

CONCENTRACIÓN DE RADIONUCLEIDOS EN ALGUNOS HONGOS
BASIDIOMICETOS SILVESTRES DEL MONUMENTO NATURAL
LOMA ISABEL DE TORRES

*Concentration of radionuclides in some wild Basidiomycetes
fungi from the Natural Monument Loma Isabel de Torres*

ANDRI BINET-ÁLVAREZ^a, FRANCISCO SANTOS-MELLA^b, JUNIOR SÁNCHEZ
VÁSQUEZ^c, VINICIO ARGENIO TAVÁREZ MARTÍNEZ^d, MANUEL ENRIQUE
FERMÍN FERNÁNDEZ^e Y OMAR PAINO PERDOMO^f

Recibido: 20/4/2023 • Aprobado: 10/6/2023

Cómo citar: Binet-Álvarez, A., Santos-Mella, F., Sánchez Vásquez, J., Tavárez Martínez, V. A., Fermín Fernández, M. E., & Paíno Perdomo, O. (2023). Concentración de radionucleidos en algunos hongos basidiomicetos silvestres del Monumento Natural Loma Isabel de Torres. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 6(1), 71–83. <https://doi.org/10.22206/cac.2023.v6i1.pp71-83>

Resumen

Los hongos juegan un papel importante en la movilidad y acumulación de sustrato, y pueden utilizarse para determinar los niveles de concentración de radionucleidos en el medio ambiente. Este estudio muestra la diversidad de radionucleidos presentes en el suelo del Monumento Natural Loma Isabel de Torres en algunos hongos basidiomicetos silvestres. Los radionúclidos se determinaron con un espectrómetro gamma de Germanio Hiper

^a Escuela de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD), Santo Domingo. República Dominicana. ORCID: 0000-0003-2638-1406
Correo-e: abinet63@uasd.edu.do

^b Escuela de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD). ORCID: 0000-0002-2892-5916, Correo-e: fsantos25@uasd.edu.do

^c Universidad Católica del Cibao (UCATECI), La Vega. República Dominicana. ORCID: 0000-0003-2296-5287, Correo-e: junior.sanchez@ucateci.edu.do

^d Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD). ORCID: 0009-0007-0556-869X
Correo-e: vtavarez33@gmail.com

^e Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD). ORCID: 0009-0003-6952-5788
Correo electrónico: manuelenriquefermin@gmail.com

^f Escuela de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD). ORCID: 0000-0002-9937-0153, Correo-e: operdomo92@uasd.edu.do



Puro GX5019 con analizador de espectro digital DSA 1000, utilizando el software Genie 2000. Los organismos analizados fueron Ramaria sp., Sparassis spathulata, Russula sp. y Boletus sp. La actividad específica se obtuvo para cada uno de los basidiocarpos y su respectiva muestra de sustrato circundante. Además, se calculó el factor de bioacumulación. En los hongos se detectaron ^{137}Cs y ^{40}K , mientras que no se encontraron ^{232}Th , ^{226}Ra ni ^{210}Pb . Las muestras de suelo tomadas a mayor altura presentaron una mayor concentración de ^{226}Ra . Con base en estos hallazgos, se recomienda continuar el trabajo en esta línea de investigación.

Palabras clave: radionucleidos; basidiomicetos; vigilancia ambiental radiológica.

Abstract

Fungi play an important role in the mobility and accumulation of substrate, and can be used to determine the concentration levels of radionuclides in the environment. This study shows the diversity of radionuclides present in the soil of the Loma Isabel de Torres Natural Monument in some wild basidiomycete fungi. Radionuclides were determined with a GX5019 Hyperpure Germanium gamma spectrometer with a DSA 1000 digital spectrum analyzer, using Genie 2000 software. The organisms analyzed were Ramaria sp., Sparassis spathulata, Russula sp. and Boletus sp. The specific activity was obtained for each of the basidiocarps and their respective surrounding substrate sample. The bioaccumulation factor was also calculated. In the fungi, ^{137}Cs and ^{40}K were detected, while ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{210}Pb were not found. The soil samples taken at higher altitudes presented a higher concentration of ^{226}Ra . Based on these findings, it is recommended to continue the work in this research line.

