



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

***ESTUDIO Y ANÁLISIS DE CONTAMINANTES RADIOLÓGICOS POR
ESPECTROMETRÍA DE RADIACIÓN GAMMA EN DIVERSAS
ESPECIES DE CAMARÓN***

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICA DE ALIMENTOS**

PRESENTA

GARCÍA CERECEDO MARIEL GUADALUPE

CIUDAD DE MÉXICO

AÑO 2018





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor: Juan Diego Ortiz Palma Pérez**
VOCAL: **Profesor: Inés Miranda Martínez**
SECRETARIO: **Profesor: Guillermo Cirano Espinosa García**
1er. SUPLENTE: **Profesor: Esmeralda Paz Lemus**
2do. SUPLENTE: **Profesor: Andrea Sachi Diaz Villaseñor**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: INSTITUTO DE FÍSICA,
UNAM. PROYECTO DE APLICACIONES DE LA DOSIMETRÍA. EDIFICIO VAN
DE GRAFF. LAB. A-23**

ASESOR DEL TEMA

DR. GUILLERMO C. ESPINOSA GARCÍA

SUSTENTANTE

GARCÍA CERECEDO MARIEL GUADALUPE

Índice

Índice de Figuras.....	i
Índice de Tablas.....	iii
Introducción.....	1
Objetivos.....	2
Capítulo 1. Aspectos generales.....	3
1.1 Antecedentes generales.....	3
1.2 Producción del Camarón.....	5
1.3 Valor comercial.....	9
1.4 Importancia nutrimental.....	10
Capítulo 2. Aspectos fundamentales de la física.....	13
2.1 Radiaciones ionizantes.....	13
2.1.1 Radiactividad.....	13
2.1.2 Núclidos.....	14
2.1.3 Decaimiento radiactivo.....	15
2.1.4 Interacción con la materia.....	20
2.2 Métodos de análisis.....	22
2.2.1 Detector de estado sólido o semiconductores.....	22
2.3 Alimentos y contaminación radiológica.....	24
2.4 Efecto de las radiaciones ionizantes en la salud.....	26
2.5 Normatividad vigente.....	28
2.5.1 Normatividad internacional.....	28
2.5.2 Normatividad Nacional.....	29
2.5.3 Certificado de exportación.....	30

2.5.4	Certificado de laboratorio.....	30
2.5.5	Certificado de las autoridades competentes.....	31
Capítulo 3. Metodología		32
3.1	Diagrama de flujo.....	32
3.2	Selección de muestras.....	33
3.3	Elección de estándares.....	34
3.4	Calibración del equipo (detector de Germanio Hiperpuro).....	35
3.5	Determinación del espectro de fondo.....	36
3.6	Cantidad de muestra a analizar (normalización).....	37
3.7	Preparación de la muestra.....	38
3.8	Obtención del espectro de las muestras.....	39
3.9	Análisis de los fotopicos.....	39
Capítulo 4. Instrumentación.....		44
4.1	Fundamento.....	44
4.2	Contenedor marinelli.....	45
4.2.1	Características principales del marinelli.....	45
4.3	Dewer.....	46
4.4	Blindaje de plomo.....	46
4.5	Fuente de poder y alto voltaje.....	46
4.6	Detector de germanio hiperpuro.....	47
4.7	Preamplificador.....	48
4.8	Amplificador.....	48
4.9	Multicanal (MCA).....	48
4.10	Software.....	49

Capítulo 5. Resultados y análisis	51
5.1 Fondo.....	51
5.2 Espectro de calibración	52
5.3 Resultados y análisis de las muestras	53
5.3.1 Camarón importado.....	54
5.3.2 Camarón nacional.....	55
5.3.3 Camarón café	56
5.3.4 Camarón gris	57
5.3.5 Camarón pacotilla.....	58
5.3.6 Camarón Macuil.....	59
5.3.7 Camarón cristal.....	60
5.3.8 Camarón acuícola.....	61
5.3.9 Exoesqueleto de camarón	62
Conclusiones.....	65
Bibliografía	67
Apéndice 1. Glosario	69
Apéndice 2. Unidades	72
Apéndice 3. Reglamento UE	73
Apéndice 4. Certificado de exportación de productos agrícolas.....	76
Apéndice 5. Certificado de laboratorio	77
Apéndice 6. Certificado de la autoridad competente	78

Índice de Figuras

Figura 1. Anatomía del camarón Fuente: Bioenciclopedia, 2016	5
Figura 2. Producción de camarón en la Región I	6
Figura 3. Producción de camarón en la Región II.	7
Figura 4. Producción de camarón en la Región III.	7
Figura 5. Producción de camarón en la Región IV.	8
Figura 6: Principales destinos de exportación de camarón en el año 2014.	9
Figura 7: Tabla nutrimental del camarón.....	11
Figura 8: Ejemplo de Isótopo de Litio	14
Figura 9: Ejemplo de isobaros de Calcio y Argón.....	14
Figura 10: Ejemplo de Isótono de Magnesio y Sodio	15
Figura 11: Cadena radiactiva del ^{238}U	17
Figura 12: Cadena radiactiva del ^{235}U	18
Figura 13: Cadena radiactiva del ^{232}Th	19
Figura 14: Efecto fotoeléctrico.....	21
Figura 15: Efecto Compton	21
Figura 16: Producción de pares	22
Figura 17. Barrera superficial de un detector	24
Figura 18: Fuentes de radiación natural y artificial.	26
Figura 19: Diagrama de flujo de la metodología empleada	32
Figura 20: Tipos de variables	34
Figura 21: Espectro de calibración	35
Figura 22: Contribuyentes del espectro de fondo.....	36
Figura 23: Espectro de una muestra aleatoria.....	40
Figura 24: Fotopico de ^{40}K a calibrar en una energía de 1463-37 keV.....	40
Figura 25: Destrucción de la calibración predeterminada por el software	40

Figura 26: Calibración a 1460 keV sobre fotopico de ^{40}K	41
Figura 27: Calibración a 0.00 keV	41
Figura 28: Espectro con detección de radioisótopo de referencia ^{40}K ya calibrado	
Figura 29: Centroide del fotopico de ^{40}K	41
Figura 30: Información del fotopico de ^{40}K	42
Figura 31: Marinelli.....	45
Figura 32: Dosificación de nitrógeno líquido.....	46
Figura 33: Dewar.....	46
Figura 34: Blindaje de plomo.....	46
Figura 35: Fuente de poder y alto voltaje	47
Figura 36: Detector de germanio hiperpuro.....	47
Figura 37: Partes de un fotopico	50

Índice de Tablas

Tabla 1: Cadenas radiactivas de isotopos radiogénicos	16
Tabla 2: Radioisótopos artificiales relevantes en la cadena alimentaria	25
Tabla 3. Especificaciones de las muestras.	33
Tabla 4. Especificaciones de las muestras con % de normalización.....	38
Tabla 5. Datos obtenidos del espectro de fondo	51
Tabla 6. Energías asociadas al espectro de calibración con las energías estandarizadas de radiación gamma.....	52
Tabla 7. Camarón importado.....	54
Tabla 8. Camarón nacional	55
Tabla 9. Camarón café.....	56
Tabla 10. Camarón gris.....	57
Tabla 11. Camarón pacotilla.....	58
Tabla 12. Camarón Macuil	59
Tabla 13. Camarón cristal	60
Tabla 14. Camarón acuícola	61
Tabla 15. Exoesqueleto de camarón.....	62

Introducción

El consumo de camarón a nivel mundial se encuentra entre los 10 primeros lugares (El productor, 2015); sin embargo, a nivel nacional su consumo no es muy elevado. No obstante, México ocupa a nivel internacional el décimo lugar en producción de camarón por captura y séptimo en producción por acuicultura.

Por lo tanto, en la presente tesis se mencionará la utilización de un método analítico para la detección de compuestos radiactivos en alimentos (método nuclear conocido como espectrometría de radiación gamma). El cual será aplicado al camarón debido a que se considera un producto marino con probabilidad de contaminación por su lugar de origen. Se utilizaron diversas especies considerando que el tipo de origen influye directamente en el tipo de compuestos radioactivos (naturales y artificiales) que se pueden encontrar en el producto, así mismo se propone dicha técnica como aplicación para la certificación en alimentos radiológicos seguros.

Esta tesis se compone por cinco capítulos:

- Capítulo 1: Se aborda la justificación que sustenta la presente tesis hablando solo de aspectos generales en alimentos.
- Capítulo 2: Se hace mención de algunos aspectos básicos de la física con el fin de que la presente investigación sea más comprensible y sustentable.
- Capítulo 3. Se describe la metodología empleada paso a paso, así como, las medidas consideradas para llevar a cabo la experimentación, la instrumentación y el protocolo empleado para la técnica
- Capítulo 4. Describe la instrumentación utilizada para llevar a cabo el análisis correspondiente a cada una de las muestras.
- Capítulo 5: Describe a detalle los resultados y el análisis de cada muestra realizada para poder culminar con conclusiones claras y concisas.

Objetivos

a. Generales

Detectar la presencia o ausencia de radioisótopos (naturales o artificiales) en diversas especies de camarón por medio de la técnica de espectrometría de radiación gamma.

b. Particulares

- Proponer la técnica de espectrometría de radiación gamma como método para cuantificar la presencia de radioisótopos en alimentos, así como la aplicación de este método para la certificación en alimentos radiológicos seguros.
- Evaluar la importancia y análisis de la contaminación radiológica marina en alimentos.
- Diferenciar de manera efectiva por medio de la espectrometría de radiación gamma los compuestos radiológicos presentes en el medio ambiente, es decir, naturales o artificiales.
- Analizar la importancia de las radiaciones ionizantes en los alimentos para su consumo y cómo influye de manera biológica en el organismo.

Capítulo 1. Aspectos generales.

1.1 *Antecedentes generales.*

En la actualidad las radiaciones ionizantes son un tema que muchos conocen pero que en realidad pocos saben sus fundamentos, ignoran el hecho de que radiación no es sinónimo de cáncer o que incluso las radiaciones ayudan a la población en diversos campos (alimentos, salud, desarrollo, etc.). Por otra parte, es bien sabido que las radiaciones provocadas por accidentes nucleares han cobrado la vida de muchos seres vivos a lo largo de la historia, es por esta razón que el estudio de las radiaciones es tan importante además Muchos autores mencionan que las radiaciones ionizantes son esenciales para la vida y todo lo que conocemos, ya que vivimos inmersos en un universo de ellas.

Una de las principales preocupaciones para la población acerca de las radiaciones es su presencia en los alimentos. Sus mitos y realidades han demostrado que son preponderantes para el consumo de algunos productos; Por lo cual, investigadores se han dado a la tarea de diseñar técnicas y protocolos que ayudan a demostrar la inocuidad en los alimentos, con el objetivo de establecer estándares de certificación para que estos productos puedan ser importados y/o exportados alrededor del mundo, tomando en consideración las necesidades de la industria y los consumidores.

La elección de pruebas analíticas para la detección de compuestos radioactivos puede ser variada, existiendo diversas posibilidades de utilización. Sin embargo, hoy en día el uso de estos métodos nucleares es más aceptado y reconocido por sus características de simplicidad, eficiencia, exactitud y costo, colocándolos, así como métodos propuestos por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).

Después de los accidentes nucleares ocurridos en 1979 en la isla Three Mile en Pensilvania (Estados Unidos), Chernobyl (Ucrania), en el año de 1986 y recientemente en el año 2011 en Fukushima (Japón), las autoridades

internacionales reforzaron sus estándares de importación de productos alimenticios para garantizar la ausencia de radiación en los mismos, ya que en caso de un accidente nuclear una de las primeras medidas protocolarias internacionales es controlar los alimentos y el agua, tanto para la exportación como para el consumo dentro del territorio (*Espinosa, 2013*).

Es importante mencionar que los alimentos principalmente suelen contaminarse radiológicamente mediante la absorción de agua, por lo que, los productos marinos están en el lugar número uno de la lista sobre este tipo de contaminación. Internacionalmente, el OIEA (Organización Internacional de Energía Atómica) y la FAO se han dado a la tarea de establecer recomendaciones internacionales y normas para obtener el reconocimiento de “Alimentos Seguros”.

Por otro lado, el término “camarón” se aplica a varias especies de crustáceos similares a los cangrejos y las langostas, ya que su anatomía es muy parecida a la de las langostas. Tienen un cuerpo dividido en 3 partes: cefalotórax, abdomen y telson; esta última parte es una cola en forma de aleta que les sirve para nadar. La forma de su cuerpo semitransparente es estrecha y aplanada lateralmente. Poseen dos pares de antenas sensoriales y fuertes maxilas en el cefalotórax. Las antenas suelen ser largas y pueden superar la longitud del cuerpo (Figura 1).

Todos los camarones cuentan con un caparazón articulado de quitina, una especie de cáscara gruesa que protege las branquias a través de las cuales obtienen oxígeno. Su exoesqueleto relativamente duro y resistente protege su suave carne.

Como todos los decápodos, cuentan con 10 patas especializadas en la realización de diferentes funciones.

Los camarones son pequeños, aunque su tamaño puede ser variable entre las especies, desde unos milímetros hasta 20 centímetros de longitud. Pueden mostrar diversos colores en su forma viva como morado o rosado, o bien, ser blancos o semitransparentes (*Bioenciclopedia, 2016*).

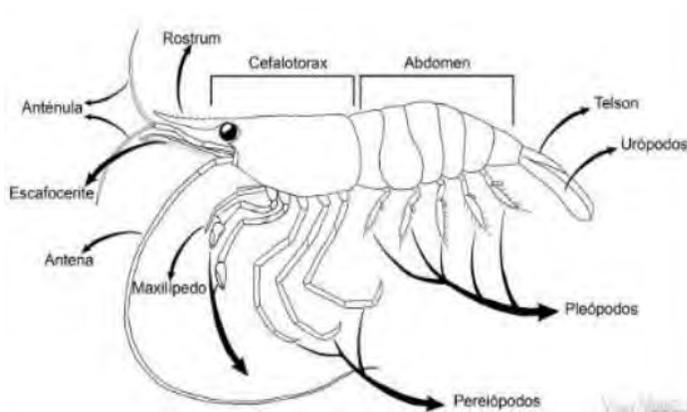


Figura 1. Anatomía del camarón

Fuente: Bioenciclopedia, 2016

Según la región, los camarones pueden habitar aguas saladas, salobres y dulces en costas, estuarios, ríos y lagos, entre otros. Están ampliamente distribuidos al rededor del mundo, en todos los océanos, desde el ecuador hasta las regiones polares y tienden a vivir en aguas poco o moderadamente profundas.

