




Evaluación de la inocuidad radiológica de pescados y vegetales de consumo en Cienfuegos, Cuba

 Rita Y. Sibello Hernández,  Yusdiany Pereira Cuellar,  Héctor Alejandro Cartas Águila,
Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC). Carretera a Castillo de Jagua, 1,5 km Ciudad Nuclear. CP59350
Cienfuegos, Cuba.
rita@ceac.cu

Resumen

Es importante que los alimentos que se consuman sean inocuos, es decir, que no estén asociados a riesgos para la salud de los consumidores. En este sentido, desde el punto de vista radiológico, es necesario garantizar que la presencia de los radionúclidos en los alimentos sea tan baja como sea posible. Así, el objetivo principal de esta investigación fue determinar las concentraciones de los radionúclidos yodo - 131 (I-131); cesio - 134 (Cs-134), cesio - 137 (Cs - 137), americio - 241 (Am - 241), de origen artificial y del radio -226 (Ra - 226) y del potasio - 40 (K - 40), de origen natural, en las hortalizas monitoreadas en los organopónicos de la ciudad de Cienfuegos y en pescados y otros organismos marinos de consumo, provenientes de la bahía de Cienfuegos para evaluar su inocuidad. El método de medición utilizado fue la espectrometría gamma de bajo fondo. Se obtuvo como resultado que los niveles de los radionúclidos artificiales están por debajo del umbral de detección del método, lo que significa que en estos alimentos estos radionúclidos no están presentes y por lo tanto están libres de contaminación radiactiva. Con respecto a los radionúclidos naturales, sólo el K - 40 se encuentra presente en los alimentos y los valores determinados se corresponden con sus concentraciones naturales reportadas para los alimentos. Se concluyó que los alimentos monitoreados son inocuos desde el punto de vista radiológico. Estos resultados son una contribución del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos a la gestión de la inocuidad alimentaria en Cuba

Palabras clave: alimentos; seguridad; radiactividad; espectroscopia gamma; Cuba.

Evaluation of the radiological safety of fish and vegetables for consumption in Cienfuegos, Cuba

Abstract

It is important that the foods are safe, that is, they are not associated with risks to the health of consumers. In this sense, from a radiological point of view, it is necessary to guarantee that the presence of radionuclides in food is as low as possible. Thus, the main objective of this research was to determine the concentrations of the radionuclides: iodine - 131 (I-131); cesium - 134 (Cs-134), cesium - 137 (Cs - 137), americium - 241 (Am - 241), of artificial origin and radium -226 (Ra - 226) and potassium - 40 (K - 40), of natural origin, in the monitored vegetables in the organoponics from the Cienfuegos city and in fish and other marine organisms for consumption, from the Cienfuegos Bay to evaluate their safety. The method used for the measurement was low background gamma spectrometry. The result was that the levels of artificial radionuclides are below of the detection limit of the method, which means that these radionuclides are not present in these foods and therefore are free of radioactive contamination. With respect to natural radionuclides, only K - 40 is present in foods and the determined values correspond to their natural concentrations reported in foods. It was concluded that the monitored foods are safe from a radiological point of view. These results are a contribution of the Environmental Studies Center of Cienfuegos to the management of food safety in Cuba.

Key words: food; safety; radioactivity; gamma spectroscopy; Cuba.

Introducción

El Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), desde el 2016 y hasta finales de 2022, ejecutó por encargo estatal un servicio científico-técnico cuyo objetivo principal fue apoyar al gobierno de la provincia y del país en general, en la gestión de la actividad de la inocuidad alimentaria, que financió la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada (AENTA) de Cuba. A partir de 2023, este servicio se convirtió en un proyecto territorial (Acrónimo SEGAL), el cual tributa al programa de proyectos de ciencia y técnica Seguridad Alimentaria, de la Delegación de la Agricultura de Cienfuegos, encontrándose actualmente en ejecución y para lo cual el CEAC pone a disposición sus capacidades analíticas y su capital humano. En este sentido, una de las metas ha sido determinar las concentraciones de radionúclidos en los alimentos y evaluar la inocuidad desde el punto de vista radiológico.