Keywords: Radionuclides; basidiomycetes; radiological environmental monitoring.

Introducción

El polvo sahariano contribuye con el aumento del particulado atmosférico (Méndez et al., 2018). En diversas ocasiones las plumas de polvo del Sahara han llegado a La Española impulsadas por los vientos, contribuyendo con la distribución de radionucleidos en su particulado (Giménez Forcada, 2018). Accidentes nucleares como el de Chernóbil liberan radionucleidos de origen antropogénico a la atmósfera, estos radionucleidos aprovechan la dinámica de los vientos para dispersarse y luego precipitarse en distintas zonas del planeta Tierra (Jeong et al., 2021; Churakov & Zyryanova, 2022).

Los radionucleidos son átomos de un determinado elemento con exceso de energía nuclear, esa energía es liberada en forma ionizante y no ionizante a medida que se van desintegrando y decayendo para estabilizarse (Schumann et al., 2020). La mayor cantidad de la radioactividad que recibe el ser humano es debido a la radioactividad natural al estar en interacción con el ambiente, como consecuencia de la actividad de los radionucleidos naturales presentes en el suelo, el agua y el aire, también en los alimentos y bebidas (Pourimani & Rahimi, 2016; Shaposhnikova & Rachkova, 2022). Gracias al importante rol que juegan los hongos en el flujo de materia hacia los demás componentes bióticos, estos pueden ser utilizados para determinar los niveles de concentración de los radionucleidos en el ambiente (Wollenberg, 2021; Churakov & Zyryanova, 2022).

Los hongos habitan en una amplia gama de nichos y ambientes, desde suelos ricos en restos vegetales y animales hasta rocas expuestas (Cervantes-Gómez et al., 2021; Aquino et al., 2021). Estos han desarrollado distintos modos de obtener nutrientes, llegando a existir en muchas especies relaciones simbióticas con las raíces de las plantas, desarrollando micorrizas o con algas para formar líquenes (Haselwandter & Berreck, 2020; Quiñónez-Martínez et al., 2023). Dentro de la diversidad de estos organismos, destaca el phylum *Basidiomycota*, el cual cuenta con más de 25,000 especies reportadas, donde se incluyen los hongos conocidos como setas y la mayoría de las micorrizas (Oberwinkler, 2017; He et al., 2022).

A pesar de que la relación entre radionucleidos y hongos ha sido estudiada con distintos propósitos (Alonso-Díaz, 2015; Dighton 2019; Haselwandter & Berreck, 2020; Wollenberg, 2021; Churakov & Zyryanova, 2022), para la República Dominicana no se localizaron publicaciones de radionucleidos vinculados a hongos, haciendo necesario orientar estudios hacia este campo. El propósito de este trabajo es determinar la concentración de radionucleidos en hongos basidiomicetos del Monumento Natural Loma Isabel de Torres, para evaluar la diversidad de radionucleidos presente en el suelo y la capacidad de absorción de estos por los hongos.

Materiales y métodos

Se tomaron muestras de 1 kg de suelo a una profundidad de 10 cm dentro de un cuadrante de 1 m², donde se localizó el cuerpo fructífero del basidiomiceto. Los hongos colectados fueron identificados mediante consulta especializada, claves dicotómicas para géneros de basidiomicetos y consulta de literatura especializada (Cepero de García, 2012; Alonso & Rigueiro, 2020). Las muestras de suelo fueron tamizadas, pesadas y posteriormente colocadas en un recipiente tipo duquesa de 500 ml con obturador. El tamizado de suelo fue realizado con un tamiz de malla número 12 de 1.7 mm. Luego, se llevaron al espectrómetro por un tiempo vivo de medición de 15 horas.

