



## Factores de transferencia suelo-planta de Elementos Tierras Raras en arroz (*Oryza sativa* L.)

### Soil-to-Plant Transfer Factors of Rare Earth Elements in Rice (*Oryza sativa* L.)

María Aurora Mesa-Pérez<sup>I</sup>✉

, Oscar Díaz-Rizo<sup>II</sup>, Marie J. Tavella<sup>III</sup>, David Bagué<sup>III</sup>, José Miguel Sánchez-Pérez<sup>III</sup>

<sup>I</sup> Universidad Agraria de La Habana (UNAH), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

<sup>II</sup> Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Universidad de La Habana (InSTEC-UH), Plaza, La Habana, Cuba.

<sup>III</sup> CNRS-Laboratoire d'Ecologie Fonctionnel et Environnemental. Université Toulouse 3, France.

**RESUMEN.** El presente estudio describe la distribución y bioacumulación de Elementos Tierras Raras (ETRs) en plantas de arroz provenientes de la finca San Pedro, ubicada en el municipio de San José de las Lajas, provincia de Mayabeque. Los resultados indican que la acumulación de los ETRs en las diferentes partes de la planta, siguen el comportamiento: raíz>hoja>cáscara>grano. Se determinan los valores del Factor de Transferencia (FT) de ETRs in arroz, confirmando que el contenido de ETRs en los granos de arroz, raíces, hojas y cáscaras del grano no atentan contra su empleo como consumo humano y alimento animal, respectivamente.

**Palabras claves:** Elementos Tierras Raras (ETRs), suelos, arroz (*Oryza sativa* L.), factores de transferencia.

**ABSTRACT.** The present study describes the distribution and bioaccumulation of rare earth elements (REEs) in rice plants grown in San Pedro farm, located in San José de las Lajas Municipality, Mayabeque Province, Cuba. The results indicate that accumulation of REEs in different parts of plants follows the order: root>leaf>husk>grain. The transfer factor (TF) values of REEs in rice were determined, confirming that REE content in rice grains, roots, leaves and husks do not attempt on their use for human consumption and animal food, respectively.

**Keywords:** Rare earth elements (REEs), soils, rice (*Oryza sativa* L.), transfer factors.

✉ Autor para correspondencia: María Aurora Mesa-Pérez. E-mail: [mariaa@unah.edu.cu](mailto:mariaa@unah.edu.cu)

Recibido: 18/06/2017

Aceptado: 14/03/2018

## INTRODUCCIÓN

Los elementos denominados Tierras Raras (REEs) son un grupo de 15 elementos, entre los cuales solo el Protmio (Pm) no existe en la corteza terrestre de forma natural ([Kabata-Pendias, 2001](#)). Desde una perspectiva geoquímica, las Tierras raras no deben ser denominadas como tal, de hecho, son tan abundantes como el Cu, Pb o Zn. Sin embargo, poseen concentraciones superiores a otros metales pesados como el Sn, Co, Ag y Hg ([Wang et al., 2004](#)). Las Tierras Raras usualmente se dividen en dos grupos: (1) desde el Lantano (La) hasta el Samario (Sm): Comúnmente referidos como Tierra Raras ligeros (LREEs) por su bajo número atómico y masa; (2) desde el Europio (Eu) hasta el Lutecio (Lu): Referidos como Tierras Raras pesados (HREEs) por su alto número atómico y masa.

Las Tierras Raras tienen propiedades físicas y químicas similares y tienden a coexistir naturalmente, lo que explica su comportamiento similar en el ambiente ([Hu et al., 2006](#)). No están caracterizados por ser elementos esenciales para la vida ni por ser especialmente tóxicos ([Hu et al., 2006](#); [Laveuf y Cornu, 2009](#)), tampoco se encuentran reportados accidentes de envenenamiento en humanos o en las cadenas tróficas ([Liu et al., 2013](#)). Según [d'Aquino et al. \(2009\)](#), existe preocupaciones respecto al efecto acumulativo en sangre, hueso y el cerebro a partir de la exposición continua a bajos niveles de REEs. Estudios previos han encontrado que, los altos niveles de exposición a los REEs pueden estar relacionados con problemas de salud como el deterioro de la función hepática ([Zhu et al., 2005](#)). Además, la exposición ocupacional y medioambiental a los ETRs puede representar un riesgo para la salud del cuerpo humano ([Sabbioni et al., 1982](#)), y hasta el momento hay poca información disponible sobre la ingesta de dosis y los efectos potenciales para la salud de la exposición a REE en seres humanos debido a los alimentos consumo.