El ser humano está expuesto, además de las radiaciones ionizantes de origen natural, a las de origen artificial y a pesar de estas tener múltiples aplicaciones de extraordinaria utilidad, pueden implicar graves daños a la salud. Entre las radiaciones de origen natural están las originadas por los rayos cósmicos y por la presencia en el ambiente de forma natural, de sustancias radiactivas tales como el uranio - 238 (U-238), el radio - 226 (Ra-226) y el torio - 232 (Th - 232) (con sus productos descendientes) y el potasio - 40 (K-40). La presencia de contaminantes radiactivos artificiales en nuestro país, es de origen global, provocadas principalmente por los ensayos nucleares a cielo abierto que tuvieron lugar en el siglo pasado y que aún persisten por sus largos períodos de semidesintegración. También los accidentes nucleares transfronterizos pudieran provocar la llegada a nuestro país de radionúclidos artificiales. En este contexto, en enero de 2001, entró en vigor en Cuba, el Programa de Vigilancia Radiológica de Alimentos y Agua [1]; [2], el cual tributa al Programa Nacional de Vigilancia de Contaminantes en Alimentos y Agua implementado desde 1998.

En lo concerniente a los alimentos, son aplicables dos de los principios básicos de la protección radiológica: el principio de Optimización o de ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) “tan bajo como razonablemente sea posible” y el principio de Limitación de Dosis, las dosis de radiación recibidas por las personas no deben superar los límites establecidos por la legislación vigente [3]. Esto significa que es necesario mantener el control de los niveles de radiactividad presentes en los alimentos y así garantizar que los alimentos que se consumen sean inocuos desde el punto de vista radiactivo, es decir que la presencia de radionúclidos sea tan baja como sea posible y no se superen los límites de dosis establecidos. Es por eso que muestras representativas de los alimentos se deben analizar radiológicamente en laboratorios debidamente equipados. En este caso, la espectrometría gamma de bajo fondo, constituye una excelente herramienta, es una técnica no destructiva que permite determinar los niveles existentes de los ra-

dionúclidos emisores gamma. Por otra parte, son estos tipos de emisores, los que con mayor probabilidad pueden detectarse en caso de accidentes transfronterizos [2].

En este trabajo se muestran los resultados obtenidos de las determinaciones de las concentraciones de actividad de los radionúclidos yodo - 131 (I-131); cesio - 134 (Cs-134), cesio - 137 (Cs - 137), americio - 241 (Am - 241), de origen artificial y del radio -226 (Ra - 226) y del potasio - 40 (K - 40), de origen natural, en las hortalizas monitoreadas en los organopónicos de la ciudad de Cienfuegos, y en pescados y otros organismos marinos de consumo provenientes de la bahía de Cienfuegos, ambos tipos de alimentos de preferencia para los cienfuegueros y monitoreados en el marco del proyecto SEGAL.

Estos resultados son una contribución a la base de datos de la radiactividad existente en el medio ambiente de Cuba y complementan el trabajo realizado por la Red Nacional de Vigilancia Radiológica Ambiental y al Programa de Vigilancia Radiológica de Alimentos. La evaluación de la inocuidad de estos alimentos se realizó teniendo en cuenta las Series de Seguridad del OIEA [3] y teniendo en consideración los niveles de referencia de radionúclidos en alimentos vigentes en Cuba, establecidos en la Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos [4].

Todos los alimentos analizados son inocuos desde el punto de vista radiológico, las concentraciones de actividad por debajo del umbral de detección para los radionúclidos artificiales indican que los alimentos están libres de contaminación radiactiva y para el caso de los radionúclidos naturales, las actividades por debajo del límite de detección para el Ra-226 es indicativo que los alimentos no lo concentran y para el K-40, las concentraciones determinadas están en correspondencia con las reportadas para este isótopo [5], [6], [7]. Para el Ra-226 y para el K-40 no existen límites de concentración, por ser radionúclidos naturales.

Materiales y métodos

Muestreo de vegetales

La toma de muestras de vegetales se realizó en diecisiete organopónicos identificados en la ciudad de Cienfuegos. En la figura 1 se muestra un mapa con la ubicación de los organopónicos monitoreados. De cada tipo de hortaliza en cada organopónico, se tomaron muestras compuestas de aproximadamente 2 kg de peso fresco, formada por muestras simples tomadas al azar de los distintos canteros.