Las muestras de hongos se secaron en un deshidratador Elite EFD319 y un horno tipo QL modelo 20 GC. Luego, se pulverizaron con un triturador Oster modelo 6811. Posteriormente, se pesaron utilizando una balanza compacta tipo KERN KB 8720 con desviación de 0.01 gramos y autocalibración interna.

Los radionucleidos fueron determinados con un espectrómetro gamma de Germanio Hiper Puro (HPGe), modelo GX5019 con analizador de espectro digital DSA 1000, usando el software Genie 2000. Con la información obtenida, se realizó un análisis de factor de transferencia o coeficiente de bioacumulación (Alonso, 2014; Muñoz, 2022). Donde, *Fab* representa el factor de transferencia, *Ca* la concentración de radionucleidos presente en el basidiomiceto en Bq/kg y *Cb* la concentración de radionucleidos existente en la muestra de suelo en Bq/kg.

Ecuación 1*Factor de transferencia*

$$F_{ab} = \frac{C_a}{C_b}$$

Resultados y discusión

Se procesaron muestras pertenecientes a los basidiomicetos *Ramaria sp.*, *Sparassis spathulata*, *Russula sp.* y *Boletus sp.* La Tabla 1 muestra las altitudes de colecta para los basidiomicetos estudiados y su factor de bioacumulación respecto al K-40.

Tabla 1*Altitud de colecta de muestras, especie y factor de bioacumulación para el K-40*

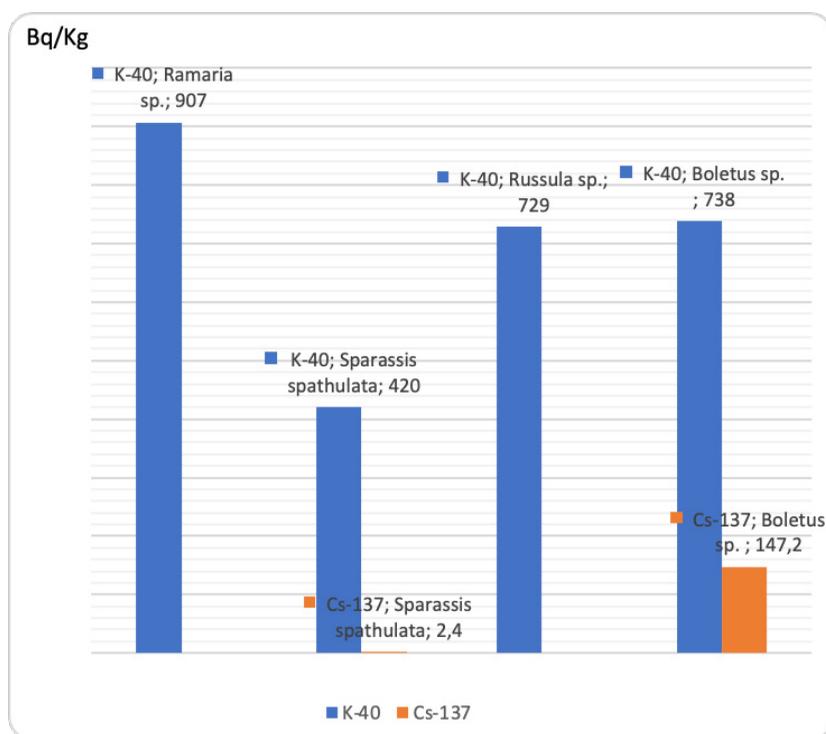
Altitud de colecta	Basidiocarpio	Factor de bioacumulación para ⁴⁰ K.
98 m.s.n.m.	<i>Ramaria sp.</i>	4.45
423 m.s.n.m.	<i>Sparassis spathulata</i>	5.38
770 m.s.n.m.	<i>Russula sp.</i>	4.56
770 m.s.n.m.	<i>Boletus sp.</i>	4.61