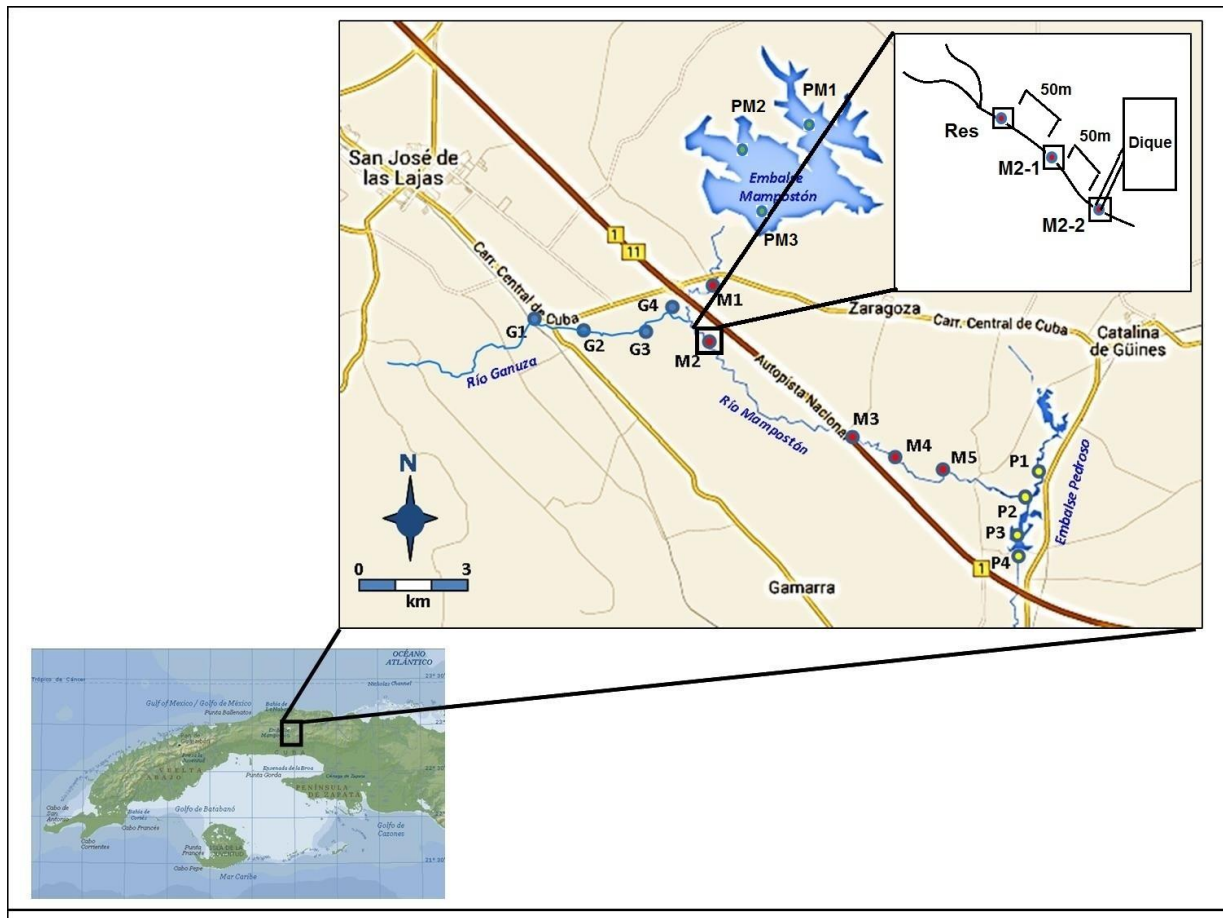
El arroz es la principal guarnición y fuente de zinc en la dieta cubana ([Diaz et al., 2013](#)), consumiéndose, un promedio de 200 gramos por día. El arroz se cultiva a lo largo del país en áreas extensas y pequeñas. Por otro lado, después de la cosecha y procesamiento del arroz para el consumo humano, las partes residuales de la planta (cáscara, hojas, raíces, etc.) se utilizan para alimentos de animales de granja. El contenido de REE en el grano de arroz se informa sólo en algunos estudios realizados por [Uchida et al. \(2007\)](#) y [Rogan et al. \(2012\)](#). Sin embargo, la información sobre la translocación de REE a otra parte de la plataforma de arroz es escasa. En este contexto, los principales objetivos de la presente investigación son:

1. Estimar el contenido y los patrones de distribución de los REEs en el suelo y los cultivos de arroz; y
2. Evaluar las características de movilidad y biodisponibilidad de los REE en muestras de suelo.

## MÉTODOS

Las plantas de arroz (*Oryza sativa* L., variedad IACuba-15) y muestras de suelo fueron recolectadas en el mismo muestreo durante la cosecha en 2013 de 10 áreas (1 m<sup>2</sup> cada una) en la granja de San Pedro (N 22° 55'53.62" y O 82° 2'56.48"), ubicada en el municipio de San José de las Lajas, provincia de Mayabeque, Cuba ([Figura 1](#)).

Todas las muestras de plantas (n = 100) se dividieron en grano (fruto agrícola), hoja y raíz con el objetivo de procesar cada órgano por separado. Las muestras se almacenaron en bolsas de plástico y posteriormente se introdujeron en cajas frías para mantener las condiciones de humedad estables durante su transporte al laboratorio.



**FIGURA 1.** Localización geográfica de la finca San Pedro. Fuente: Woogole Earth (<http://www.googleearth.com>)

En el laboratorio se siguió el siguiente orden operacional: las partes de la planta recogidas se lavaron cuidadosamente dos veces con agua destilada. Las muestras de las 10 plantas provenientes de la misma área se unificaron y homogenizaron mediante cuarteos sucesivos para obtener una muestra compuesta homogénea y representativa. Las muestras se secaron a 60 °C durante 48 h. Posteriormente, los granos fueron descascarados y separados en grano blanco y cáscara. Los granos, cáscara, hojas y raíces fueron sub-muestreados en porciones más pequeñas, y macerados dentro de un mortero de ágata, añadiendo periódicamente nitrógeno líquido para mejorar el proceso de triturado y no contaminar las muestras con ningún instrumento metálico.

Las muestras de suelo se secaron a 60 °C y se repartieron en tres sub-muestras. Se eliminaron las rocas, los esqueletos de moluscos y los desechos orgánicos antes del tamizado. La fracción menor de 1 mm se tamizó para obtener la fracción fina (<63 µm).

Las submuestras se secaron nuevamente a 60 °C antes de los experimentos.

El contenido pseudototal de REE se extrajo mediante digestión biácida (HNO<sub>3</sub>: HCl) en proporción 2:1 y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. La temperatura durante la digestión fue de 55 °C - 80 °C por 3 horas en un equipo Digiprep (Laboratoire d'Ecologie Fonctionnel et Environnemental. Université Toulouse 3. France). La lectura se realizó mediante ICPMS Agilent Technologies 7500 CE y HR-ICP-MS Thermo Scientific Element XR en el Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse, Francia. Se añadió un

patrón interno de  $^{115}\text{In} / ^{187}\text{Re}$  de una concentración conocida ( $2,0325 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) a todas las muestras y se introdujeron como control de calidad cada ocho muestras para corregir cualquier desviación del analizador ([Aries et al., 2000](#)). Todos los valores de concentración determinados estaban dentro de los límites de detección y cuantificación del equipo ( $50 \text{ pg.g}^{-1}$ ).