1.2 Producción del Camarón

En México la captura de camarón es una de las actividades pesqueras con mayor importancia. Por su volumen se encuentra posicionado en el segundo lugar de la producción pesquera en México. Sin embargo, por su valor económico, se posiciona en el primer lugar. El camarón se produce tanto por captura como por acuicultura, y la tasa media de crecimiento anual de la producción en los últimos años ha sido de 6.24%, lo cual se debe al crecimiento de la actividad de dicha especie. Para la captura de las especies de alta mar se utiliza un barco camaronero que es arrastrero. Actualmente, este tipo de flota es la más grande, siendo la pesquería del camarón la más estable nacional e internacionalmente.

La exportación nacional, se encuentra en el primer lugar de las especies pesqueras, siendo EUA, Japón y Francia sus principales destinos (*Global Biotech Consulting group, 2016*).

El cultivo de camarón a gran escala empezó en México durante los últimos años de la década de 80, la cual estaba basada en el cultivo del camarón azul del Pacífico, (*Litopenaeus stylirostris*). Sin embargo, entre 1998-1999, las granjas se vieron gravemente afectadas por una posible mutación o la nueva cepa del Síndrome del

Virus Taura (TSV) (responsable de que el camarón mostrara anorexia, letargo, nado errático, opacidad en la musculatura, cutículas suaves y cola roja) (*Manual Acuático de la OIE 2012*), Esto provocó que la industria camaronicultura buscara alternativas.

Existen 4 diferentes regiones de pesquería en México, estas pueden tener dos tipos de actividades: pesca en vida libre o acuicultura. La producción de cada una de ellas dependerá de la zona en la que se encuentre.

La pesquería en vida libre de la Región I (Baja California Norte, Baja California Sur, Sinaloa, Sonora y Nayarit) se encuentra en deterioro, por lo cual el 66% de la producción de camarón en esta región proviene de la acuicultura (Figura 2).



Figura 2. Producción de camarón en la Región I

Fuente: Global Biotech Consulting group adaptación Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2011, SAGARPA

En la Región II, donde se incluyen los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas se considera que está al máximo sustentable. En esta región la mayor contribución a la producción de camarón está dada por los estados de Chiapas, Oaxaca y Colima (Figura 3).



Figura 3. Producción de camarón en la Región II.

Fuente: Global Biotech Consulting group adaptación Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2011, SAGARPA.

Para la Región III, la producción se da principalmente en el estado de Tamaulipas y la pesquería se sustenta básicamente en el camarón café. Desde el punto de vista social y económico la pesca se cataloga como actividad primaria en este estado. comparando con la región del golfo, la producción en esta parte del país es superior de manera significativa (Figura 4).



Figura 4. Producción de camarón en la Región III.

Fuente: Global Biotech Consulting group adaptación Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2011, SAGARPA

Finalmente, la región IV comprende los estados de Tabasco, Yucatán, Campeche y Quintana Roo, ésta contribuye con el 31% de la captura total de camarón (captura

y acuicultura). Dentro de esta región, Campeche es el estado con mayor producción de estos 4 organismos (Figura 5).

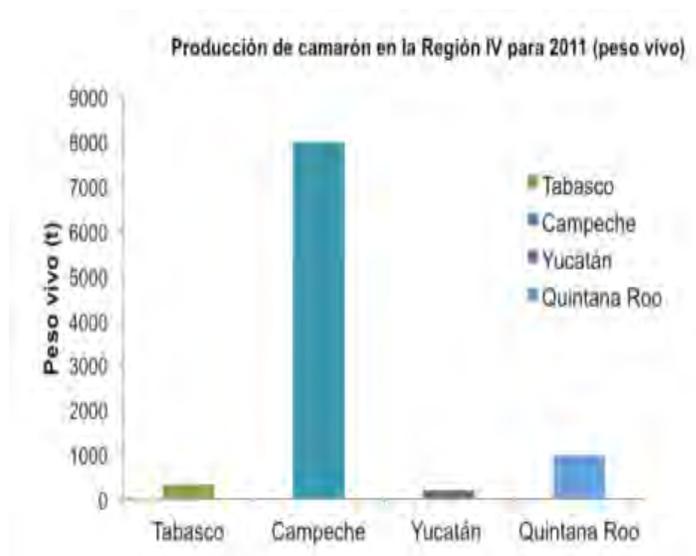


Figura 5. Producción de camarón en la Región IV.

Fuente: Global Biotech Consulting group adaptación Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2011, SAGARPA.

El camarón mexicano cuenta con estrictas normas de calidad, aprobadas por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) de los Estados Unidos, por ejemplo, el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP por sus siglas en inglés), logrando que el producto se considere de alta calidad al mantener la inocuidad durante todo el proceso.

El procesamiento del camarón puede incluir cualquier combinación de lo siguiente: descascarar, descabezar, retirarles las venas, pesar, separar, empacar y congelar. En términos generales los camarones se pueden dividir en preparados y no preparados y estos a su vez se dividen en frescos y congelados. Casi todos los camarones que se venden son descabezados con cáscara y el mayor volumen es congelado.

En la práctica no se distingue entre el camarón que proviene de altamar, las costas o la acuicultura, el tamaño del producto es el factor determinante. Los tamaños más grandes son procesados y la mayoría exportados, mientras que el camarón más pequeño se consume principalmente en el mercado doméstico. Las tallas pequeñas

de camarón, que reciben el nombre de pacotilla, son aprovechadas para el enlatado y el secado.

Cabe mencionar que Estados Unidos es el principal país importador de camarón en el mundo, con una tasa media del 4.7% de crecimiento anual de 2002 a 2008.

Por otra parte, la exportación del camarón en México tiene como principales destinos Estados Unidos y Vietnam (Figura 6).

**PRINCIPAL DESTINO DE LAS EXPORTACIONES DE CAMARON
TOTAL 2014**

PAIS	Toneladas Métricas	Valor Fob (Miles de \$)	% Partic. (en \$)
ESTADOS UNIDOS	88.412,94	828.555,96	32%
VIETNAM	74.081,85	595.528,30	23%
ESPAÑA	29.973,11	230.796,62	9%
FRANCIA	29.412,55	227.002,39	9%
ITALIA	21.599,04	187.185,34	7%
CHINA, REP. PÓPULAR DE	14.881,45	128.825,47	5%
GUATEMALA	4.188,64	41.209,94	2%
COREA (SUR), REP. DE	4.397,41	40.926,23	2%
COLOMBIA	4.474,56	34.724,93	1%
BELGICA-LUXEMBURGO	3.221,69	31.803,85	1%
OTROS	23.488,09	225.253,67	9%
Total 2014	298.131,31	2.571.812,72	100%

Fuente: <http://sinagap.magap.gob.ec/>

Figura 6: Principales destinos de exportación de camarón en el año 2014.

Fuente: El productor, 2015.

Considerando el mercado nacional de camarón, se tiene que la región del Pacífico es la que produce la mayor cantidad de camarón en peso vivo (88%), seguida por la región del Golfo (12%). Por lo que se puede decir que el camarón es el principal producto en la industria acuicultora.

1.3 Valor comercial

La producción nacional de camarón está principalmente destinada al mercado internacional, por lo que es de suma importancia la situación financiera. Por ejemplo, en Japón la moneda se ha debilitado y depreciado, provocando que la bolsa presente una tendencia a la baja. Por lo tanto, el consumo de camarón ha disminuido y las compras se realizan solamente para necesidades inmediatas, aunque con un costo muy bajo debido a su origen. En la región de China, Vietnam y Corea, la clase media continúa creciendo e incrementando su nivel adquisitivo, por lo tanto, existe compra de producto al alza para su consumo doméstico.

Para el caso de Europa la moneda se ha debilitado por la salida de Inglaterra de la Unión Europea, hay una tendencia de la bolsa a la baja, y un aumento del desempleo. Sin embargo, el consumo de camarón es estable y los consumidores buscan productos de calidad a más bajo costo y de fuentes sustentables e inocuas.

Finalmente, en el caso de EUA, la moneda y la bolsa se han mantenido fuertes y estables, el desempleo es bajo; sin embargo, el consumo de camarón ha ido a la baja. Hay compras fuertes a precios competitivos de productos de alta calidad, procedentes de fuentes sustentables que participen en el cuidado al medio ambiente. Cabe mencionar que en este país se ve reflejado el sistema oferta-demanda, donde se observa que a pesar de que el nivel adquisitivo es aceptable, la demanda del producto es menor. La oferta dependerá de la especie, la región de producción, el tipo de producto, preparación y presentación. Mientras que la demanda dependerá directamente de la época, el mercado y la preferencia del consumidor.

Existen factores externos que afectan la demanda como son: los requerimientos ambientales, evaluación de impacto ambiental, concesiones y permiso de uso del agua.

Finalmente, se requieren regulaciones para importar y exportar; Estados Unidos se apoya en FDA, análisis sanitarios de inocuidad y trazabilidad de procesos, la Unión Europea solicita registro sanitario, certificaciones y aranceles y China únicamente aranceles (impuesto o gravamen que se aplica solo a los bienes que son importados o exportados).

1.4 Importancia nutrimental

En el aspecto nutrimental, el camarón es considerado un crustáceo con alto contenido en proteínas y bajo en energía al tener un bajo aporte de grasa.

El valor nutrimental del camarón depende del tipo de pesca que se realice, ya que en el caso de la acuicultura se pueden controlar algunos factores ambientales, por ejemplo, la temperatura, el flujo y la composición química del agua, aunado a esto

también se pueden controlar los factores dietarios, es decir, los ciclos de alimentación, ayuno, sobre-alimentación, ambos factores pueden influir sobre la calidad alimentaria de los productos (Haard, 1992).

Haard (1992) en diversos estudios ha determinado que el tipo de alimento puede influir en los procesos digestivos, además también participa en la formación de nutrimentos específicos y en la bioacumulación de compuestos, influyendo en la calidad del músculo. Respecto al contenido en minerales, el potasio es el aporte más significativo, seguido del sodio y el fósforo. Estos pequeños crustáceos son fuente de vitamina B2 (riboflavina), y vitamina E (Figura 7).

	Por 100 g de porción comestible	Por ración (150 g)
Energía (Kcal)	82	57
Proteínas (g)	17,6	12,1
Lípidos totales (g)	0,6	0,4
AG saturados (g)	0,1	0,07
AG monoinsaturados (g)	0,2	0,14
AG poliinsaturados (g)	0,1	0,07
ω -3 (g)*	0,005	0,003
C18:2 Linoleico (ω -6) (g)	0,005	0,003
Colesterol (mg/1000 kcal)	195	135
Hidratos de carbono (g)	1,5	1,0
Fibra (g)	0	0
Agua (g)	80,3	55,4
Calcio (mg)	79	54,5
Hierro (mg)	1,6	1,1
Yodo (μ g)	90	62,1
Magnesio (mg)	34	23,5
Zinc (mg)	1,5	1,0
Sodio (mg)	190	131
Potasio (mg)	330	228
Fósforo (mg)	180	124
Selenio (μ g)	24,3	16,8
Tiamina (mg)	0,04	0,03
Riboflavina (mg)	0,1	0,07
Equivalentes niacina (mg)	3,2	2,2
Vitamina B ₆ (mg)	0,05	0,03
Folatos (μ g)	12	8,3
Vitamina B ₁₂ (μ g)	7	4,8
Vitamina C (mg)	0	0
Vitamina A: Eq. Retinol (μ g)	Tr	Tr
Vitamina D (μ g)	Tr	Tr
Vitamina E (mg)	2,9	2,0

Figura 7: Tabla nutrimental del camarón

Fuente: Moreiras et al 2013

Este alimento le proporciona propiedades benéficas a la salud, por ejemplo, buen funcionamiento de la tiroides, del tejido nervioso y muscular, además la vitamina E junto con el selenio actúan como antioxidantes y fortalecen las defensas del cuerpo. Mientras tanto las proteínas del camarón son de alto valor biológico y no aportan grasa las cuales también son indispensables para el crecimiento, desarrollo y mantenimiento de los tejidos

Capítulo 2. Aspectos fundamentales de la física

Para tener un mayor entendimiento sobre el método utilizado, es importante mencionar algunos aspectos de física. Estos conceptos son de uso común en este campo y la finalidad es tener una idea más clara de los conceptos que se puedan mencionar en los capítulos posteriores.

2.1 Radiaciones ionizantes

2.1.1 Radiactividad

La radiactividad fue descubierta por el científico francés Antoine Henri Becquerel en 1896 de forma casi ocasional al realizar investigaciones sobre la fluorescencia del Sulfato doble de Uranio y Potasio (*Foro nuclear, s.f.*)

La radiactividad es una propiedad de ciertos elementos químicos cuyos núcleos atómicos son inestables, los cuales para alcanzar de nuevo la estabilidad atómica deben pasar por un proceso de desintegración que genera energía en forma de “radiación ionizante”, estas son ondas electromagnéticas (radiación gamma o rayos X), o de partículas (neutrones, partículas alfa o partículas beta). Este es el término que se asocia a la “radiación”.

Esta radiación en alimentos se mide en unidades Bequerel (Bq) la cual es el número de desintegraciones nucleares que ocurren en una cierta cantidad de una sustancia durante un segundo.

Por otro lado, existe la unidad Sievert (Sv) que es la dosis de radiación absorbida por la materia viva en función del tipo de radiación (alfa, beta, gamma, X, neutrones) de las modalidades de exposición (externo o interno) y la sensibilidad específica de los órganos o tejidos expuestos.

Al hablar de materiales con propiedades radiológicas, es decir, que emiten radiación se tendrá que considerar la definición de isótopos (*Elika s.f.*).

2.1.2 Núclidos

Los *isótopos* o *núclidos* son átomos de un mismo elemento, cuyos núcleos tienen cantidad diferente de neutrones y, por tanto, difieren en masa atómica. Es por ello que los isótopos se expresan con el átomo al que hacen referencia, más un número que hace alusión en su masa atómica (*Elika s.f.*). Los isótopos pueden ser naturales o artificiales, estos últimos son todos inestables o radioactivos (radioisótopos) (Figura 8).