En el basidiocarpio de *Ramaria sp* solo se cuantificó el radionucleido natural ⁴⁰K con 907 Bq/kg. En *Sparassis spathulata* se cuantificó el radionucleido natural ⁴⁰K con 420 Bq/kg, mientras que, aunque ⁷Be fue identificado no se cuantificó. El artificial ¹³⁴Cs no fue detectado, pero sí halló ¹³⁷Cs con 2.4 Bq/kg. El ²²⁶Ra, el cual es un radionucleido natural, fue encontrado en las muestras de suelo tomadas a mayor altitud en el Monumento Natural Loma Isabel de Torres, correspondiente con el lugar de colecta de *Sparassis spathulata.*, *Russula sp.* y *Boletus sp.* En el suelo donde se colectó *Ramaria sp.*, el ²²⁶Ra presentó una concentración de 41.7 Bq/kg mientras que donde se recogió *Russula sp.* y *Boletus sp.*, se encontraron con 80 Bq/kg. La concen-

tración media mundial del ^{226}Ra es de 35 Bq/kg con una $E_{\gamma} = 241.98 \text{ KeV}$ y su período de semidesintegración de 1,600 años (Sibello-Hernández et al., 2014; Xu et al., 2022). El ^{226}Ra tiene una cascada de decaimiento y una amplia distribución en el ambiente, pudiendo encontrarse en el suelo, cuerpos de agua, aire, lodos residuales e incluso en fertilizantes fosfatados (González & Rincón, 2021; Calderón-Morales et al., 2021).

Figura 1

Actividad específica en Bq/kg peso seco en algunos basidiomicetos silvestres del Monumento Natural Loma Isabel de Torres



Russula sp., presentó una concentración de 729 Bq/kg para el ^{40}K . Aunque en este se detectó ^{137}Cs , no alcanzó la dosis mínima para su cuantificación. En su suelo se cuantificaron los radionucleidos naturales ^{40}K con 160 Bq/kg, ^{232}Th con 12 Bq/kg, ^{226}Ra con 80 Bq/kg, ^{137}Cs con 18 Bq/kg y ^{210}Pb con 290 Bq/kg, además se identificó ^7Be , pero no alcanzó la cantidad mínima para ser cuantificado. Otro radionucleido cuantificado fue el de

concentración. En esta misma zona se colectó *Boletus sp.*, cuantificando el radionucleido natural ^{40}K con 738 Bq/kg. Los radionucleidos ^{232}Th , ^{226}Ra , ^7Be , el ^{210}Pb fueron encontrados, pero no cuantificados; el artificial ^{134}Cs no fue detectado, pero sí ^{137}Cs con 147.2 Bq/kg (Figura 1).

El Potasio-40 fue detectado en todas las muestras de suelo analizadas, sin embargo, los valores de ^{40}K cuantificados en las muestras de suelo se encuentran por debajo de la media mundial $E\gamma = 1460.8 \text{ keV}$ con un período de semidesintegración de 1.251×10^9 años, pudiendo decaer en ^{40}Ca o ^{40}Ar mediante desintegración beta (González & Bonzi, 2013; Heikal et al., 2022). El Berilio-7 fue detectado, pero no alcanzó el nivel mínimo para su cuantificación. Su energía es $E\gamma = 477.6 \text{ keV}$ con tiempo medio de desintegración de 53.3 días. ^7Be suele distribuirse en los perfiles superiores del suelo, siendo los niveles de pluviometría un factor relacionado que incrementa la cantidad de depósito de ^7Be en el perfil del suelo (Lohaiza et al., 2012; Pérez & Fernández, 2019). Los líquenes suelen tener una buena capacidad de incorporación de ^7Be en su estructura, haciéndoles propicios para su uso como bioindicadores de este radionucleido. (Osoreo & Gonzáles, 2014; Saniewski et al., 2020)