La interpretación de los datos se realizó mediante su normalización respecto a los datos promedios de metales pesados y REE citados por [Wedepohl \(1995\)](#), para la corteza continental superior (UCC) siguiendo el procedimiento de [Migaszewski y Gałuszka \(2015\)](#).

La transferencia suelo a planta es uno de los componentes clave de la exposición humana a los REE que se bioacumulan durante la producción de alimentos. Para calcular los valores de transferencia (TF) de los REE de suelos a cultivos, se utilizó la fórmula de [Cui et al. \(2004\)](#):

$$\text{TF} = C_{\text{arroz}} / C_{\text{suelo}} \quad (1)$$

Donde  $C_{\text{arroz}}$  y  $C_{\text{suelo}}$ , representan las concentraciones de REE en los cultivos de arroz y suelos, respectivamente (los cultivos se miden en base al peso seco). En este estudio, se utilizaron los valores de concentración media de REEs determinados como:

$$C_{\text{arroz}} = C_{\text{raíz}} + C_{\text{tallo}} + C_{\text{grano}} + C_{\text{cáscara}} \quad (2)$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las concentraciones de REE en los suelos estudiados se presentan en la [Tabla 1](#). Los niveles medios de REE en el suelo fueron ligeramente superiores a las concentraciones medias de REE medidas en la UCC. Los LREEs (La-Sm) representaron el 84,4% del contenido total de REE en el suelo investigado, lo que está de acuerdo con el informe de [Taylor y McLennan \(1995\)](#), indicando que los LREEs suelen ser más abundantes en suelos que en HREEs.

**TABLA 1.** Media de las concentraciones de REE ( $\pm$  DE) en suelos ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) y órganos de *Oryza sativa L.* ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ). Factor de transferencia (TF) Suelo-Planta para el cultivo del arroz

REE	Soil <sup>a</sup>	UCC	<i>Oryza sativa L.</i>				TF
			Root <sup>d</sup>	Grain <sup>bc</sup>	Leaf <sup>b</sup>	Husk <sup>c</sup>	
La	23.1 $\pm$ 0.4	30	11.1 $\pm$ 0.5	0.08 $\pm$ 0.04	0.52 $\pm$ 0.32	0.49 $\pm$ 0.30	0,5
Ce	69.2 $\pm$ 2.4	60	28.6 $\pm$ 0.6	0.05 $\pm$ 0.02	0.54 $\pm$ 0.02	0.16 $\pm$ 0.09	0,4
Pr	6.7 $\pm$ 3.6	6,7	3.2 $\pm$ 0.2	0.07 $\pm$ 0.04	0.46 $\pm$ 0.02	0.20 $\pm$ 0.04	0,5
Nd	30.9 $\pm$ 3.2	27	13.6 $\pm$ 0.1	0.09 $\pm$ 0.05	0.29 $\pm$ 0.02	0.39 $\pm$ 0.05	0,5
Sm	7.0 $\pm$ 5.2	5,3	3.2 $\pm$ 0.1	0.09 $\pm$ 0.05	0.29 $\pm$ 0.06	0.09 $\pm$ 0.05	0,6
Eu	1.9 $\pm$ 2.2	1,3	1.0 $\pm$ 0.1	0.34 $\pm$ 0.04	0.64 $\pm$ 0.02	0.43 $\pm$ 0.13	1,35
Gd	9.5 $\pm$ 1.5	4	4.4 $\pm$ 0.2	0.12 $\pm$ 0.08	0.69 $\pm$ 0.02	0.59 $\pm$ 0.08	0,6
Dy	6.8 $\pm$ 4.7	3,8	3.1 $\pm$ 0.1	0.18 $\pm$ 0.06	0.76 $\pm$ 0.05	0.35 $\pm$ 0.06	0,7