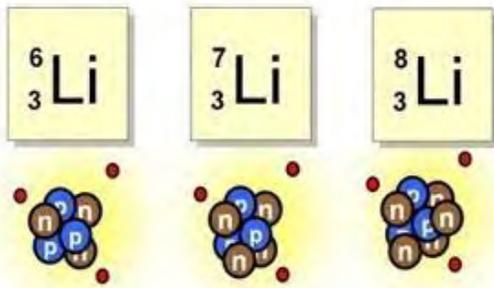


Figura 8: Ejemplo de Isótopo de Litio

Fuente: Química inorgánica, 2010

También existen los isobaros, su nombre proviene de “*iso*” que significa igual y “*baro*” que significa masa. Son núclidos con propiedades fisicoquímicas diferentes. Pertenecen a elementos diferentes, poseen la misma cantidad de masa, pero diferente número atómico y una proporción diferente de neutrones (Figura 9).

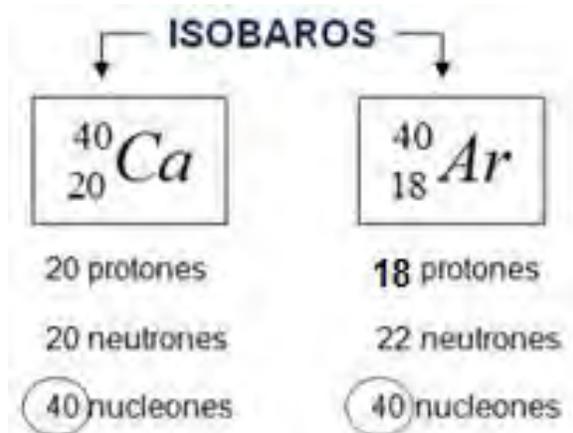


Figura 9: Ejemplo de isobaros de Calcio y Argón

Fuente: Química inorgánica, 2010.

Finalmente, se mencionan los isótonos, los cuales son núclidos pertenecientes a elementos diferentes. Poseen diferente número de protones, pero la misma

cantidad de neutrones, es decir, tienen diferentes proporciones de masa atómica, lo cual provoca que posean propiedades físicas y químicas diferentes (Figura10).

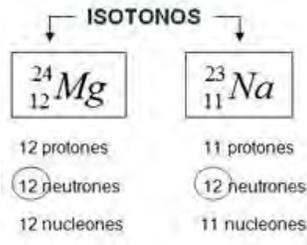


Figura 10: Ejemplo de Isótono de Magnesio y Sodio

Fuente: *Química inorgánica,2010*

Para determinar la cantidad de neutrones presente se requiere restar el número atómico a la cantidad de masa. A continuación, se presenta la ecuación para calcular la cantidad de neutrones.

$$N = A - Z$$

Donde:

N = Cantidad de neutrones presente

A= Número atómico

Z = Cantidad de masa

2.1.3 *Decaimiento radiactivo*

El decaimiento radioactivo empieza cuando un nucleído inestable expulsa una partícula transformándose en una partícula más estable, este cambio no es afectado por condiciones de presión y/o temperatura. El decaimiento radioactivo permite caracterizar a las partículas radioactivas por su constante de decaimiento, la cual se refiere a la probabilidad de que un isótopo se desintegre en un tiempo determinado y se denota con la letra λ (Muñiz,2013). A continuación, se presenta la ecuación para calcular el número de núcleos radiactivos

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Donde:

N = número de núcleos radioactivos

t = tiempo transcurrido

N0 = número de núcleos radioactivos al tiempo 0

e= exponencial del diferencial de tiempo

λ = constante de decaimiento

Por lo tanto, se puede decir que a medida que avanza el tiempo, los núcleos radioactivos decrecen exponencialmente. El tiempo de dependencia de decaimiento radioactivo se expresa como vida media, esta puede variar desde millones de años a fracciones de segundos. Por esta razón el decaimiento radiactivo es un proceso paulatino que puede ser lento o muy rápido, según el isótopo que esté presente.

Se conocen cuatro cadenas radiactivas, tres de las cuales existen en la naturaleza, ya que proceden de los radionúclidos primigenios. La cadena radiactiva del ^{232}Th (Figura 13) es llamada $4n$ debido a que el número másico de cada radioisótopo en esta cadena es un múltiplo de 4. Los números másicos de los componentes de las cadenas de ^{238}U (Figura 11) y ^{235}U (Figura 12) se pueden expresar como $4n+2$ y $4n+3$, respectivamente. La cuarta cadena radiactiva es la del ^{237}Np , la cual se sabe que alguna vez existió de manera natural en el planeta, sin embargo, al tener sus radioisótopos vidas medias muchas veces menores que el tiempo de vida de la Tierra estos decaen hasta formar isótopos más estables. Sin embargo, es posible producir estos radioisótopos de manera artificial con el uso de reactores nucleares modernos; esta cadena se puede expresar como $4n+1$.

Lo anterior se resume en la tabla 1 que se presenta a continuación.

Tabla 1: Cadenas radiactivas de isotopos radiogénicos

Cadena de decaimiento	Expresión
Torio-232	$4n$
Neptunio-237	$4n+1$
Uranio-238	$4n+2$
Uranio-235	$4n+3$

Fuente: Villarreal. 2017

Figura 11: Cadena radiactiva del ^{238}U .

Fuente: Espinosa García, 2017

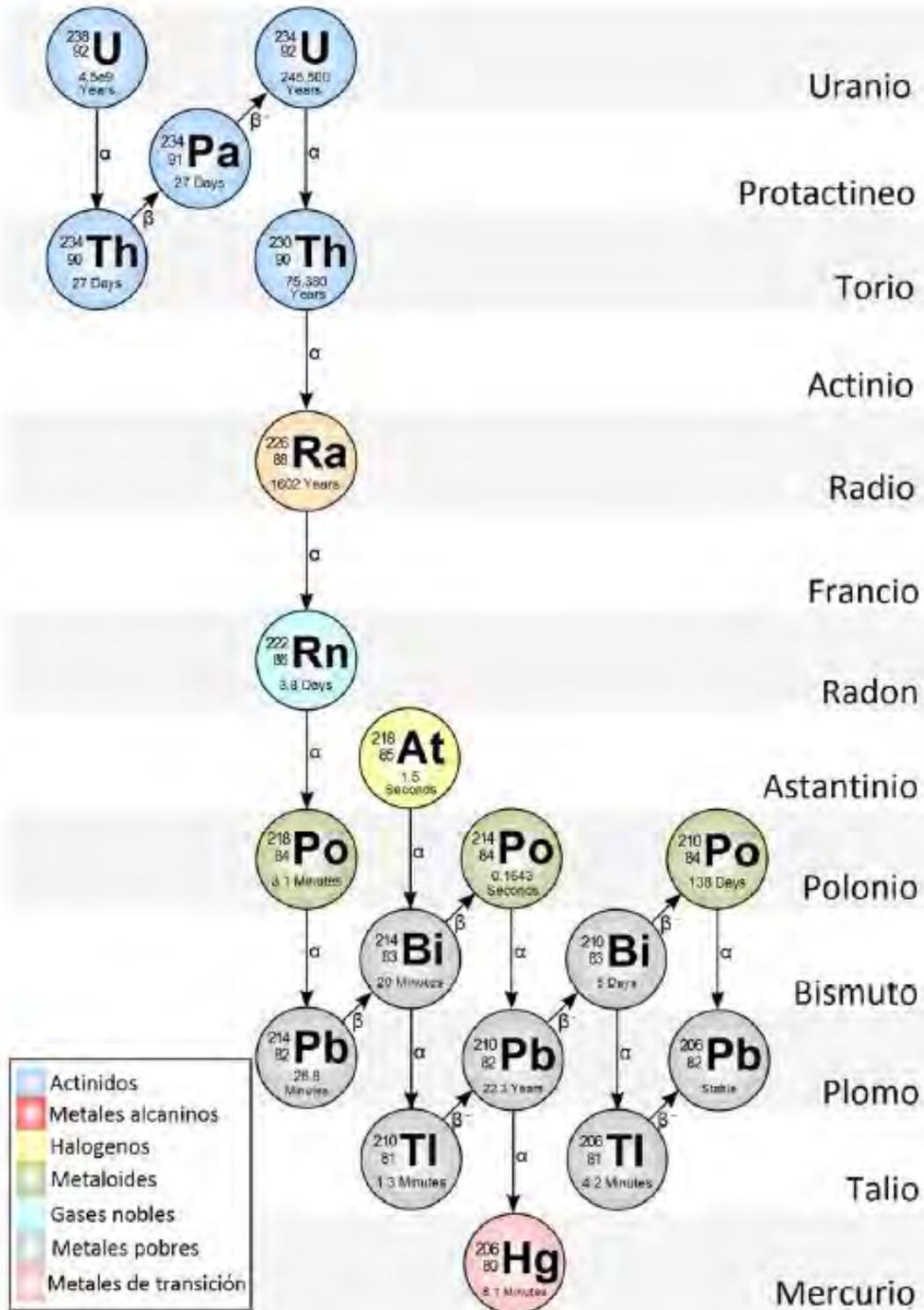


Figura 12: Cadena radiactiva del ^{235}U .

Fuente: Espinosa García, 2017

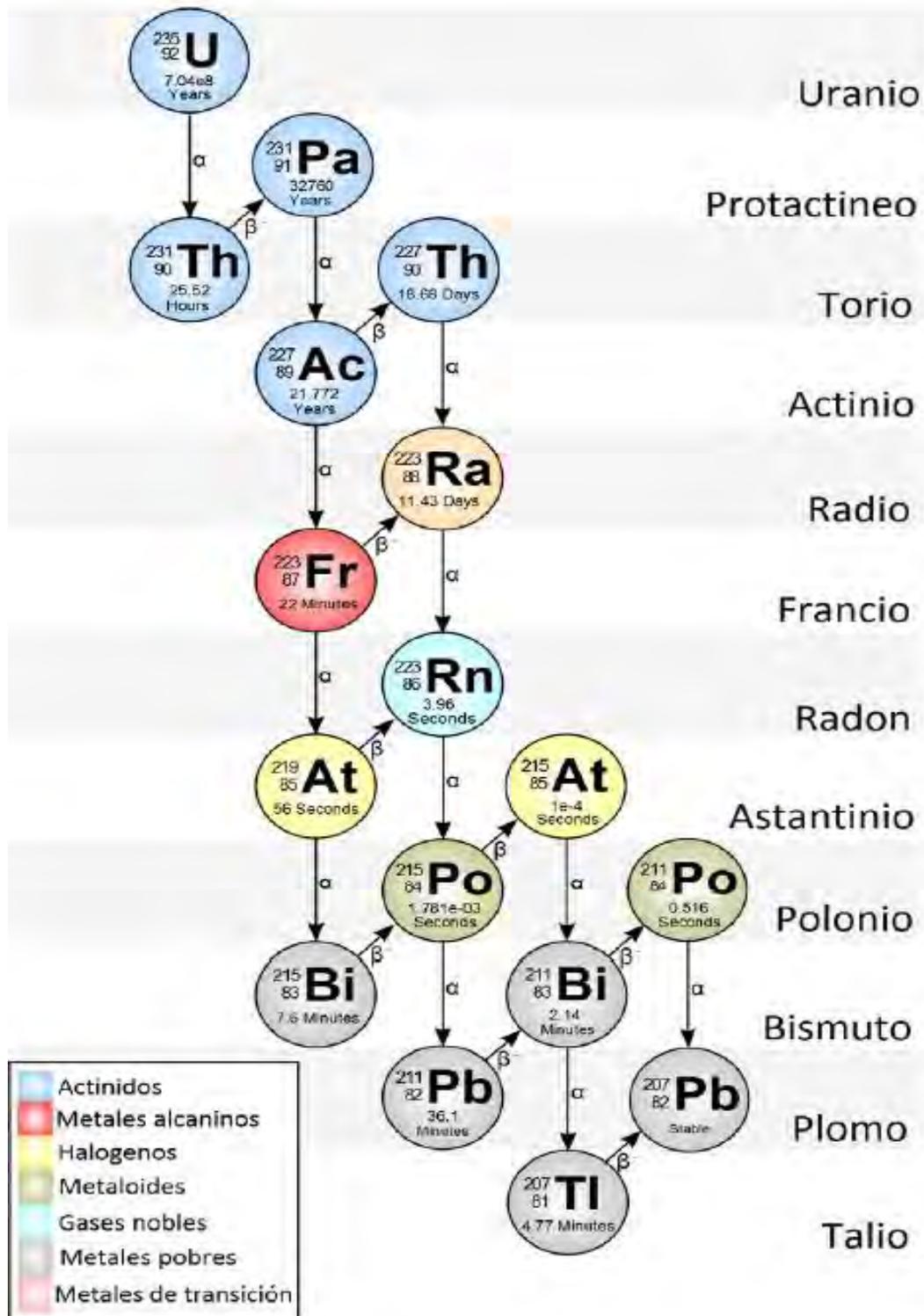
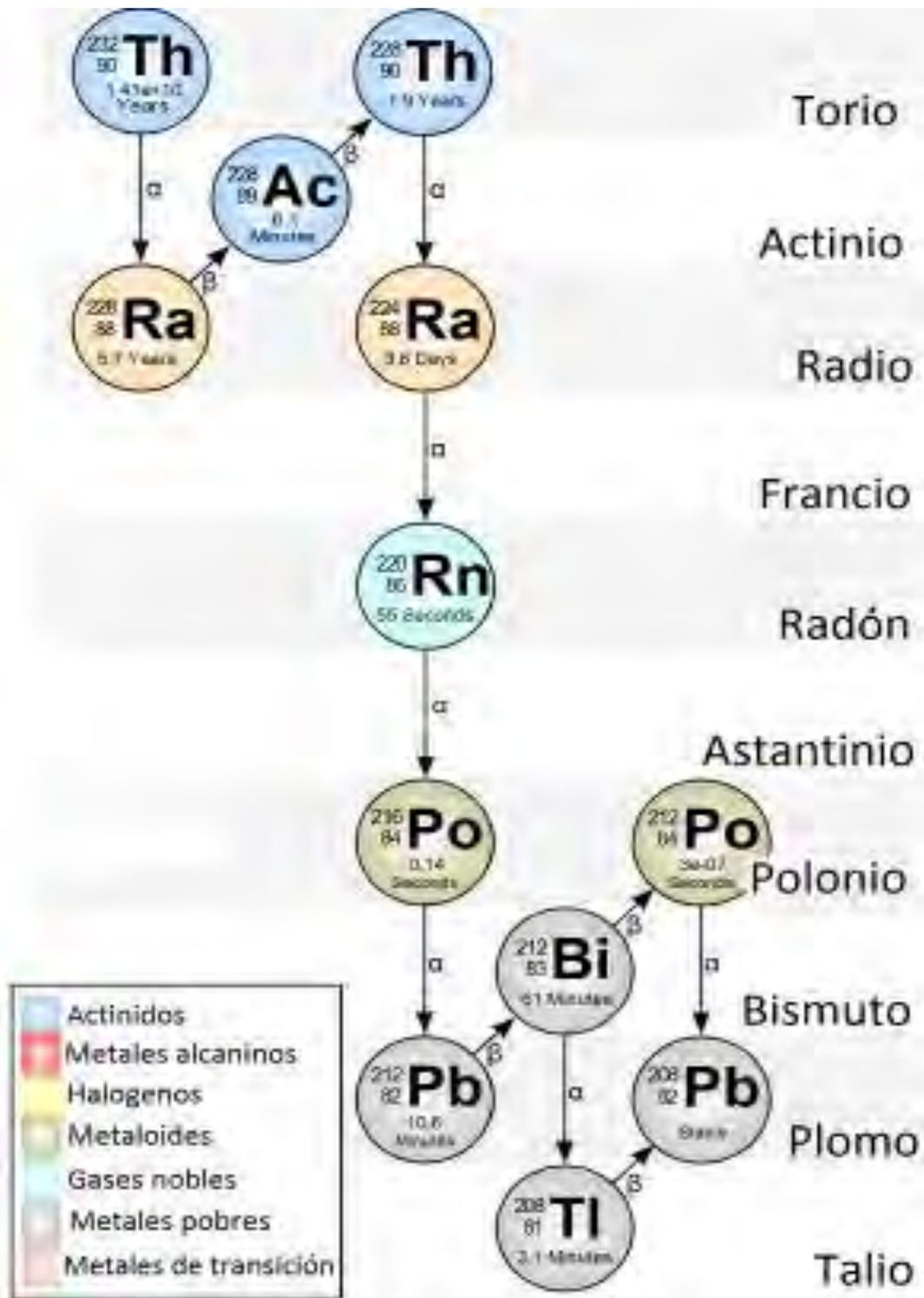


Figura 13: Cadena radiactiva del ^{232}Th .