El Cesio-137 es un radionucleido artificial, fue detectado en todas las muestras del suelo. Su $E\gamma = 661.65 \text{ keV}$ con un período de semidesintegración de 30.2 años (Buraeva & Bezuglova, 2023). El ^{137}Cs ha sido liberado a la atmósfera, principalmente por ensayos nucleares y accidentes con reactores entre estos Chernóbil y Fukushima (Churakov & Zyryanova, 2022). El ^{137}Cs se precipita desde la atmósfera y migra rápidamente hacia capas profundas del suelo ricas en compuestos de minerales orgánicos. Este radionucleido artificial junto con el natural Pb-210 ha sido utilizado para medir patrones de erosión y sedimentación en el suelo (Budko et al., 2022). Una de las vías de ingreso de ^{137}Cs al organismo es por alimentación (Alonso, 2014).

En España se han reportado concentraciones medias de ^{40}K en hongos silvestres de 1307 Bq/kg para peso seco, en este estudio la concentración media para ^{40}K fue de 698.5 Bq/kg. Además, estos organismos tienen la capacidad de captación del ^{137}Cs , quizás atribuido a las similitudes químicas entre el ^{40}K y el ^{137}Cs (Alonso-Díaz, 2015). La captación del ^{40}K por parte de los hongos está autorregulada, a diferencia de la de ^{137}Cs que

no lo es (Alonso-Díaz, 2015). Los resultados obtenidos muestran buena afinidad de captación por parte de los hongos evaluados para el ^{40}K y en algunos casos se detectó y cuantificó el radionucleido artificial ^{137}Cs , en *Russula sp.* con 2.4 Bq/kg y *Boletus sp.* con 147.2 Bq/kg. En el estudio de Alonso-Díaz (2015), *Boletus reticulatus*, presentó una concentración media de 831 Bq/kg para el K-40, *B. pinophilus* de 1,002 Bq/kg, y *B. reticulatus* 793 Bq/kg, en este estudio *Boletus sp.* tenía concentraciones de 738 Bq/kg. En los basidiocarpos analizados en este estudio no se detectó ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb , suponiendo una selectividad ante el ^{40}K y el ^{137}Cs por parte del organismo, esto coincide con las conclusiones de Alonso-Díaz (2015).

El área de estudio se localiza al margen del océano Atlántico, la zona noreste y este, donde se realizaron las colectas coincide con la zona de barlovento de la montaña, esta combinación puede estar relacionada con mayor concentración y deposición de particulado cargado de radionucleidos en las zonas más elevadas de la montaña (Poleo & Briceño, 2014; Sumalave, 2015).

A pesar de que los basidiocarpos de *Russula sp.* y de *Boletus sp.* tienen factores concentraciones similares para ^{40}K , hay una marcada diferencia respecto a la acumulación del ^{137}Cs , en *Russula sp.* y *Boletus sp.* Para Alonso-Díaz (2014), esto se debe a que el micelio de *Boletus sp.* se proyecta hacia las capas más profundas del suelo donde por su afinidad se localiza el Cs-137, no logrando ser diferenciado por el organismo debido a sus similitudes químicas con el K-40 (Alonso-Díaz, 2014; Iotti et al., 2018).

Ramaria sp., *Russula sp.*, *Sparassis spathulata* y *Boletus sp.* son capaces de capturar y almacenar K-40 presente en el suelo, produciendo los factores de bioacumulación de 4.45 para *Ramaria sp.*, 4.56 para *Russula sp.*, 5.38 para *Sparassis spathulata* y 4.61 para *Boletus sp.* Estos factores suponen una buena afinidad por parte de estos hongos para la absorción de ^{40}K . Con el siguiente orden de actividad específica decreciente para el ^{40}K , *Ramaria sp.* > *Boletus sp.* > *Russula sp.* > *Sparassis spathulata* (Tabla 1).