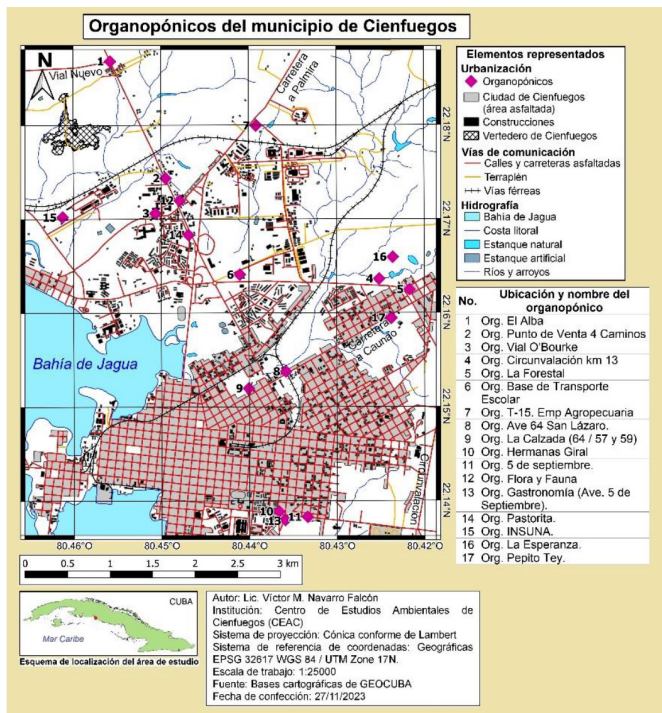


Figura 1. Mapa con la ubicación de los organopónicos monitoreados de la ciudad de Cienfuegos

Muestreo de pescados

La captura de pescados se realizó en cinco sitios de la Bahía de Cienfuegos. En el mapa de la figura 2 se observan los sitios donde se realizó la pesca.



Figura 2. Mapa con los sitios de pesca en el marco de esta investigación. (1) Calicito, (2) Junco Sur, (3) Área frente a Fertilizantes, (4) Centro Lóbulo Norte y (5) Cayo Ocampo, en el Lóbulo sur.

Preparación de las muestras

Las muestras de vegetales se limpiaron, eliminando todo aquello que no formaba parte de ellas (terrones, piedras y otros materiales ajenos a las muestras). En el caso de los pescados, se filetearon, desechando la parte no comestible. Todas las muestras se pesaron y se anotó el peso fresco (PF) de cada una. Posteriormente, se secaron a 100 °C y se registró el peso seco (PS). Seguidamente, las muestras se molieron en un molino de ágata y se tamizaron por una malla 500 mm, las fracciones más finas se homogenizaron y se envasaron en recipientes de polietileno hasta un volumen de 70 mL, que representó una masa promedio de 54 g.

Medición espectrométrica de las muestras

La concentración de actividad de los radionúclidos emisores gamma K-40, I-131, Cs-134, Cs-137, Ra-226 (en equilibrio con Pb-214) y Am-241 se determinó por espectrometría gamma de alta resolución y bajo fondo con detector de alta pureza de germanio (HPGe) coaxial NGC 3019 de 31,5 % de eficiencia relativa y 1,84 keV de resolución para 1333 keV del Co-60. El software de trabajo es el Winner 6.0. La competencia del servicio de Mediciones Ambientales y de Muestras mediante el ensayo Espectrometría Gamma posee el reconocimiento por parte del Centro Nacional de Seguridad Nuclear desde el 30 de enero de 2015, el cual se registra con el número de reconocimiento CF14-S2(001)15.

Control de calidad de los resultados

Medición de los parámetros de control del sistema espectrométrico gamma

Se controló la estabilidad del funcionamiento del sistema espectrométrico gamma semanalmente, midiendo valores de energía, resolución y eficiencia para fuentes puntuales de Am-241 (59,54 keV), Cs-137 (661,66 keV) y Co-60 (1332,50 keV) y la tasa de conteos del fondo para todo el intervalo analítico. Los valores se llevaron a un gráfico de control y el sistema resultó estable durante el proceso de medición de las muestras.

Medición de Materiales de Referencia Certificados

Se determinó la concentración de actividades en los Materiales de Referencia Certificados (MRC) IAEA-373 (Pasto) e IAEA-330 (Espinaca) y en muestras del ensayo de aptitud IAEA-TEL-2014-04, convocado por la Agencia Internacional de la Energía Atómica para la red internacional de laboratorios dedicados a las mediciones de la radiactividad ambiental (ALMERA). Se compararon los valores medidos con los valores certificados y como conclusión se obtuvo que no existen diferencias significativas.

Resultados y discusión

En la tabla 1 se presentan los resultados de los promedios de las concentraciones de los radionúclidos emisores gamma medidos en los vegetales.

Tabla 1. Concentraciones de actividad de los radionúclidos en los vegetales cosechados en organopónicos de Cienfuegos.