Fuente: Espinosa García, 2017



2.1.4 *Interacción con la materia*

La radiación gamma es un tipo de radiación electromagnética que está constituida por fotones la cual es producida generalmente por elementos radiactivos.

La radiación comúnmente está propagándose e interactuando con la materia todo el tiempo, lo que permite observar la radiación, sus efectos y así poder determinar la naturaleza de transición. Estas interacciones también causan cambios químicos, físicos y biológicos.

Dentro de esta interacción con la materia, existen 2 tipos de partículas, en primer lugar se encuentran las partículas con carga (tales como protones, iones pesados y electrones), en segundo lugar se encuentran las partículas sin carga, es decir, los neutrones y la radiación gamma.

Mientras que las partículas grandes y cargadas dispersan los electrones sin perder mucha energía, la colisión de un electrón con otro libera energía y un fotón puede ser desviado o absorbido por un simple electrón. Los neutrones solo interactúan débilmente con los electrones e interactúan predominantemente con el núcleo (*Lottermoser, 2010 adaptación de Muñiz, 2013*).

Existen 3 mecanismos de transferencia de energía entre la radiación gamma y la materia, como son: efecto fotoeléctrico, efecto Compton y producción de pares. A continuación, se explican cada uno de ellos.

➤ **Efecto fotoeléctrico**

El efecto fotoeléctrico (Figura 14) es una interacción entre un fotón y un electrón fuertemente ligado, cuya energía de enlace es igual o menor que la energía del fotón, durante este efecto el fotón desaparece, dando lugar a una partícula ionizante llamada fotoelectrón, la cual se produce a partir de una de las capas de electrones de material que está absorbiendo. (Martínez, 2016).

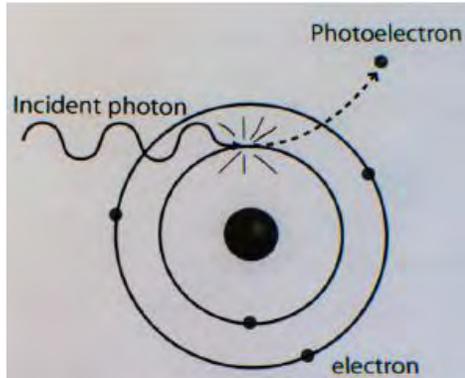


Figura 14: Efecto fotoeléctrico

Fuente: Bryan J. 2009

➤ **Efecto Compton**

Se produce cuando interactúa un fotón incidente proveniente de la radiación gamma y un electrón en el material que está absorbiendo, lo que produce una dispersión del fotón original causada por el electrón del medio transfiriendo a este una parte de su momento lineal y de energía, al electrón resultante se le conoce como electrón de retroceso. La energía del fotón original se divide entre el fotón dispersado y el núcleo de retroceso por una relación que depende del ángulo de dispersión (Figura 15).

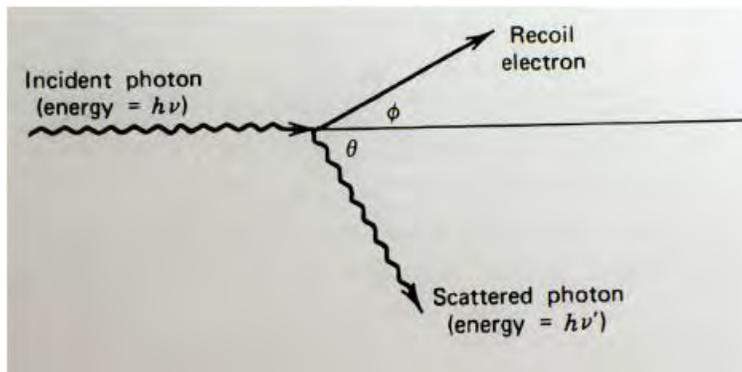


Figura 15: Efecto Compton

Fuente: Glen F. 2000

➤ **Producción de pares**

Se lleva a cabo cuando la radiación incidente es mayor que la energía en reposo de dos electrones (1022 keV). Durante este proceso el fotón excedente de los 1.02 MeV puede desaparecer espontáneamente al pasar cerca de un núcleo logrando que su energía reaparezca como un positrón y un electrón. Esta transformación de

energía en masa debe tener lugar cerca de una partícula tal como un núcleo, de tal manera que se conserve la cantidad de movimiento (Figura 16).

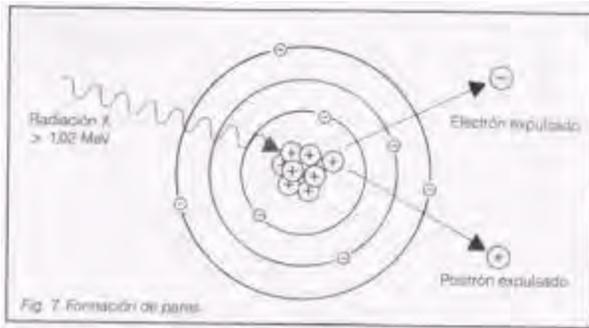


Figura 16: Producción de pares

Fuente: Bryan. 2009

En conclusión, el efecto fotoeléctrico es dominante para fotones de baja energía, mientras que la producción de pares se refiere a fotones altamente energéticos en ambos casos son aplicables para materiales de elevado número atómico. Para el efecto Compton el dominio es aplicable a energías moderadas.

2.2 Métodos de análisis

El estudio de partículas de alta energía se inició por el Físico Escocés Charles Thomson Rees Wilson en 1912. Para analizar las radiaciones gamma es necesario mencionar que se requieren detectores específicos debido a que son una forma de radiación con energía extremadamente elevada. Este tipo de radiación tiene una longitud de onda mucho más corta que la luz visible, por lo que sus fotones tienen muchísima más energía que los fotones de luz.

2.2.1 Detector de estado sólido o semiconductores

El principio de funcionamiento de los detectores semiconductores puede asemejarse al de la cámara de ionización, donde el medio ionizable en vez de un gas consiste en un semiconductor (a base de germanio o silicio) de alta resistividad alcanzándose mediante la formación de zonas del material exentas de portadores libres. Este tipo de detectores son los más sensibles a la radiación y en consecuencia los más delicados. Hoy en día, existen diferentes clases de detectores semiconductores como los de barrera superficial, de silicio-litio y los de germanio de alta pureza.

Las ventajas que presentan este tipo de detectores son:

- Alta densidad del medio ionizado; esto implica una considerable eficiencia de detección por unidad de volumen efectivo del detector.
- La energía necesaria para producir un par de portadores de carga en los semiconductores es aproximadamente 10 veces menor que en los gases, y 100 veces menor que en un centellador.
- Para una misma energía impartida, la cantidad de portadores de carga producido es mucho mayor en los semiconductores que en gases o centelladores, lo cual se traduce en menos fluctuaciones estadísticas, por lo que tiene una mejor resolución.
- La movilidad de los electrones y huecos es elevada y, por otra parte, es reducido el volumen efectivo del medio detector.

Pueden obtenerse fácilmente detectores muy delgados de manera que absorban una fracción de la energía de las partículas incidentes, a fin de medir su ionización específica.

Estos detectores pueden ser de barrera superficial, es decir, que no requieren ser enfriados y se utilizan para detectar partículas cargadas utilizando placas electrostáticas.

Los detectores de silicio-litio se utilizan para la medición de rayos X y radiación gamma de baja energía y los detectores para la medición de radiación gamma (que son los más sensibles) que son de germanio hiperpuro por su tecnología, debe estar a $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a vacío para que opere a $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ sin dañar el equipo esto se logra con nitrógeno líquido.

Después de un desastre nuclear, existe una gran variedad de productos de fisión nuclear que pueden ser liberados al ambiente, sin embargo, muchos tienen una vida media muy corta y otros no se transfieren a los alimentos fácilmente. Los radionúclidos artificiales más importantes son aquellos que pueden entrar en la cadena de alimentos por medio de su presencia en instalaciones nucleares, también los que se utilizan como fuente de radiación en cantidades suficientemente grandes para que contribuyan notablemente al aumento de los niveles en los alimentos, se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Radioisótopos artificiales relevantes en la cadena alimentaria

Fuente: CODEX General Standard for contaminants and toxins food and feed. Adaptación de Villarreal, 2017

Radionúclido	Emisiones			Vida media ^a
	α	β	γ	
¹²⁹ I		✓	✓	1.57 x 10 ⁷ a
²⁴¹ Am	✓		✓	432.2 a
¹³⁴ Cs		✓	✓	2.06 a
^{99m} Tc			✓	2.11 x 10 ⁵ a
²³⁵ U	✓		✓	7.04 x 10 ⁸ a
¹³¹ I		✓	✓	8.02 d
¹⁹² Ir		✓	✓	73.83 d
¹⁰³ Ru		✓	✓	39.26 a
¹³⁷ Cs		✓	✓	30.17 a
⁶⁰ Co		✓	✓	5.27 a
³ H		✓		12.35 a
¹⁴ C		✓		5,715 a
³⁵ S		✓		87.32 d
⁸⁹ Sr		✓		50.52 a
⁹⁰ Sr		✓		28.90 a
¹⁰⁶ Ru		✓		373.59 d
¹⁴⁴ Ce		✓		284.89 d
²³⁸ U	✓			4.47 x 10 ⁹ a
²³⁸ Pu	✓			87.74 a
²³⁹ Pu		✓		2.41 x 10 ⁴ a
²⁴⁰ Pu	✓			6.5 x 10 ³ a

Figura 18: Fuentes de radiación natural y artificial.

Fuente: Valle, 2016

Fuente de radiación natural	Fuente de radiación artificial
<p>Radiación cósmica. Procede del espacio, sólo llega al suelo una fracción, ya que en su mayor parte, es detenida por la atmósfera.</p>	<p>Elementos transuránicos Son elementos químicos con número atómico mayor a 92 que son creados de manera artificial bombardeando átomos pesados con neutrones. Se usan en medicina, generar energía, etc.</p>
<p>Radiación de los materiales contenidos en la tierra. Algunos ejemplos: Uranio (^{238}U, ^{235}U), Torio (^{232}Th), Actinio (^{234}Ac) y Potasio (^{40}K).</p>	<p>Radioisótopos creados por el hombre En medicina se les utiliza para el tratamiento del cáncer, para estudiar el funcionamiento de determinados órganos. En la industria se les utiliza en radiografía industrial, medidores de espesores, pararrayos radiactivos y otros, los radioisótopos también se utilizan en laboratorios de investigación y enseñanza, agricultura y biología.</p>
<p>Elementos radiactivos contenidos en el organismo humano. Potasio (^{40}K), Carbono (^{14}C) y Sodio (^{22}Na).</p>	<p>Máquinas generadoras de radiación Uso principalmente en medicina como en radioterapias, terapéutico, alimentos, esterilización, etc.</p>
<p>Gas radón. Procedente de la desintegración del metal radio contenido en algunas rocas, fundamentalmente graníticas, este es muy importante por su abundancia, debido a que escapa al aire desde los depósitos naturales de uranio del suelo y se concentra en los edificios en donde lo inhalamos. Como se incorpora al cuerpo humano es una fuente interna de radiactividad</p>	<p>Máquinas de rayos X El uso de máquinas de rayos X en el diagnóstico por imágenes. También pueden ser utilizados para eliminar o frenar el crecimiento de tumores cancerosos.</p>
	<p>Reactores nucleares. Su uso principalmente es para la generación de energía eléctrica a partir de la obtención de energía a partir de reacciones nucleares de fisión.</p>

Cabe mencionar que la radiación que existe en el planeta puede provenir de dos fuentes diferentes (natural o artificial).

Estas poseen características específicas, por una parte, la fuente natural proviene de la radiación cósmica, por materiales contenidos en la tierra o por el gas radón procedente de la desintegración del metal radio contenido en algunas rocas. Por otro lado, la radiación artificial existe por otros factores como reactores, máquinas y radioisótopos los cuales se presentan detalladamente en la Figura 18.

2.4 Efecto de las radiaciones ionizantes en la salud

La exposición a la radiación puede ser interna o externa y puede tener lugar por diferentes vías. En el caso de la exposición interna es considerada como la radiación ionizante que se produce cuando un radionúclido es inhalado, ingerido o entra de

algún otro modo en el torrente sanguíneo (por ejemplo, inyecciones o heridas). La exposición cesa cuando el radionúclido se elimina del cuerpo, ya sea espontáneamente (por ejemplo, excremento, orina, sudor, etc.) o gracias a un tratamiento.