En los resultados obtenidos por Alonso-Díaz (2015), para el factor de transferencia están *Boletus reticulatus* con 1.62, *B. pinophilus* con 1.81, y *B. reticulatus* 0.94, sin embargo, este no evaluó las demás especies utilizadas en este estudio. Los niveles de bioacumulación encontrados en *Boletus sp.*

en este estudio, superan los mencionados por Alonso-Díaz (2015) para especies del mismo género. Los hongos descritos pueden ser utilizados como bioindicadores de la contaminación por radionucleidos y micorre- mediadores para contener o remover ^{40}K (Vukovic et al., 2020; Churakov & Zyryanova, 2022).

Conclusión

En los hongos analizados del Monumento Natural Loma Isabel de Torres no se identificaron ^{232}Th , ^{226}Ra y ^{210}Pb , pero sí se detectaron ^{137}Cs y ^{40}K . Este último apareció en concentraciones de hasta 907 Bq/kg peso seco, suponiendo una captación selectiva por parte de los hongos, haciendo de estos basidiomicetos con hábitat de crecimiento en suelos excelentes acumuladores de ^{40}K , presentando una capacidad de hasta 5.38 de bioacu- mulación respecto al suelo, permitiendo su uso como micorre- mediadores en captación y acumulación de ^{40}K y ^{137}Cs , además de bioindicadores en la vigilancia ambiental radiológica para estos radionucleidos, no así para ^{232}Th , ^{226}Ra y ^{210}Pb . Se recomienda continuar expandiendo el campo de estudio en vigilancia ambiental radiológica vinculada con hongos, con base en este estudio pionero en el área.

Agradecimientos

Al Instituto Superior Salomé Ureña y la Universidad ISA, por conceder la beca de estudio y permitir realizar la tesis que sirvió como base de este documento. A la Comisión de Energía de República Dominicana, por poner al servicio los equipos necesarios para completar el estudio. A la Escuela de Biología de la UASD, el Instituto de Microbiología y Parasito- logía (IMPA) y la Comisión Ambiental de la UASD, por facilitar colabora- ción y motivación en pro del desarrollo de este documento. A los maestros de la Escuela de Física de la UASD, José Ferreira, José Castillo, José Rubio Calcaño y Stalyn Núñez Hernández, por sus orientaciones, aclarar algunas dudas sobre vigilancia radiológica en materia ambiental y espectrometría. Al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de República Dominicana, por conceder los permisos ambientales para la realización del estudio. A los miembros del MIMARENA de Puerto Plata, por brindar

asistencia en el área protegida, especialmente a los guardaparques y encargado (Don Cheo).

Referencias

- Alonso, J. (2014). Radioactividad en hongos (I): revisión y primeros datos de Cesio en Galicia. *Tarrellos. Revista de la Federación Galega de Micología*, 16, 4-16. https://www.researchgate.net/publication/312022334_Radioactividad_en_hongos_I_revisión_y_primeros_datos_de_137Cesio_en_Galicia
- Alonso, J. & Rigueiro, A. (2020). *Catálogo da macromicobiota das montañas do Courel (Galicia, no España)*. Monografías do Ibader - serie cadernos da estación científica do Courel. Ibader. Universidade de Santiago de Compostela.
- Alonso-Díaz, J. (2015). Radioactividad en hongos (II): el radionucleido natural 40k (potasio-40) en Galicia. *Tarrellos. Revista de la Federación Galega de Micología*, 17, 4-12. https://www.researchgate.net/publication/313107929_Radioactividad_en_hongos_II_El_radionucleido_natural_40K_Potasio-40_en_Galicia
- Aquino, C., Almonte, B. M. A. & Pimentel, Y. (2021). Hongos del Monumento Natural Pico Diego de Ocampo: listado preliminar. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 4(2), 19-26.
- Budko, D. F., Demina, L. L., Travkina, A. V., Starodymova, D. P. & Alekseeva, T. N. (2022). The features of distribution of chemical elements, including heavy metals and Cs-137, in surface sediments of the Barents, Kara, Laptev and East Siberian Seas. *Minerals*, 12(3), 328.
- Calderón-Morales, B. R., García-Martínez, A., Pineda, P. & García-Tenorio, R. (2021). Valorization of Phosphogypsum in Cement-Based Materials: Limits and Potential in Eco-Efficient Construction. *Journal of building engineering*, 44, 102506.
- Cepero de García, M. C. (2012). *Biología de hongos*. Ediciones Unian-des-Universidad de los Andes.
- Cervantes-Gómez, R. G., Peñuelas-Rubio, O., Araujo-Benard, N., Fierro-Coronado, R. A., Trejo-Aguilar, D., Maldonado-Mendoza, I. E. &