Vegetal	PS/PF	K-40 (Bqkg ⁻¹)	I-131 (Bqkg ⁻¹)	Cs-134 (Bqkg ⁻¹)	Cs-137 (Bqkg ⁻¹)	Ra-226 (Bqkg ⁻¹)	Am-241 (Bqkg ⁻¹)
Acelga (<i>Beta vulgaris</i>)	0,11	1353 ± 85	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Ají (<i>Capsicum annum</i>)	0,078	782 ± 83	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Ajo Puerro (<i>Allium ampeloprasum</i>)	0,10	1275 ± 42	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Berenjena (<i>Solanum melongena</i>)	0,086	1052 ± 158	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Cebollino (<i>Allium schoenoprasum</i>)	0,12	849 ± 68	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Culantro (<i>Coriandrum sativum</i>)	0,036	872 ± 151	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Espinaca (<i>Spinacia oleracea</i>)	0,077	2960 ± 178	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Habichuela (<i>Phaseolus coccineus</i>)	0,13	710 ± 47	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	0,073	1911 ± 46	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Pepino (<i>Cucumis sativus</i>)	0,031	1357 ± 179	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Quimbombó (<i>Abelmoschus esculentus</i>)	0,11	1223 ± 103	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Remolacha (<i>Beta vulgaris</i>)	0,10	720 ± 58	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	0,069	1224 ± 92	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Zanahoria (<i>Daucus carota</i>)	0,12	895 ± 52	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Rábano (<i>Raphanus sativus</i>)	0,13	1393 ± 155	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48

Datos técnicos:

1. La incertidumbre (\pm) es expandida y se determinó multiplicando la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura $k=2$, que define un intervalo con nivel de confianza de aproximadamente 95%.
2. La fecha de adquisición de los espectros, de análisis de los espectros y determinación de valores de concentración de actividad y su incertidumbre expandida fue en el período 27 de marzo hasta el 3 de mayo de 2023.
3. Los valores <, se corresponden a concentraciones por debajo del Límite de Detección del Método.

En la Tabla 2 se ofrecen los resultados de los promedios de las concentraciones de los radionúclidos emisores gamma medidos en los pescados y otros organismos marinos de consumo.

Tabla 2. Concentraciones de radionúclidos en pescados y otros organismos marinos de consumo provenientes de la bahía de Cienfuegos.

Pescados y organismos marinos de consumo	PS/PF	K-40 (Bqkg ⁻¹)	I-131 (Bqkg ⁻¹)	Cs-134 (Bqkg ⁻¹)	Cs-137 (Bqkg ⁻¹)	Ra-226 (Bqkg ⁻¹)	Am-241 (Bqkg ⁻¹)
Jaiba (<i>Callinectes sapidus</i>)	0,15	369 ± 38	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Chopa espina (<i>Lagodon rhomboides</i>)	0,25	381 ± 65	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Mojarra de ley (<i>Eucinostomus gula</i>)	0,20	528 ± 47	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Camarón blanco (<i>Penaeus schmitti</i>)	0,20	255 ± 28	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Corvina (<i>Micropogonias furnieri</i>)	0,19	381 ± 65	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Jorobado (<i>Selene vomer</i>)	0,13	348 ± 130	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Biajaiba (<i>Lutjanus synagris</i>)	0,20	543 ± 50	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Lisa (<i>Mugil cephalus</i>)	0,27	258 ± 56	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Casabillo (<i>Chloroscombrus chrysurus</i>)	0,39	255 ± 28	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Jiguagua (<i>Caranx hippos</i>)	0,13	258 ± 56	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Macabí (<i>Albula vulpes</i>)	0,23	650 ± 85	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Ronco amarillo (<i>Haemulon sciurus</i>)	0,20	441 ± 88	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48
Bocón (<i>Cetengraulis edentulus</i>)	0,25	336 ± 31	<0,61	<0,53	<0,64	<1,5	<0,48

Datos técnicos:

1. La incertidumbre (\pm) es expandida y se determinó multiplicando la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura $k=2$, que define un intervalo con nivel de confianza de aproximadamente 95%.
2. La fecha de adquisición de los espectros, de análisis de los espectros y determinación de valores de concentración de actividad y su incertidumbre expandida fue en el período noviembre a diciembre de 2021.
3. Los valores <, se corresponden a concentraciones por debajo del Límite de Detección del Método.