Por otra parte, la exposición externa se puede producir cuando el material radiactivo presente en el aire (polvo, líquidos o aerosoles) se deposita sobre la piel o la ropa. Usualmente, este tipo de material radiactivo puede eliminarse del organismo con un simple lavado.

La exposición a la radiación ionizante también puede resultar de la irradiación de origen externo (por ejemplo, la exposición médica a los rayos X). La irradiación externa se detiene cuando la fuente de radiación está blindada o la persona sale del campo de irradiación. En general, las personas pueden estar expuestas a la radiación ionizante en circunstancias diferentes, por ejemplo, en casa, en lugares públicos, en el trabajo o en un entorno médico.

Las situaciones de exposición a la radiación ionizante pueden clasificarse en tres categorías:

- 1) **Exposición planificada:** Es el resultado de la introducción y funcionamiento deliberados de fuentes de radiación con objetivos concretos, como en el caso de la utilización médica de la radiación con fines diagnósticos o terapéuticos, o de su uso en la industria o la investigación.
- 2) **Exposición existente:** Se produce cuando ya existe una exposición a la radiación y hay que tomar una decisión sobre su control, como en el caso de la exposición al radón en el hogar, en el lugar de trabajo, o de la exposición a la radiación natural de fondo presente en el medio ambiente.
- 3) **Exposición en situaciones de emergencia:** Tiene lugar cuando un acontecimiento inesperado requiere una respuesta rápida, como es el caso de los accidentes nucleares o los actos criminales.

2.5 *Normatividad vigente*

2.5.1 *Normatividad internacional*

Cada uno de los países cuentan con su propia normatividad para la importación y exportación de productos alimenticios, tal es el caso de Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, la Unión Europea y México. Estos documentos son utilizados como referencia para asegurar que el comercio de alimentos importados sea seguro para el consumo humano.

Los reglamentos EURATOM (Comunidad Europea de la Energía Atómica) regulan las concentraciones de radionúclidos en alimentos, esta legislación comenzó a finales de los años 80 después de una emergencia nuclear (Three Mile, Pensilvania 1979). Dichos reglamentos establecen tolerancias máximas de contaminación radiactiva de los productos alimenticios de un accidente nuclear o cualquier otro en caso de una emergencia radiológica (Apéndice 3)

Actualmente, diversas agencias independientes de diferentes países realizan mediciones medioambientales para conocer el estado de los radioisótopos en su entorno. También organizaciones internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) y la IAEA (Agencia internacional de energía) participan en el Programa de asociación entre la FAO/IAEA, donde la División de técnicas nucleares en alimentos y agricultura tiene como misión apoyar y promover el uso seguro y apropiado de la tecnología nuclear en alimentos y agricultura por los países miembros para contribuir a la paz, salud y prosperidad mundial.

Otro organismo que aborda la contaminación nuclear es el Comité del Codex sobre Aditivos Alimentarios y Contaminantes de los Alimentos (CCFAC), donde gracias al Programa Conjunto FAO/OMS Sobre Normas Alimentarias, ha desarrollado niveles de referencia para ciertos radionúclidos contenidos en los alimentos destinados al consumo humano que son objeto de comercio internacional y que también se han visto contaminados como consecuencia de accidentes o emergencias nucleares.

2.5.2 *Normatividad Nacional*

La Secretaría de Energía (SENER) es la responsable de la regulación energética, generando las Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética (NOM-ENER). Esta normatividad es de carácter obligatorio y se publica en el Diario Oficial de la Federación para que cualquier persona tenga acceso a ella.

El Comité de normatividad de la SENER divide a estas normas en seis materias: electricidad, eficiencia energética, eficiencia térmica, hidrocarburos, gas natural y seguridad nuclear. La Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS), que forma parte de la SENER, es la encargada de asegurar que las actividades en donde se ve involucrado material nuclear, radiactivo y fuentes de radiación ionizante se lleven a cabo con la máxima seguridad, considerando los desarrollos tecnológicos actuales. La CNSNS vigila la aplicación de las Normas Oficiales Mexicanas de Seguridad Nuclear (NOM-NUCL) y normas que dicta la SSP referentes a la salud de las personas.

La Secretaría de Salud Pública (SSP), en general, se encarga de la promoción de la salud en el país mediante la planeación, coordinación y evaluación del Sistema Nacional de Salud, dicta y verifica el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM-SSA)

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-088-SSA1-1993, Bienes y servicios. Contaminación por radionúclidos en alimentos de consumo masivo importados. El método de prueba para lograr una certificación y recepción de producto importado incluye:

- Método de espectrometría gamma para la determinación de cesio-134 y cesio-137 en agua envasada y alimentos importados.
- Nivel de contaminación radiactiva en productos alimenticios provenientes de países o zonas afectadas por accidentes nucleares, particularmente, Europa y Asia, expresada en Bequereles/kg, según corresponda al tipo de producto y país de origen y procedencia.

- Cálculo equivalente de dosis y no superar los límites establecidos por el país destino.

De manera general, se establece un paso por la aduana de país destino considerando el grado de contaminación del país del producto importado, asimismo se toma en cuenta el tipo de alimento a importar, el cual debe contar con los siguientes documentos:

2.5.3 *Certificado de exportación*

- Nombre, dirección y país del exportador
- Nombre, dirección y país del destinatario
- Identidad del medio de transporte
- Descripción del producto
- País de origen
- País destino
- Cantidad del alimento a importar o exportar

(Ver apéndice 4)

2.5.4 *Certificado de laboratorio*

- Número de muestras analizadas del producto a exportar o importar tomadas de manera representativa por una persona autorizada por las autoridades competentes
- Nombre, dirección y país del laboratorio
- Niveles de radiactividad registrados en cada muestra reportados en Bq/kg especificando el lote de cada muestra
- Nombre y dirección del organismo acreditado

- Fecha, nombre, sello y firma del laboratorio con letra de imprenta

(Ver apéndice 5)

2.5.5 *Certificado de las autoridades competentes*

- Firma que certifique que el nivel acumulado de radiactividad en cuanto al Cs 134 y 137 para los productos no supera los límites máximos permisibles
- Nombre de la localidad con fecha y nombre en letra de imprenta
- Firma y sello de autorización

(Ver apéndice 6)

Capítulo 3. Metodología

3.1 Diagrama de flujo.

A continuación, se muestra la metodología aplicada a la técnica de espectrometría de radiación Gamma utilizando un detector de Germanio hiperpuro

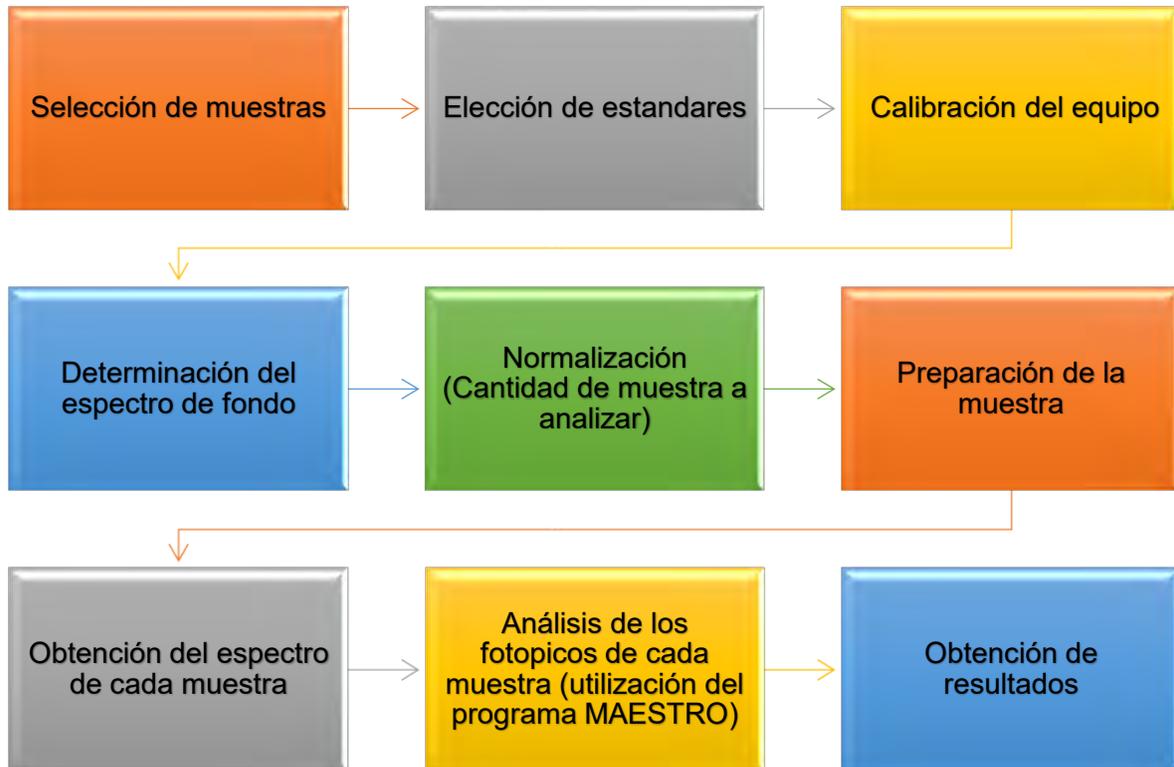


Figura 19: Diagrama de flujo de la metodología empleada

Fuente: Adaptación propia

3.2 Selección de muestras

Para la selección de muestras se deben considerar aspectos como:

- Producción per cápita del alimento a analizar
- Consumo
- Importancia comercial (importación y exportación)
- Lugar de origen
- Tipo de proceso (seco, fresco, cocido, congelado)

Estos factores permiten enfocar adecuadamente el análisis hacia el cumplimiento de los objetivos de estudio presentados en la investigación

A continuación, se presenta la Tabla 3 con las 9 muestras a analizar considerando los parámetros antes mencionados.

Tabla 3. Especificaciones de las muestras.

Muestra	Procesamiento de la muestra	Lugar y Origen
Camarón importado	Seco	Taiwán Agua salada
Camarón nacional	Seco	México Agua salada
Camarón café	Fresco	México (Golfo) Agua salada
Camarón gris	Fresco	México Agua dulce
Camarón pacotilla	Precocido	México Sin origen específico
Camarón Macuil	Fresco	México Sin origen específico
Camarón Cristal	Fresco	México Pacífico
Camarón acuícola	Congelado	Sinaloa Acuicultura
Exoesqueleto de camarón	Fresco	Diferentes especies

3.3 Elección de estándares

Para la elección de estándares fue necesario considerar variables dependientes, independientes y controladas con el fin de obtener una mejor repetibilidad a lo largo de la experimentación. Dichas variables se presentan en la figura 20

Variables controladas	Variables independientes	Variable dependiente
<ul style="list-style-type: none">• Tipo de muestra• Tiempo• Geometría• Masa	<ul style="list-style-type: none">• Radiación cósmica y terrestre• Radiación emitida por la muestra	<ul style="list-style-type: none">• Tamaño del fopico

Figura 20: Tipos de variables

Fuente: Adaptación propia

Una vez identificadas las variables controladas se estableció:

- Tipo de muestra: Ver punto 3.2
- Tiempo: 24horas (86,400 segundos)
- Geometría: Se considera marinelli (ver capítulo 4) como molde para la obtención de la misma geometría
- Masa: Se consideran 500g. En caso de no cumplir con la misma cantidad de muestra se realiza ajuste de masa, también llamado normalización. (ver punto 3.6)

3.4 Calibración del equipo (detector de Germanio Hiperpuro)

Para la calibración del detector se utilizaron isótopos radioactivos que emitieran una energía específica; estos patrones fueron: ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{60}Co y ^{40}K tomando este último como referencia debido a su presencia natural del medio.

La calibración se llevó a cabo dejando los estándares dentro del equipo durante 30 minutos, una vez obtenido el espectro correspondiente se aplicó una regresión lineal de dicha curva de calibración para corroborar la linealidad con los canales emitidos. Los resultados de dicha curva se encuentran en la tabla 6 y gráfica 2.

El objetivo principal de la calibración fue mantener y verificar el buen funcionamiento del equipo, así como garantizar la fiabilidad de las medidas para el estudio de las muestras; es decir, calibrar el sistema multicanal y el detector empleado.

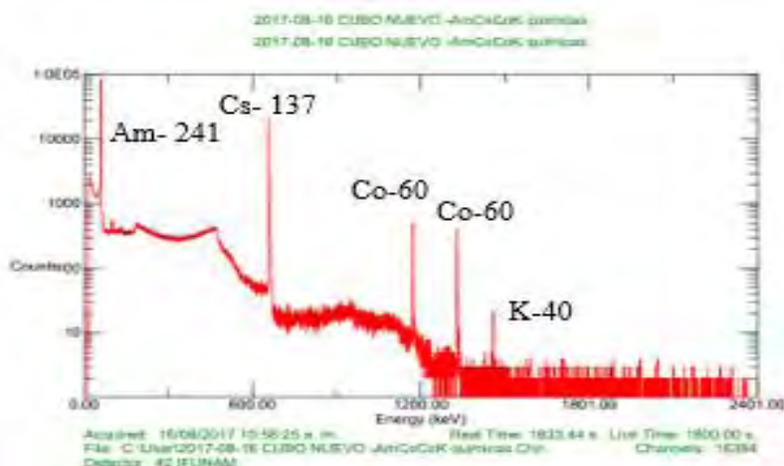


Figura 21: Espectro de calibración

Fuente: Software MAESTRO ORTEC®

3.5 Determinación del espectro de fondo

Previo a la obtención de los espectros de las muestras, fue necesario determinar un espectro de fondo, ya que por sí solo el medio ambiente está constituido por: rayos cósmicos, Potasio y Radón ambiental (dichas radiaciones se presentan gráficamente en la figura 22). En caso de no ser considerados pueden originar falsos positivos en la determinación de los contaminantes radiológicos presentes en las muestras.