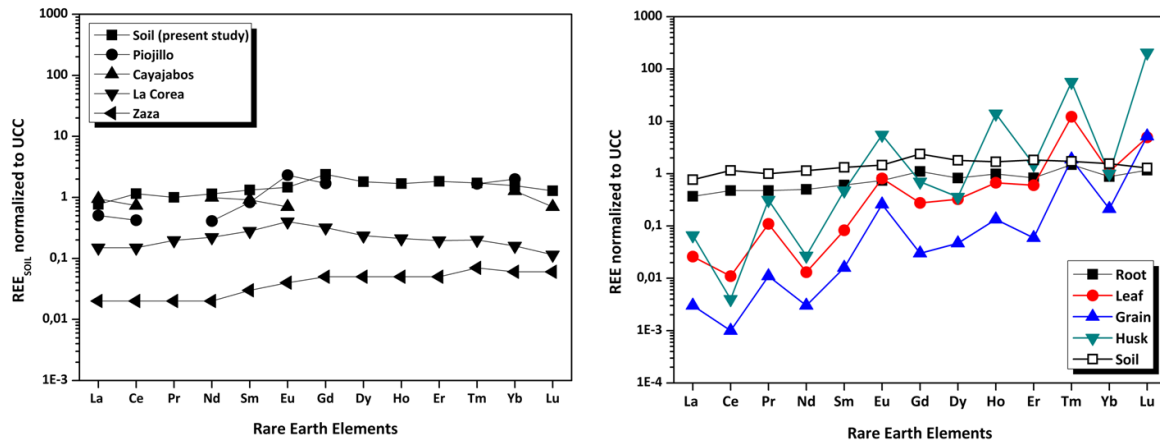
Ho	1.4 ± 1.9	0,8	0.8 ± 0.2	0.11 ± 0.08	0.32 ± 0.02	0.62 ± 0.08	1,4
Er	3.8 ± 1.3	2,1	1.8 ± 0.1	0.12 ± 0.07	0.46 ± 0.04	0.52 ± 0.07	0,8
Tm	0.5 ± 1.0	0,3	0.5 ± 0.1	0.57 ± 0.16	2.21 ± 0.52	0.44 ± 0.06	7,1
Yb	3.1 ± 1.8	2	1.81 ± 0.5	0.42 ± 0.06	1.31 ± 0.17	0.34 ± 0.07	1,2
Lu	0.45 ± 0.30	0,35	0.41 ± 0.23	1.82 ± 0.02	1.34 ± 0.80	1.84 ± 0.19	12,0
ΣREE	164,4	144	73,3	4,0	10,1	6,7	
ΣLREE	138,7	129	60,6	0,7	2,7	2,0	
ΣHREE	25,6	15	12,7	3,3	7,4	4,7	

a, b, c - Indicates a significant correlation ( $p < 0.01$ ).  
 UCC – Upper continental crust REE concentrations  
 Source of UCC data taken from [Wedepohl \(1995\)](#).

Los patrones de REE normalizados revelaron un comportamiento típico en serrucho ([Migaszewski y Gałuszka, 2015](#)) similar al que se presenta en la UCC ([Figura 2, izquierda](#)), no difiriendo apreciablemente de las concentraciones reportadas en suelos de diferentes zonas cubanas como Piojillo ([Rizo y Herrera, 1997](#)), Cayajabos ([Montero-Cabrera et al., 2000](#)), La Corea ([Blanco-Quintero et al., 2011](#)) y Zaza ([Deschamps et al., 2012](#)). Este resultado indica que las concentraciones de REE en el suelo están asociadas con la contribución a la formación del suelo de las litologías de rocas que prevalecen en la zona y no se encuentran afectadas por procesos antrópicos.

Las concentraciones de REE en los órganos de arroz y los factores de transferencia también se indican en la [Tabla 1](#). El grano de arroz mostró el menor contenido de REE con una correlación muy significativa ( $p < 0,01$ ) con la concentración de REE en hojas ( $r^2 = 0,81$ ) y cáscara ( $r^2 = 0,80$ ). Sólo el contenido de REE en las raíces muestra una correlación muy significativa con la concentración de REE en el suelo ( $r^2 = 0,99$ ).

