Ortiz, D. y Carrasquero, R. (1968). Investigación sobre posibles zonas seleníferas en Venezuela. *Agron. Trop. Maracay, Venezuela*, 18, 369-377.
- Pappa, E., Pappas, A. y Surai, P. (2006). Selenium content in selected foods from the Greek market and estimation of the daily intake. *Sci Total Environ*, 372(1), 100-108. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.08.008>
- Phiri, F., Ander, E., Lark, R., Bailey, E., Chilima, B., Gondwe, J., Joy, E., Kalimbira, A., Phuka, J., Suchdev, P., Middleton, D., Hamilton, E., Watts, M., Young, S. y Broadley, M. (2020). Urine selenium concentration is a useful biomarker for assessing population level selenium status. *Environ Int*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105218>
- Ponton, D., Graves, S., Fortin, C., Janz, D., Amyot, M. y Schiavon, M. (2020). Selenium Interactions with Algae: Chemical Processes at Biological Uptake Sites, Bioaccumulation, and Intracellular Metabolism. *Plants (Basel)*, 9(4:528), 1932-1937. <https://doi.org/10.3390/plants9040528>

- Rincón, M. (2001). *Determination of nutrients and heavy metal species in samples from Lake Maracaibo* (Thesis (Doctoral)). Sheffield Hallam University (United Kingdom).
- Robberecht, H. y Van Grieken, R. (1982). Selenium in environmental waters: Determination, speciation and concentration levels. *Talanta*, *29*(10), 823-844. [https://doi.org/10.1016/0039-9140\(82\)80252-x](https://doi.org/10.1016/0039-9140(82)80252-x)
- Sigríst, M., Brusa, L., Campagnoli, D. y Beldoménico, H. (2012). Determination of selenium in selected food samples from Argentina and estimation of their contribution to the Se dietary intake. *Food Chemistry*, *134*(4), 1932-1937. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.116>
- Sun, Y., Wang, Z., Gong, P., Yao, W., Ba, Q. y Wang, H. (2023). Review on the health-promoting effect of adequate selenium status. *Frontiers in Nutrition*, *23*(10), 1-15. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1136458>
- Tank, G. y Storvick, C. (1960). Effect of naturally occurring selenium and vanadium on dental caries. *Journal of Dental Research*, *39*(3), 473-488. <https://doi.org/10.1177/00220345600390030801>
- Torres, J., Colina, M., Sanquiz, M., Avila, H., Barrera, S., Cano, Y., ... y Rivas, Z. (2020). Evaluación de las concentraciones totales de selenio en agua, sedimento y tejidos de peces del río Catatumbo, Venezuela durante los años 2001-2002. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, *2*(2). <http://portal.amelica.org/ameli/journal/648/6482950003/>
- Yee, H., Measures, C. y Edmond, J. (2007). Selenium in the tributaries of the Orinoco in Venezuela. *Nature*, *326*, 686-689. <https://doi.org/10.1038/326686a0>