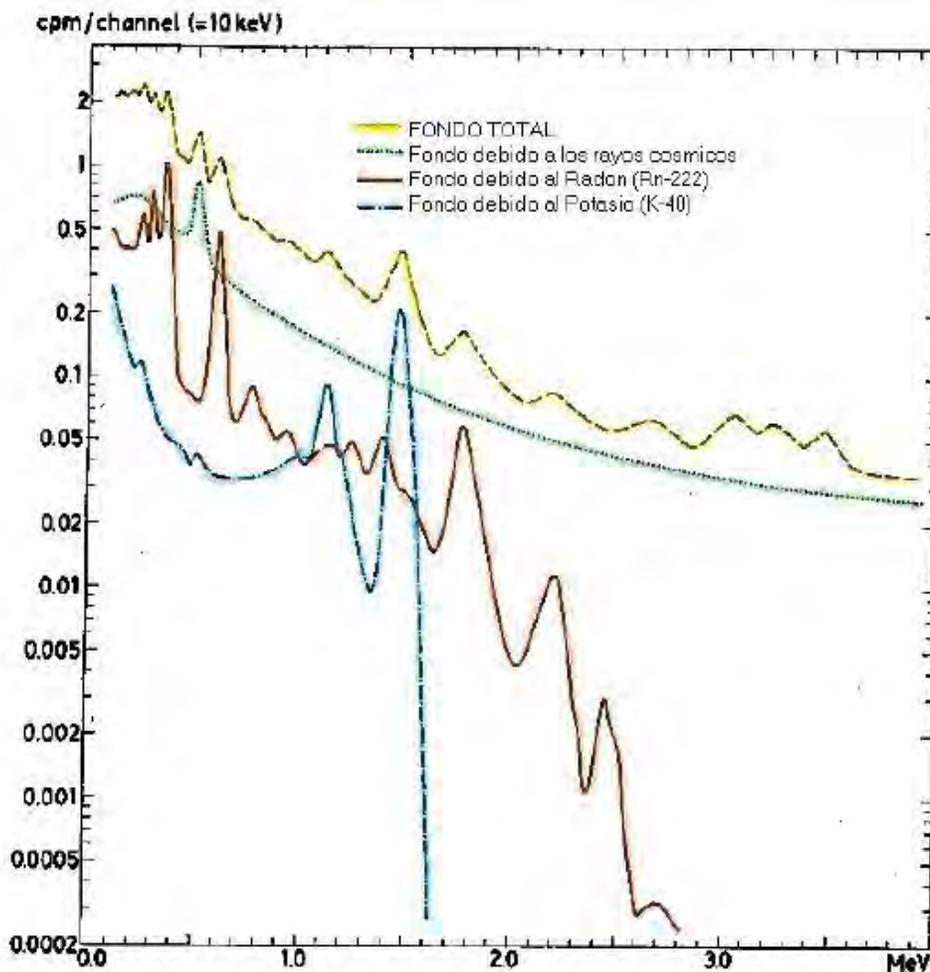


Figura 22: Contribuyentes del espectro de fondo

Fuente: Valle, 2016

Para el análisis del espectro de fondo se dejó correr el equipo vacío bajo las mismas condiciones a las cuales serían sometidas las muestras, es decir, 24 horas.

Una vez teniendo dicho espectro se realizó la ubicación de los fotopicos más importantes (aquellos que se encuentran de manera natural en el ambiente) para que al correr las muestras estos valores fueran restados y así obtener el valor real emitido para cada muestra.

3.6 *Cantidad de muestra a analizar (normalización)*

Debido a las características de las muestra (tamaño, precio, disponibilidad, etc) no fue posible establecer el mismo peso para cada una, por esta razón se realizó un cambio en la cantidad para cada muestra a partir de un ajuste de normalización. Este ajuste se realizó con la ecuación presentada a continuación:

$$\frac{\text{Peso real de la muestra}}{\text{Peso establecido}} * 100 = \text{peso normalizado (\%)}$$

➤ **Ejemplo de calculo para camaron importado**

Peso real de la muestra: 169g

Peso establecido: 500g

$$\frac{169g}{500g} * 100 = 33.8\% \approx 34\%$$

Partiendo de lo anterior, se presenta la tabla 4 con los porcentajes de normalización establecidos para cada muestra.

Tabla 4. Especificaciones de las muestras con % de normalización.

Muestra	Procesamiento de la muestra	Lugar y Origen	% Normalización
Camarón importado	Seco	Taiwán Agua salada	34
Camarón nacional	Seco	México Agua salada	43
Camarón café	Fresco	México (Golfo) Agua salada	62
Camarón gris	Fresco	México Agua dulce	71
Camarón pacotilla	Precocido	México Sin origen específico	70
Camarón Macuil	Fresco	México Sin origen específico	67
Camarón Cristal	Fresco	México Pacífico	89
Camarón acuícola	Congelado	Sinaloa Acuicultura	96
Exoesqueleto de camarón	Fresco	Diferentes especies	46

3.7 Preparación de la muestra

Para las muestras se requirió de una preparación previa debido al tamaño que poseía cada camarón. El producto se analizó en fresco en la mayoría de los casos, para esto fue necesario someter las muestras a un proceso de congelamiento previo al análisis, esto con la finalidad de evitar la putrefacción del producto durante la prueba, así mismo se corto en trozos pequeños para que el momento de introducir la muestra en el marinelli estuviera distribuida homogéneamente, y en consecuencia se mantuviera la geometría durante todo el estudio.

Para la determinación de la muestra se consideró la diferencia del marinelli vacío respecto al marinelli con la muestra.

A continuación se muestra un ejemplo para el cálculo del tamaño de muestra.

➤ **Camarón Importado**

Marinelli vacío = 127.1g

Marinelli con muestra: 296g

peso total de la muestra (PTM) = Marinelli con muestra (MM) – Marinelli vacío (MV)

$$PTM_{\text{Camarón importado}} = 296g - 127.1g = 168.9g \text{ de camarón importado}$$

3.8 *Obtención del espectro de las muestras*

Para la obtención de cada espectro fue necesario introducir el marinelli con la muestra dentro del detector por 24 horas (86,400s), esto con la finalidad de obtener un espectro con repetibilidad confiable ya que gracias al multicanal la muestra puede ser analizada varias veces

Los espectros obtenidos consisten en un histograma, donde se presentan las cuentas o desintegraciones registradas en el tiempo de análisis contra la energía en keV (kiloelectronvoltio) proveniente de los radioisótopos presentes en la muestra. A partir de estos fotopicos, se realiza el análisis para determinar si la muestra posee algún tipo de radioisótopo (natural o artificial).

3.9 *Análisis de los fotopicos*

Para el análisis de cada fotopico es necesario determinar el centroide del este a través de las herramientas que ofrece el programa MAESTRO® -32 v6 ORTEC® (ver punto 4.11); esto se logra iluminando el área bajo de la curva del fotopico el cual arroja los datos más importantes (ver punto 5.2.9).

A continuación, se muestran las figuras correspondientes para el análisis de un fotopico. Se analizará el fotopico de ⁴⁰K ya que es utilizado como referencia para el análisis de todos los espectros.

Se comienza por la obtención del espectro después de 24h de análisis

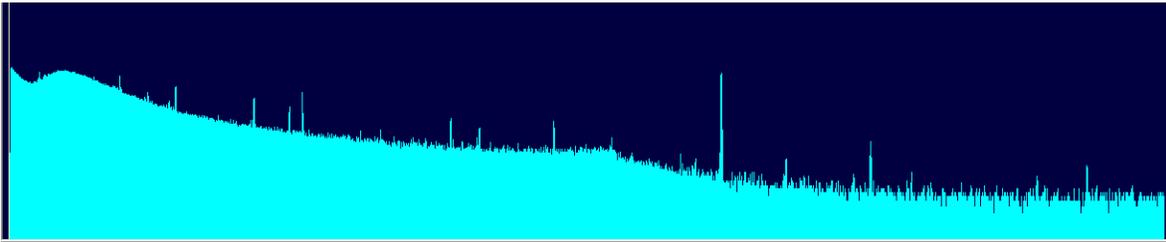


Figura 23: Espectro de una muestra aleatoria

Fuente: Propia

Posteriormente se calibra la escala del espectro a partir del fotopico de referencia (^{40}K) el cual emite una energía cercana a 1460 keV

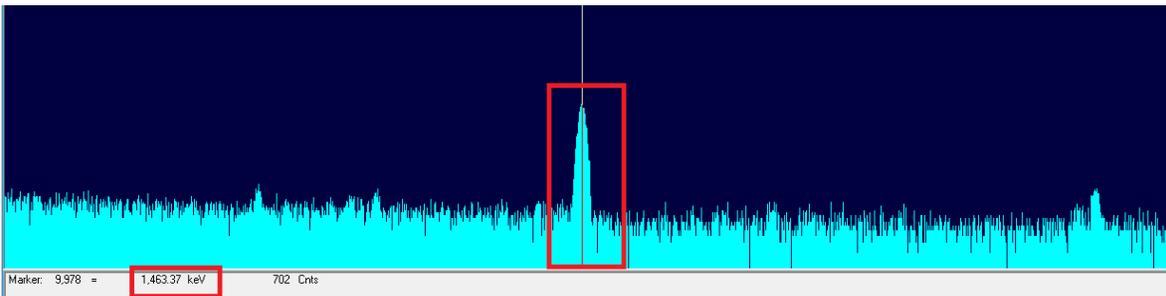


Figura 24: Fotopico de ^{40}K a calibrar en una energía de 1463-37 keV

Fuente: Propia

Para la calibración es necesario destruir la calibración que arroja el propio software y realizar un ajuste de 1460 keV sobre el fotopico y 0.00 al inicio del espectro

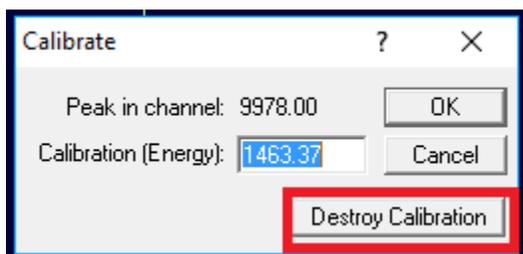


Figura 25: Destrucción de la calibración predeterminada por el software

Fuente: Propia

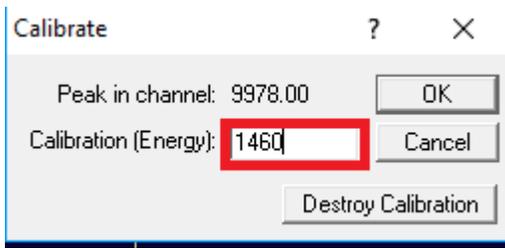


Figura 26: Calibración a 1460 keV sobre fotopico de ^{40}K

Fuente: Propia

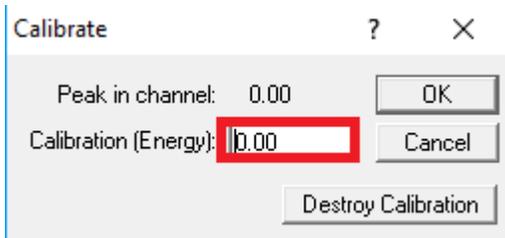


Figura 27: Calibración a 0.00 keV

Fuente: Propia

Una vez obtenida la calibración correspondiente se identifican todos los fotopicos para obtener la información mas importante de cada uno.



Figura 28: Espectro con detección de radioisótopo de referencia ^{40}K ya calibrado

Fuente: Propia

Para obtener el centroide de cada fotopico es necesario realizar un cambio en la escala (acercamiento).

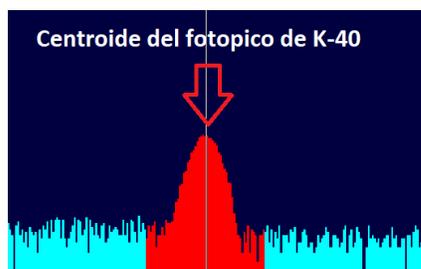


Figura 29: Centroide del fotopico de ^{40}K

Fuente: Propia

Una vez detectado el centroide se puede obtener información acerca del fotopico señalado

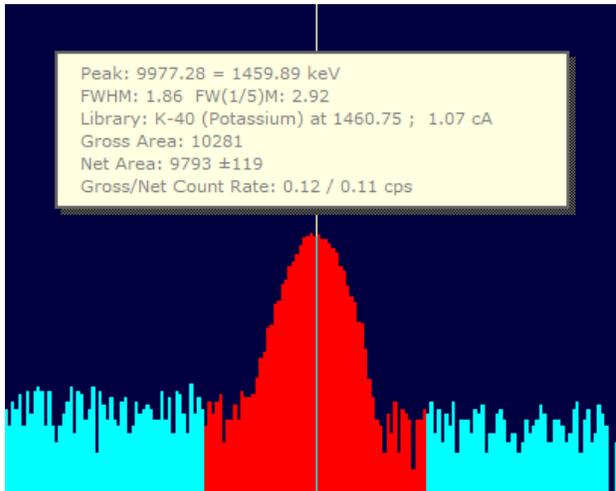


Figura 30: Información del fotopico de ⁴⁰K

Fuente: Propia

Para en análisis de los espectros de fondo y muestras se consideró el uso de tablas de radioisótopos con la finalidad de comparar y poder dar un radionúclido asociado a cada fotopico.

Posteriormente se llevo a cabo una comparación de la resta del área neta registrada de la muestra (ANM) menos el área neta registrada en el fondo (ANF), esto para cada fotopico donde se denotara la misma energía registrada.

A partir de ello se obtuvo área neta resultante (ANR), cuya fórmula es la siguiente:

$$\Delta AN = ANM - ANF$$

Asimismo, para el cálculo la incertidumbre del área neta se utilizó la siguiente ecuación

$$U_{resultante} = \sqrt{U_{muestra}^2 + U_{fondo}^2}$$

Partiendo de las dos ecuaciones anteriores se obtiene una resultante de la forma:

$$ANR \pm U_{resultante}$$

Donde:

Si se obtiene una incertidumbre resultante ($U_{\text{resultante}}$) mayor al valor de ANR se considera que este último se encuentra dentro de la incertidumbre (DDI).

Por otro lado, si el valor de ANR es negativo, quiere decir que la cantidad del radionúclido correspondiente se encuentra por debajo del fondo, es decir, no existe en la muestra (NEM).

Para los fines de esta tesis, el objetivo principal es conocer si en las muestras se encuentran presentes (P) o ausentes (A) los radionúclidos ya sean naturales o artificiales siendo estos últimos de mayor relevancia para el presente estudio.

Si en los resultados del análisis de fotopicos se obtiene un ANR con valor positivo y con una incertidumbre resultante ($U_{\text{resultante}}$) menor a dicho valor, esto nos indicaría que el radioisótopo está presente (P) en la muestra y se procedería a hacer el cálculo de su actividad específica para conocer la concentración en unidades de Bq/kg que existe en la muestra.

Capítulo 4. Instrumentación

4.1 *Fundamento*

Para la detección de radionúclidos presentes en el camarón, se llevó a cabo la metodología de espectrometría de radiación gamma, la cual se basa en la obtención del espectro de las emisiones gamma emitidas por los radionúclidos.