Como se puede apreciar en las tablas anteriores (1 y 2), las concentraciones de los radionúclidos antropogénicos (I - 131, Cs - 134; Cs - 137, Am - 241) están por debajo del Límite de Detección del Método, lo que demuestra que los alimentos monitoreados están libres de este tipo de contaminantes. Estos valores se corresponden con las concentraciones de origen global presentes en nuestra posición geográfica [6, 7].

En todos los alimentos monitoreados (hortalizas, pescados y otros organismos marinos de consumo), los valores medidos de las actividades de los radionúclidos artificiales emisores gamma están muy por debajo de los nive-

les de referencia para estos radionúclidos establecidos para los alimentos en la normativa cubana NC 1207:17, lo que evidencia que estos alimentos deben considerarse inocuos en relación con estos radionúclidos.

Con respecto al K-40 y al Ra - 226, son de origen natural y no existen por lo tanto limitaciones para las concentraciones en los alimentos. Los valores encontrados de K - 40 en esta investigación se corresponden con las concentraciones de este radionúclido reportadas en los alimentos y no significan un peligro para la salud porque el organismo humano regula la concentración interna de este elemento [5]. A partir de las concentraciones de K-40 es posible determinar las concentraciones máxicas de este nutriente, teniendo en cuenta que 31 Bq de actividad de K-40 corresponden a 1 g de potasio natural, siendo entonces la espectrometría gamma una técnica expedita para determinar las concentraciones de potasio en los alimentos. Las concentraciones de actividad de Ra - 226 en los alimentos monitoreados, estuvieron por debajo del umbral de detección, lo que evidencia que estos alimentos no concentran a este radionúclido.

Los valores de actividad determinados para los radionúclidos emisores gamma medidos en los alimentos monitoreados enriquecen la base de datos existentes y demuestran que los alimentos monitoreados están libres de contaminación radiactiva y son inocuos radiológicamente.

Conclusiones

- Las concentraciones de radionúclidos (Ra -226, K-40, I-131, Cs -134; Cs -137 y Am - 241) determinadas en organismos marinos de consumo provenientes de la bahía de Cienfuegos, monitoreados en diciembre de 2021 y en las hortalizas cosechadas en organopónicos de la ciudad de Cienfuegos en el mes de febrero de 2023, enriquecen las bases de datos existentes relacionadas con la radiactividad en los productos alimenticios.
- Los valores de las actividades presentes en los alimentos monitoreados están muy por debajo de los valores de referencia establecidos en la normativa cubana, lo que demuestra la inocuidad de estos alimentos desde el punto de vista radiológico.

Referencias

- [1]. Vigilancia Radiológica de Alimentos y Agua. La Habana, 2002. ISBN 959-73614-7.
- [2]. FERNÁNDEZ I, CAPOTE E, CARRAZANA J, MARTÍNEZ N, DERIVET M. Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones: 20 años al servicio de la inocuidad alimentaria. Nucleus. 2022; (70): 6-9.
- [3]. International Atomic Energy Agency (IAEA). International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series 115. Vienna: IAEA, 1996.
- [4]. Norma Cubana. Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos NC 1205: 2017.
- [5]. United Nations. Exposición a fuentes de radiación natural, pp. 125 - 126. In: Sources and effects of ionizing radiation. Volume I. ISBN 92-1-142238-8. United States, 2000.
- [6]. SIBELLO R, ALONSO C, DIAZ M, CARTAS H. Caracterización radiactiva de los suelos y productos agrícolas de la región Centro Sur de Cuba. Nucleus. 2002; (31): 28-34.
- [7]. LORÍA L, JIMÉNEZ R, BADILLA M. Evaluación Radiológica de Alimentos y de Agua de Consumo Humano en Costa Rica. Agro-nomía Costarricense. 2007; 31(1): 53-59.

Recibido: 18 de septiembre de 2024

Aceptado: 31 de octubre de 2024

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en la realización, ni la comunicación del presente trabajo.

CRedit / Conceptualización: Rita Y. Sibello Hernández. **Curación de datos:** Rita Y. Sibello Hernández, Yusdiany Pereira Cuellar, Héctor A. Cartas Águila. **Análisis formal:** Rita Y. Sibello Hernández. **Supervisión:** Rita Y. Sibello Hernández. **Validación:** Rita Y. Sibello Hernández. **Investigación:** Rita Y. Sibello Hernández. **Metodología:** Rita Y. Sibello Hernández Rita Y. Sibello Hernández. **Escritura – borrador original:** Rita Y. Sibello Hernández. **Redacción – revisión y edición:** Rita Y. Sibello Hernández, Yusdiany Pereira Cuellar, Héctor A. Cartas Águila.