- Cordero-Ramírez, J. D. (2021). Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares asociados a plantas voluntarias de maíz en suelos de transición: ecosistema natural-uso agrícola. *Scientia fungorum*, 51.
- Churakov, B. P. & Zyryanova, U. P. (2022). Macromicetos como bioindicadores de la contaminación por radionucleidos de los ecosistemas forestales. *Revista médica y biológica de Ulyanovsk*, (2), 148-157.
- Dighton, J. (2019). Fungi and Remediation of Radionuclide Pollution. En A. Tomasini & H. León-Santiesteban, *Fungal Bioremediation* (pp. 238-263). CRC Press.
- Giménez Forcada, E. (2018). *Introducción a la geología médica: El impacto de los procesos geológicos naturales en nuestra salud*. Catarata.
- González, E. R. & Bonzi, E. V. (2013). Determinación de k-40 en alimentos por espectrometría gamma con un detector de nai (tl) y simulaciones Monte Carlo. In *Anales Afa*, 23(1).
- González, N. R. B. & Rincón, J. M. R. (2021). Determinación de polonio-210 (210-Po) en alimentos y agua: una revisión (2014-2019). *Revista investigaciones y aplicaciones nucleares*, (5), 26-43.
- Haselwandter, K., & Berreck, M. (2020). Accumulation of Radionuclides in Fungi. En G. Winkelmann & D. R. Winge (Eds.), *Metal Ions in Fungi* (pp. 259-278). CRC Press.
- He, M. Q., Zhao, R. L., Liu, D. M., Denchev, T. T., Begerow, D., Yurkov, A. & Hyde, K. D. (2022). Species diversity of basidiomycota. *Fungal diversity*, 1-45.
- Heikal, M., Abu El-Ela, A. S., Shereif, A., Azer, M. K. & Masoud, A. E. (2022). Geochemical and spectrometric characteristics of natural radioactivity levels (238-u, 232-th, 40-k) of Monzo-Syenogranites from Wadi El-Nabi' area, Egyptian Nubian shield. *Arab journal of nuclear sciences and applications*.
- Iotti, M., Leonardi, P., Vitali, G. & Zambonelli, A. (2018). Effect of summer soil moisture and temperature on the vertical distribution of tuber magnatum mycelium in soil. *Biology and fertility of soils*, 54, 707-716.
- Jeong, S., Kim, J., Kim, Y., Joo, H., & Moon, J. (2021). *Correlation Analysis between Tritium Concentration in the Atmosphere and Wind Direction around Wolsong Nuclear Power Plant*. Transactions of the Korean Nuclear Society Virtual Spring Meeting, Corea del Sur.