Específicamente es la respuesta del detector, la cual es proporcional a la energía de la radiación gamma detectada, esto permite obtener un espectro de energías. Este espectro muestra la relación entre la energía emitida por el radionúclido y el número de cuentas o veces detectadas la misma energía, es decir, el mismo elemento.

Existen factores que determinan el espectro como son:

- Tipo de detector
- Energía de la radiación
- Tamaño del detector
- Materiales que rodean el detector (especialmente blindaje)
- Otras radiaciones de la muestra

La espectrometría gamma clásica está asociada con detectores de centelleo sólido, especialmente los de NaI(Tl), sin embargo, recientemente han aparecido los detectores de semiconductores (Si, Ge) cuya aplicación ha revolucionado completamente esta técnica debido a su elevado poder de resolución.

4.2 Contenedor marinelli

El contenedor Marinelli es un recipiente polimérico, donde su función principal es proporcionar la misma geometría de detección a todas las muestras, además de evitar la contaminación del equipo para que pueda ser reutilizado para análisis posteriores.

4.2.1 Características principales del marinelli

- Puede contener muestras líquidas o sólidas
- La altura puede variar entre 7.6 y 11.7cm
- El diámetro puede estar entre 8.4 y 13 cm
- Su capacidad es de 500mL, esto facilita que durante el análisis de las muestras se mantenga la misma geometría y masa trayendo en consecuencia un error mínimo durante el periodo de análisis.
- El material de polipropileno sirve como barrera impermeable para evitar contaminación entre el producto y el detector.



Figura 31: Marinelli

Fuente: Propia

4.3 Dewar

Es un contenedor que almacena aproximadamente 30L de nitrógeno líquido el cual se encuentra aproximadamente a -190°C la dosificación del nitrógeno se lleva a cabo por medio de una



Figura 32: Dosificación de nitrógeno líquido

Figura 33: Dewar

Fuente: Propia

manguera, la cual esta conectada a un embudo en un extremo y a un dedo frío de cobre en el otro transmitiendo la temperatura al detector de germanio hiperpuro para poder tener una mejor eficiencia del detector.



4.4 Blindaje de plomo



El blindaje de plomo tiene como función disminuir la mayor cantidad posible de radiaciones externas del medio ambiente, considerándolo así un sistema de espectrometría gamma de bajo fondo.

Figura 34: Blindaje de plomo

Fuente: Propia

4.5 Fuente de poder y alto voltaje

La fuente de poder es un dispositivo que alimenta a los sistemas eléctricos del equipo, esta debe de estar estabilizada en todo momento, ya que la amplitud de los impulsos que proporciona el detector a la fuente son contadores proporcionales.

La fuente de alto voltaje regula la cantidad de la corriente que emite la fuente de poder la cual a su vez llegará al detector casi de manera inmediata. La utilizada posee un potencial de +2800 V



Figura 35: Fuente de poder y alto voltaje

Fuente: Propia.

4.6 *Detector de germanio hiperpuro*

El detector de germanio hiperpuro (alta pureza) tiene como función principal transformar la radiación gamma a pulsos, los cuales son almacenados en las memorias de un multicanal (16 000 canales que están dentro de la fuente de poder)



Figura 36: Detector de germanio hiperpuro

Fuente: Propia

4.7 *Preamplificador*

Una vez que la radiación gamma es emitida por las muestras analizadas y se perciben a través de los pulsos de carga producidos en el mismo son recibidos por el preamplificador acoplado la resistencia interna entre el detector y el amplificador, esto propicia que la relación entre la señal y el ruido mejoren para optimizar el procesamiento de análisis de la señal obtenida

4.8 *Amplificador*

El amplificador aumenta el tamaño de la señal sin ninguna deformación en frecuencia, forma o desfase, posteriormente esto es analizado por el software.

Se utiliza un amplificador Ortec 570 se fija la ganancia gruesa de 20, ganancia fina de 0.94, tiempo de formación 1 μ s, y el tiempo de análisis fue 24 h (86,400s). (Valle, 2016)

4.9 *Multicanal (MCA)*

El funcionamiento de un analizador multicanal MCA consiste en clasificar los pulsos de entrada según su amplitud en diferentes canales y acumular separadamente el número de pulsos generados en cada canal, la amplitud de los pulsos será proporcional a la energía de las partículas incidentes.

La altura de los pulsos va de 0 a 1 Voltios, estos pulsos son distribuidos por el MCA en 16383 canales.

El MCA que se utilizó en este estudio es marca Ortec Modelo Aspec-927 (Valle, 2016)

4.10 Software

Los datos obtenidos durante el análisis del multicanal son capturados en un equipo de cómputo mediante el programa MAESTRO® -32 v6 ORTEC®, para su manejo en otros formatos (gráficas).

El programa MAESTRO realiza cálculos matemáticos para proporcionar la siguiente información:

- Cuentas del área gruesa
- Cuentas del área neta. (Área bajo la curva del fotopico a analizar)
- Centroide
- Energía del fotopico
- Canal donde se encuentra el fotopico
- FWHM (ancho total a la altura máxima)
- Propuesta del isotopo asociado al fotopico
- Cantidad de cuentas por segundo

Las herramientas del programa nos permiten hacer un acercamiento a los fotopicos graficados en el espectro y observar cada uno de los canales que los conforman.

Para la información el software realiza cálculos tomando en cuenta todas las partes que conforman al fotopico, dichas partes se representan a continuación:

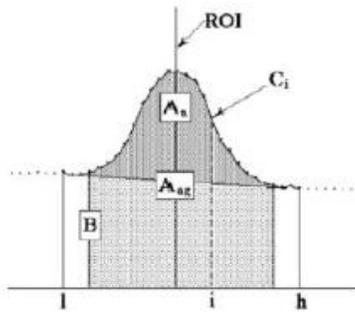


Figura 37: Partes de un fotopico

Fuente: Villarreal, 2017

Donde:

A_{ag} = Área gruesa ajustada

l = Límite inferior "ROI"

h = Límite superior "ROI"

A_n = Área neta

B = Área de la base

* A_{ag} , Es la suma de todos los canales marcados, menos la base.

* A_n : Es la resta del área neta ajustada

B es la suma de las cuentas en el límite menor del pico (l) más la suma de las cuentas en el límite mayor del pico (h), multiplicada por un valor Z que involucra igualmente los valores h y l (límite superior ROI y límite inferior ROI), tal y como se muestra en la siguiente ecuación: (Valle, 2016)

$$A_n = A_{ag} - (B * Z)$$

En el siguiente capítulo, se presentan los resultados obtenidos en el capítulo 5.

Capítulo 5. Resultados y análisis

5.1 Fondo

Se realizó un espectro de fondo, los datos obtenidos se muestran a continuación (Tabla 5, Gráfica 1).

Gráfica 1: Espectro de fondo

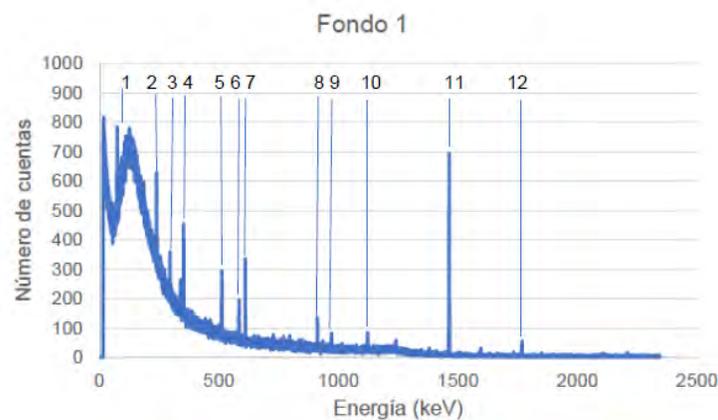


Tabla 5. Datos obtenidos del espectro de fondo

Numero de fotoptico	Energía (keV)	Radioisótopo asociado	Área neta	Área gruesa
1	74.14	-	2079 ±348	22524
2	237.99	212 Pb	1838 ±441	22494
3	294.59	214 Pb	861 ±182	8105
4	351.35	214 Pb	1920 ±146	6601
5	510.27	208TI	3922 ±253	9160
6	582.6	208 TI	1119 ±96	3072
7	608.68	214 Bi	2302±122	4629
8	910.45	228 Ac	1067±101	2477
9	968.19	228 Ac	825±157	2946
10	1119.46	214 Bi	719±87	1830
11	1459.9	40 K	9454±119	9950
12	1763.58	214 Bi	801±51	974

Como podemos observar en la tabla 5 los datos utilizados para el análisis de los espectros fueron:

- Número de fotopico
- Energía del fotopico
- Radioisótopo asociado
- Área neta del fotopico con su respectiva incertidumbre
- Área gruesa del fotopico

Estos datos se utilizarán posteriormente para comparar el fondo con las muestras analizadas.

5.2 Espectro de calibración

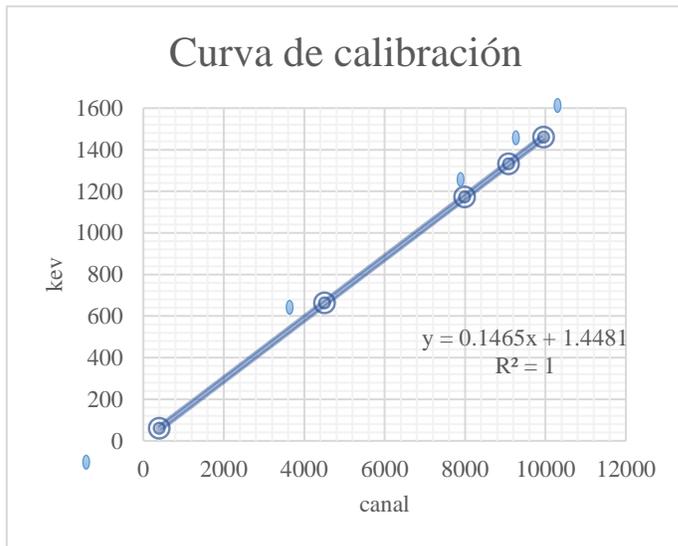
A continuación, se presenta la curva de calibración junto con la Tabla 6 donde se muestran las energías asociadas a cada isótopo y las áreas correspondientes.

Tabla 6. Energías asociadas al espectro de calibración con las energías estandarizadas de radiación gamma.

Radioisótopo asociado	Energía (keV)	Área gruesa (cuentas/22000s)	Área Neta (cuentas/22000s)
²⁴¹ Am	58.65	519293	451450±1002
¹³⁷ Cs	660.93	227778	219984±547
⁶⁰ Co	1172.43	6669	6146±102
⁶⁰ Co	1331.63	5551	5279±85
⁴⁰ K	1460.06	266	184±25

El patrón de ⁶⁰Co emite dos energías de radiación, porque presenta un decaimiento beta (β) para dar ⁶⁰Ni. Esto nos representa una ventaja en la calibración ya que podemos identificar dos tipos de energía provenientes de un mismo patrón.

Con la gráfica 2 se puede comprobar que el sistema es lineal y confiable para realizar los análisis requeridos con los diferentes productos sin que estos cambien su valor dependiendo de la cantidad de masa utilizada durante el análisis (Valle, 2016).



Gráfica 2: Curva de calibración

5.3 Resultados y análisis de las muestras

Se realizaron mediciones del contenido radiológico en 9 muestras de diversas especies de camarón con un tiempo de análisis de 24h (86,400s) para todos los casos, a continuación, se muestran los espectros correspondientes para cada muestra comparado con el espectro de fondo junto con las tablas correspondientes asociando cada isótopo respecto al fotopico señalado.

El enfoque se realizará al área neta total presentada en las tablas de las muestras con sus respectivas incertidumbres, a partir de ello se considerarán solo aquellos radioisótopos asociados que se encuentren presentes (P) (aquellos cuya incertidumbre este por debajo del valor del área neta total), en el caso de aquellos radioisótopos que cuenten con una incertidumbre por encima del área neta total se clasificaran con la leyenda DDI y por último los que presenten un área neta negativa estarán señalados con las siglas (NEM) que tendrán por significado no existente en la muestra.

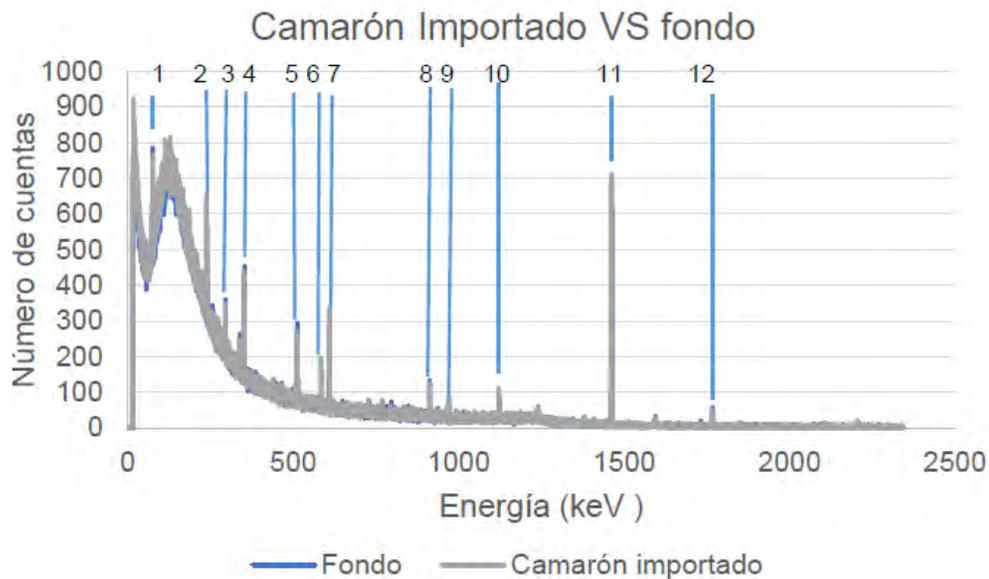
5.3.1 Camarón importado

Tabla 7. Camarón importado

Número de canal	Isotopo	Energía (KeV)	Área neta del fondo	Área Neta muestra	Δ Área neta	Resultado de análisis para la muestra
1	-	74.19	1827 \pm 30	1843 \pm 525	16 \pm 526	DDI
2	212 Pb	238	2115 \pm 423	2136 \pm 374	21 \pm 565	DDI
3	214 Pb	294.63	1262 \pm 214	996 \pm 155	-266 \pm 264	NEM
4	214 Pb	351.28	1944 \pm 195	1940 \pm 218	-4 \pm 292	DDI
5	208Tl	510.23	2739 \pm 179	3001 \pm 239	262 \pm 299	DDI
6	208 Tl	582.55	1202 \pm 106	1108 \pm 114	-94 \pm 156	NEM
7	214 Bi	608.66	2342 \pm 144	2216 \pm 110	-126 \pm 181	NEM
8	228 Ac	910.5	889 \pm 81	976 \pm 93	87 \pm 123	DDI
9	228 Ac	968.24	589 \pm 144	488 \pm 177	-101 \pm 228	NEM
10	214 Bi	1119.53	567 \pm 77	593 \pm 88	26 \pm 117	DDI
11	40 K	1459.95	9362 \pm 123	9793 \pm 119	431 \pm 171	P
12	214 Bi	1763.49	663 \pm 55	621 \pm 49	-42 \pm 74	NEM

*DDI = Dentro de la incertidumbre *NEM= No existente en muestra *P = presente

Grafica 3. Camarón importado



Para el caso del camarón internacional se puede apreciar la presencia de ^{40}K , el cual es de origen natural, es decir, no es resultado de la actividad humana. Sin embargo, el proceso de conservación de dicho alimento (seco) pudo aumentar la concentración, ya que para su conservación es requerida la adición de sales las cuales entre sus componentes puede estar inmerso el potasio, pero la cantidad

contenida de este elemento no supera las 1000 unidades por lo que un cálculo para la IDA no es necesario.