El patrón de REE en las raíces normalizado según la UCC ([Figura 2, derecha](#)) es similar a los patrones de suelo normalizado, mientras que difieren con los patrones de REE seguidos en el grano, la cáscara y la hoja considerablemente. La concentración de REE en las plantas es extremadamente variable y depende de las especies de plantas y su hábitat correspondiente ([Taylor y McLennan, 1995](#); [Laveuf y Cornu, 2009](#)). Diferentes partes de una planta pueden clasificarse en el siguiente orden basándose en su contenido de REE: raíz > hoja > tronco > grano ([Li et al., 1998](#); [Xu et al., 2002](#)). Las concentraciones de REE en las raíces suelen ser considerablemente más altas que las concentraciones en otras partes de las plantas ([Li et al., 1998](#)). Así, los REEs pueden ser acumulados y retenidos por las raíces del arroz, con sólo pequeñas porciones alcanzando otras partes de la planta. Este hecho ayuda a explicar por qué las concentraciones de REE en las muestras de grano de arroz estudiadas fueron tan bajas.



**FIGURA 2.** Patrones de REE normalizados con la UCC en el suelo de la finca San Pedro y su comparación con los patrones de REE en otros sitios de Cubas (*izquierda*). Patrones de REE normalizados con la UCC en diferentes órganos de plantas de arroz y su comparación con el suelo (*derecha*). Fuente: UCC data taken from [Wedepohl \(1995\)](#).

Los valores de TF para LREEs en el arroz fueron generalmente bajos ([Tabla 1](#)), y confirmaron la débil acumulación de LREEs (La, Ce, Pr, Nd y Sm) por el cultivo. Un resultado similar fue reportado para el arroz macedonio ([Rogan et al., 2012](#)). Los valores medios de los cálculos de TF para La, Ce, Pr, Nd y Sm fueron similares: 0,53 (La), 0,42 (Ce), 0,58 (Pr), 0,46 (Nd) y 0,57 (Sm). Tales valores pueden indicar eventos de fraccionamiento similares de estos elementos en el sistema suelo-arroz de la finca San Pedro. Por otra parte, según la TF obtenida, la planta de arroz es un buen acumulador HREE de suelo, principalmente, en raíces. Sin embargo, el contenido de HREE en la planta de arroz es alrededor del 30% del contenido total de REE presente en la planta. Entonces, el contenido de HREE en la planta de arroz no atentan contra el empleo del grano para consumo humano y de los residuos normales de producción de arroz (raíces de plantas, hojas y cáscara de grano) para alimentos de origen animal.