- Lohaiza, F., Ayub, J. J., Velasco, H., Rizzotto, M., Di Gregorio, D., Huck, H. & Valladares, D. (2013). Depósito atmosférico de Berilio-7 en suelo. In *Anales Afa*, 23(1).
- Méndez, J., Pinto-Herrera, L. & Belalcázar-Cerón, L. (2018). Estudio de una intrusión de polvo sahariano en la atmósfera de Colombia. *Ingenierías*, 17(32).
- Muñoz Muñoz, J. G. (2022). *Análisis de la transferencia de radionucleidos naturales desde diversos suelos tipo al trigo. Influencia del uso de enmiendas basadas en subproductos NORM* [Tesis de doctorado, Universidad de Extremadura]. https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/14911/4/TDUEX_2022_Mu%C3%B1oz_Mu%C3%B1oz.pdf
- Oberwinkler, F. (2017). Yeasts in pucciniomycotina. *Mycological progress*, 16(9), 831-856.
- Osores, J. & González, S. (2014). Berilio-7 en Usnea antarctica du rietz de la estación científica Antártica Machu Picchu. *Informe Científico Tecnológico*, 13, 85-89.
- Pérez, O. & Fernández, B. (2019). Trazadores atmosféricos BE-7, K-40 Y PB-210 en la ciudad de Panamá. *Scientia*, 29(1), 44-67.
- Poleo, D. & Briceño, J. (2014). La Intrusión de Polvo del Sahara y del Sahel en la Capa Límite Atmosférica del Mar Caribe: episodio de agosto 2013. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 68-89.
- Pourimani, R. & Rahimi, S. (2016). Radiological assessment of the artificial and natural radionuclide concentrations of some species of wild fungi and nourished mushrooms. *Iranian Journal of Medical Physics*, 13(4), 269-275.
- Quiñónez-Martínez, M., Gómez-Flores, L. D. J., Garza-Ocañas, F., Valero-Galván, J. & Nájera-Medellín, J. A. (2023). Crecimiento de plantas de *Pinus arizonica* Engelm. Inoculadas con *Pisolithus tinctorius* y *Astraeus hygrometricus* en invernadero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 29(2), 99-118. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.08.053>
- Saniewski, M., Wietrzyk-Pełka, P., Zalewska, T., Olech, M. & Węgrzyn, M. H. (2020). Bryophytes and lichens as fallout originated radionuclide indicators in the Svalbard archipelago (High Arctic). *Polar Science*, 25.

- Schumann, D., Maugeri, E. A. & Dressler, R. (2020). Exotic Radionuclides - What are they good for? *Chimia*, 74(12), 932-938.
- Shaposhnikova, L. M. & Rachkova, N. G. (2022). The Role of Bryophytes in the Migration of Uranium, Radium-226, and Non-Radioactive Alkaline-Earth Elements in the Taiga Aquatic and Terrestrial Ecosystems. *Geochemistry International*, 60, 298-310.
- Sibello-Hernández, R. Y., Cozzella, M. L. & Guillén Arruebarrena, A. (2014). Aplicación de un método de separación química y de la espectrometría de masa para la determinación de radio-226 en aguas superficiales. *Revista Cubana de Química*, 26(3), 159-165.
- Sumalave, P. P. (2015). Modelos e instrumentos para estudios sobre espesor óptico de aerosoles y su relación con el forzamiento radiactivo terrestre. *Apuntes de ciencia & sociedad*, 5, 205-210.
- Vukovic, A., Schulz, W., Čamagajevac, I.Š., Gaur, A., Walther, C. & Gupta, D. K. (2020). Mycoremediation affects antioxidative status in winter rye plants grown at Chernobyl exclusion zone site in Ukraine. *Environmental science and pollution research*, 27, 25818-25827.
- Wollenberg, A. (2021). *Bioassociation and transport of selected radionuclides and their analogues by basidiomycetes* [Technische University Dresden (Germany). Bereich Mathematik und Naturwissenschaften].
- Xu, B., Li, S., Burnett, W. C., Zhao, S., Santos, I. R., Lian, E., Chen, X., & Yu, Z. (2022). Radium-226 in the global ocean as a tracer of thermohaline circulation: Synthesizing half a century of observations. *Earth-Science Reviews*, 226, 103956.