## CONCLUSIONES

Las concentraciones de REEs en muestras de suelo de la finca de San Pedro están asociadas con la contribución a la formación del suelo de las litologías de rocas que prevalecen en la zona y no con aportes por procesos antrópicos a pesar de mostrar concentraciones medias ligeramente superiores a las de la UCC. Los LREEs (La-Sm) representaron el 84,4% del contenido total de REE en el suelo investigado. Las concentraciones absolutas de REE en las muestras de granos de arroz descascarado fueron 40 veces inferiores a las detectadas en los suelos. Además, los REEs podrían ser acumulados y retenidos por las raíces, y sólo una pequeña porción alcanza las partes aéreas (granos) de las plantas de arroz. Los valores de TF de los REEs en el arroz también fueron bajos, lo que confirma la débil acumulación de LREEs (La, Ce, Pr, Nd y Sm) en este cultivo. El contenido de REE en las hojas, raíces, granos y cáscara no representan un peligro para su uso en la alimentación humana y animal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIES, S.; VALLADON, M.; POLVÉ, M.; DUPRÉ, B.: “A Routine Method for Oxide and Hydroxide Interference Corrections in ICP-MS Chemical Analysis of Environmental and Geological Samples”, *Geostandards Newsletter*, 24(1): 19-31, 1 de junio de 2000, ISSN: 1751-908X, DOI: 10.1111/j.1751-908X.2000.tb00583.x.
- BLANCO-QUINTERO, I.F.; ROJAS-AGRAMONTE, Y.; GARCÍA-CASCO, A.; KRÖNER, A.; MERTZ, D.F.; LÁZARO, C.; BLANCO-MORENO, J.; RENNE, P.R.: “Timing of subduction and exhumation in a subduction channel: Evidence from slab melts from La Corea Mélange (eastern Cuba)”, *Lithos*, 127(1): 86-100, 1 de noviembre de 2011, ISSN: 0024-4937, DOI: 10.1016/j.lithos.2011.08.009.
- CUI, Y.-J.; ZHU, Y.-G.; ZHAI, R.-H.; CHEN, D.-Y.; HUANG, Y.-Z.; QIU, Y.; LIANG, J.-Z.: “Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China”, *Environment International*, 30(6): 785-791, 1 de agosto de 2004, ISSN: 0160-4120, DOI: 10.1016/j.envint.2004.01.003.
- D’AQUINO, L.; DE PINTO, M.C.; NARDI, L.; MORGANA, M.; TOMMASI, F.: “Effect of some light rare earth elements on seed germination, seedling growth and antioxidant metabolism in *Triticum durum*”, *Chemosphere*, 75(7): 900-905, 1 de mayo de 2009, ISSN: 0045-6535, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2009.01.026.
- DESCHAMPS, F.; GODARD, M.; GUILLOT, S.; CHAUVEL, C.; ANDREANI, M.; HATTORI, K.; WUNDER, B.; FRANCE, L.: “Behavior of fluid-mobile elements in serpentines from abyssal to subduction environments: Examples from Cuba and Dominican Republic”, *Chemical Geology*, 312: 93-117, 18 de junio de 2012, ISSN: 0009-2541, DOI: 10.1016/j.chemgeo.2012.04.009.
- DIAZ, R.O.; OLIVARES, S.; DENIS, A.O.; LIMA, C.L.; D’ALESSANDRO, R.K.; ARADO, L.J.O.: “Bioaccumulation of zinc in crops and its contribution to Zn intake by Cuban population”, *Nucleus*, (54): 8-11, 2013, ISSN: 0864-084X.
- HU, Z.; HANEKLAUS, S.; SPAROVEK, G.; SCHNUG, E.: “Rare Earth Elements in Soils”, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37(9-10): 1381-1420, 1 de junio de 2006, ISSN: 0010-3624, DOI: 10.1080/00103620600628680.
- KABATA-PENDIAS, A.: *Trace Elements in Soils and Plants*, [en línea], Ed. CRC Press, 3.<sup>a</sup> ed., Boca Raton, 436 p., Google-Books-ID: Nowwb0xl9fYC, 2001, ISBN: 978-1-4200-3990-0, Disponible en: <https://books.google.com/cu/books?id=Nowwb0xl9fYC>, [Consulta: 7 de septiembre de 2016].
- LAVEUF, C.; CORNU, S.: “A review on the potentiality of Rare Earth Elements to trace pedogenetic processes”, *Geoderma*, 154(1): 1-12, 15 de diciembre de 2009, ISSN: 0016-7061, DOI: 10.1016/j.geoderma.2009.10.002.
- LI, F.; SHAN, X.; ZHANG, T.; ZHANG, S.: “Evaluation of plant availability of rare earth elements in soils by chemical fractionation and multiple regression analysis”, *Environmental Pollution*, 102(2): 269-277, 1 de agosto de 1998, ISSN: 0269-7491, DOI: 10.1016/S0269-7491(98)00063-3.

- LIU, D.; WANG, X.; ZHANG, X.; GAO, Z.: “Effects of lanthanum on growth and accumulation in roots of rice seedlings”, *Plant, Soil and Environment*, 59(5): 196-200, 2013, ISSN: 1214-1178.
- MIGASZEWSKI, Z.M.; GAŁUSZKA, A.: “The Characteristics, Occurrence, and Geochemical Behavior of Rare Earth Elements in the Environment: A Review”, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(5): 429-471, 4 de marzo de 2015, ISSN: 1064-3389, DOI: 10.1080/10643389.2013.866622.
- MONTERO-CABRERA, M.E.; HERRERA-HERNÁNDEZ, H.; HERRERA-PERAZA, E.; RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, N.; LÓPEZ-REYES, M.C.: “Instrumental neutron activation analysis of rocks from Cayajabos petroleum ore”, *Applied Radiation and Isotopes*, 52(1): 143-146, 1 de enero de 2000, ISSN: 0969-8043, DOI: 10.1016/S0969-8043(99)00119-0.
- RIZO, O.; HERRERA, P.E.: “Multi-elemental characterization of Cuban natural zeolites”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 221(1-2): 255-258, 17 de julio de 1997, ISSN: 0236-5731, DOI: 10.1007/BF02035282.
- ROGAN, Š.N.; DOLENEC, T.; SERAFIMOVSKI, T.; DOLENEC, M.; VRHOVNIK, P.: “Geochemical characteristics of rare earth elements (REEs) in the paddy soil and rice (*Oryza sativa* L.) system of Kočani Field, Republic of Macedonia”, *Geoderma*, 183: 1-11, 1 de agosto de 2012, ISSN: 0016-7061, DOI: 10.1016/j.geoderma.2012.03.009.
- SABBIONI, E.; PIETRA, R.; GAGLIONE, P.; VOCATURO, G.; COLOMBO, F.; ZANONI, M.; RODI, F.: “Long-term occupational risk of rare-earth pneumoconiosis A case report as investigated by neutron activation analysis”, *Science of The Total Environment*, 26(1): 19-32, 1 de diciembre de 1982, ISSN: 0048-9697, DOI: 10.1016/0048-9697(82)90093-6.
- TAYLOR, S.R.; MCLENNAN, S.M.: “The geochemical evolution of the continental crust”, *Reviews of Geophysics*, 33(2): 241-265, 1 de mayo de 1995, ISSN: 1944-9208, DOI: 10.1029/95RG00262.
- UCHIDA, S.; TAGAMI, K.; HIRAI, I.: “Soil-to-Plant Transfer Factors of Stable Elements and Naturally Occurring Radionuclides: (2) Rice Collected in Japan”, *Journal of Nuclear Science and Technology*, 44(5): 779-790, 1 de mayo de 2007, ISSN: 0022-3131, DOI: 10.1080/18811248.2007.9711867.
- WANG, Y.; WANG, J.; WANG, L.; WANG, Y.; TU, C.: “REE Characteristics of the Kalatongke Cu-Ni Deposit, Xinjiang, China”, *Acta Geologica Sinica*, 78(2): 396-403, 1 de abril de 2004, ISSN: 1755-6724, DOI: 10.1111/j.1755-6724.2004.tb00146.x.
- WEDEPOHL, H.K.: “The composition of the continental crust”, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(7): 1217-1232, 1 de abril de 1995, ISSN: 0016-7037, DOI: 10.1016/0016-7037(95)00038-2.
- XU, X.; ZHU, W.; WANG, Z.; WITKAMP, G.-J.: “Distributions of rare earths and heavy metals in field-grown maize after application of rare earth-containing fertilizer”, *Science of The Total Environment*, 293(1): 97-105, 3 de julio de 2002, ISSN: 0048-9697, DOI: 10.1016/S0048-9697(01)01150-0.
- ZHU, W.; XU, S.; SHAO, P.; ZHANG, H.; WU, D.; YANG, W.; FENG, J.; FENG, L.: “Investigation on liver function among population in high background of rare earth area in South



China”, *Biological Trace Element Research*, 104(1): 1-7, 1 de abril de 2005, ISSN: 0163-4984, 1559-0720, DOI: 10.1385/BTER:104:1:001.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

Este artículo de se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)