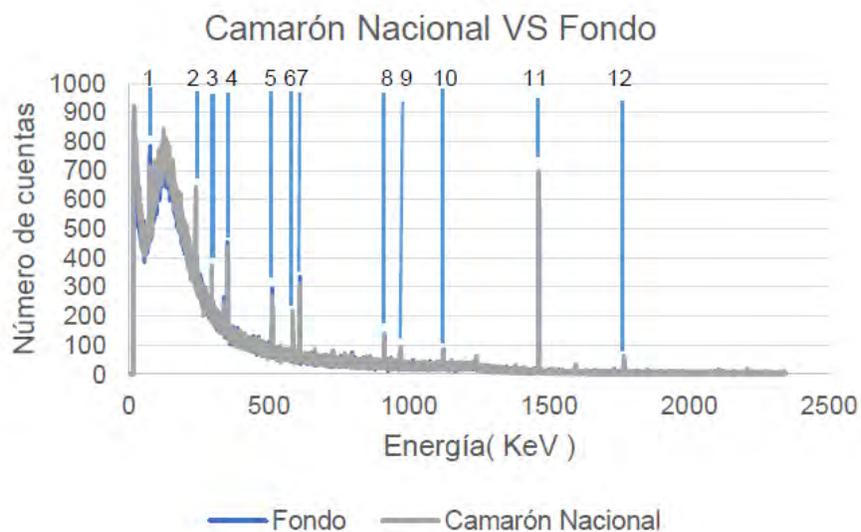
5.3.2 Camarón nacional

Tabla 8. Camarón nacional

Número de canal	Isotopo	Energía (KeV)	Área neta del fondo	Área Neta muestra	Δ Área neta	Resultado de análisis para la muestra
1	-	74.19	1827 \pm 30	1222 \pm 354	-605 \pm 355	NEM
2	212 Pb	238	2115 \pm 423	1781 \pm 259	-334 \pm 496	NEM
3	214 Pb	294.63	1262 \pm 214	938 \pm 239	-324 \pm 321	NEM
4	214 Pb	351.28	1944 \pm 195	1954 \pm 164	10 \pm 255	DDI
5	208Tl	510.23	2739 \pm 179	2859 \pm 240	120 \pm 299	DDI
6	208 Tl	582.55	1202 \pm 106	985 \pm 130	-217 \pm 168	NEM
7	214 Bi	608.66	2342 \pm 144	2452 \pm 154	110 \pm 211	DDI
8	228 Ac	910.5	889 \pm 81	1007 \pm 106	118 \pm 133	DDI
9	228 Ac	968.24	589 \pm 144	724 \pm 127	145 \pm 192	DDI
10	214 Bi	1119.53	567 \pm 77	583 \pm 97	16 \pm 124	DDI
11	40 K	1459.95	9362 \pm 123	9722 \pm 118	360 \pm 170	P
12	214 Bi	1763.49	663 \pm 55	711 \pm 55	48 \pm 78	DDI

*DDI = Dentro de la incertidumbre *NEM= No existente en muestra *P = presente

Gráfico 4. Camarón nacional



En el camarón nacional (Tabla 8, Gráfico 6), se observa al igual que en el caso anterior, únicamente ^{40}K , cabe mencionar que la concentración de este radioisótopo también se ve afectada por el proceso al cual fue sometida (secado) la muestra

antes de su análisis. Para fines de simplicidad en la presente tesis se hace mención que el ^{40}K en las siguientes muestras se muestra ausente, por lo tanto, el proceso de conservación del alimento influye notablemente en la presencia de este radionúclido.

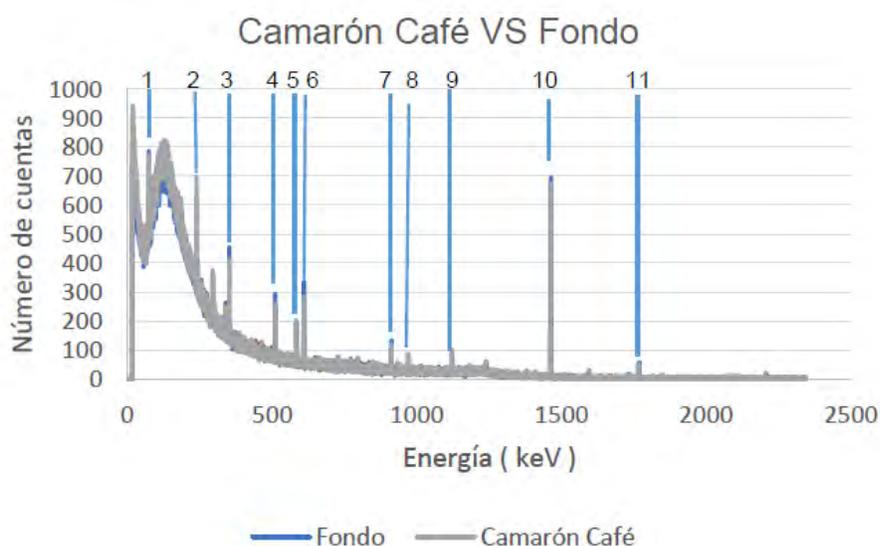
5.3.3 Camarón café

Tabla 9. Camarón café

Número de canal	Isótopo	Energía (KeV)	Área Neta del fondo	Área Neta muestra	Δ Área neta	Resultado de análisis para la muestra
1	-	74.19	1827 \pm 30	1547 \pm 336	-280 \pm 337	NEM
2	212 Pb	238	2115 \pm 423	1955 \pm 428	-160 \pm 602	NEM
3	214 Pb	294.63	1262 \pm 214	1257 \pm 280	-5 \pm 352	NEM
4	214 Pb	351.28	1944 \pm 195	2055 \pm 209	111 \pm 286	DDI
5	208Tl	582.55	1202 \pm 106	1152 \pm 201	-50 \pm 227	NEM
7	214 Bi	608.66	2342 \pm 144	2244 \pm 155	-98 \pm 212	NEM
8	228 Ac	910.5	889 \pm 81	836 \pm 95	-53 \pm 127	NEM
9	228 Ac	968.24	589 \pm 144	780 \pm 138	191 \pm 199	DDI
10	214 Bi	1119.53	567 \pm 77	489 \pm 75	-78 \pm 107	NEM
11	40 K	1459.95	9362 \pm 123	9069 \pm 117	-293 \pm 170	NEM
12	214 Bi	1763.49	663 \pm 55	662 \pm 64	-1 \pm 84	NEM

*DDI = Dentro de la incertidumbre *NEM= No existente en muestra *P = presente

Gráfico 5. Camarón café



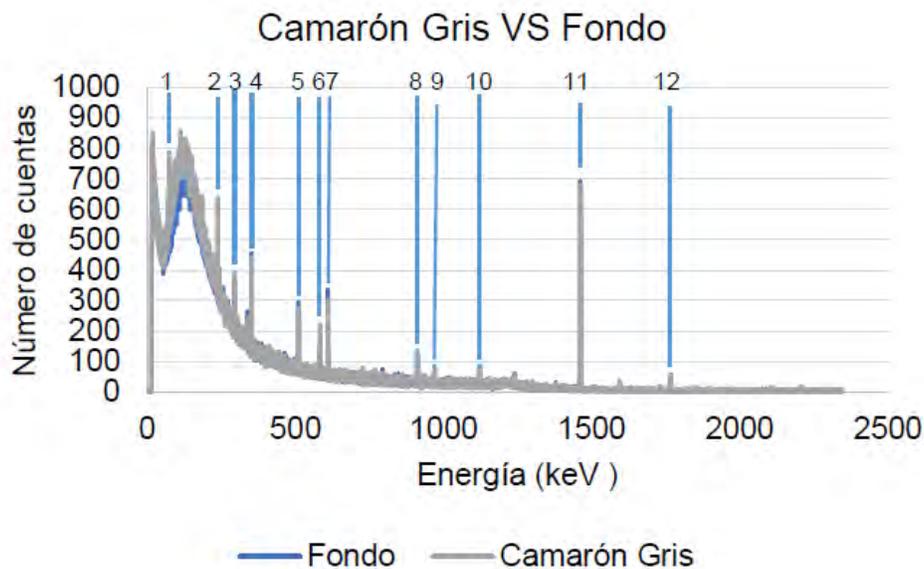
5.3.4 Camarón gris

Tabla 10. Camarón gris

Número de fotopico	Radioisótopo asociado	Energía (keV)	Área neta del fondo	Área neta muestra	Δ Área neta	Resultado de análisis para la muestra
1	-	74.19	1827 ± 30	2245 ± 516	418 ± 517	DDI
2	212 Pb	238	2115 ± 423	2473 ± 425	358 ± 600	DDI
3	214 Pb	294.63	1262 ± 214	1188 ± 204	-74 ± 296	NEM
4	214 Pb	351.28	1944 ± 195	1576 ± 140	-368 ± 240	NEM
5	208Tl	510.23	2739 ± 179	2934 ± 246	195 ± 304	DDI
6	208 Tl	582.55	1202 ± 106	1107 ± 123	-95 ± 162	NEM
7	214 Bi	608.66	2342 ± 144	2210 ± 130	-132 ± 194	NEM
8	228 Ac	910.5	889 ± 81	969 ± 88	184 ± 126	DDI
9	228 Ac	968.24	589 ± 144	370 ± 105	-219 ± 178	NEM
10	214 Bi	1119.53	567 ± 77	667 ± 75	100 ± 107	DDI
11	40 K	1459.95	9362 ± 123	9511 ± 124	149 ± 175	DDI
12	214 Bi	1763.49	663 ± 55	674 ± 44	11 ± 70	DDI

*DDI = Dentro de la incertidumbre *NEM= No existente en muestra *P = presente

Gráfico 6. Camarón gris



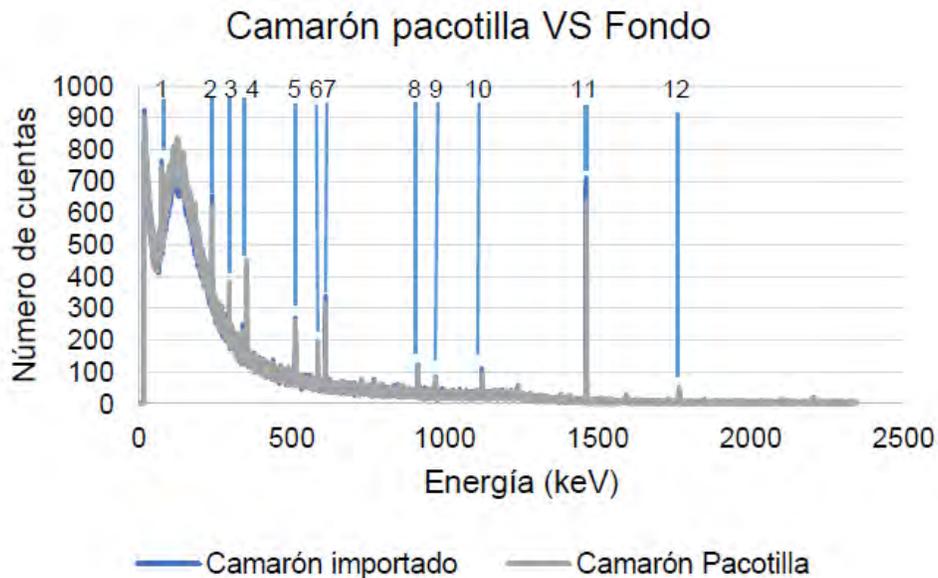
5.3.5 Camarón pacotilla

Tabla 11. Camarón pacotilla

Número de fotopico	Radioisótopo asociado	Energía (keV)	Área neta del fondo	Área neta muestra	Δ Área neta	Resultado de análisis para la muestra
1	-	74.19	1827 \pm 30	603 \pm 230	-1224 \pm 232	NEM
2	212 Pb	238	2115 \pm 423	2247 \pm 420	132 \pm 596	DDI
3	214 Pb	294.63	1262 \pm 214	863 \pm 147	-399 \pm 260	NEM
4	214 Pb	351.28	1944 \pm 195	2038 \pm 163	94 \pm 254	DDI
5	208Tl	510.23	2739 \pm 179	2957 \pm 299	208 \pm 348	DDI
6	208 Tl	582.55	1202 \pm 106	1083 \pm 139	-119 \pm 175	NEM
7	214 Bi	608.66	2342 \pm 144	2137 \pm 145	-205 \pm 204	NEM
8	228 Ac	910.5	889 \pm 81	858 \pm 96	-31 \pm 126	NEM
9	228 Ac	968.24	589 \pm 144	312 \pm 48	-277 \pm 152	NEM
10	214 Bi	1119.53	567 \pm 77	623 \pm 77	56 \pm 109	DDI
11	40 K	1459.95	9362 \pm 123	8958 \pm 112	-404 \pm 166	NEM
12	214 Bi	1763.49	663 \pm 55	714 \pm 48	51 \pm 73	DDI

*DDI = Dentro de la incertidumbre *NEM= No existente en muestra *P = presente

Gráfico 7. Camarón pacotilla



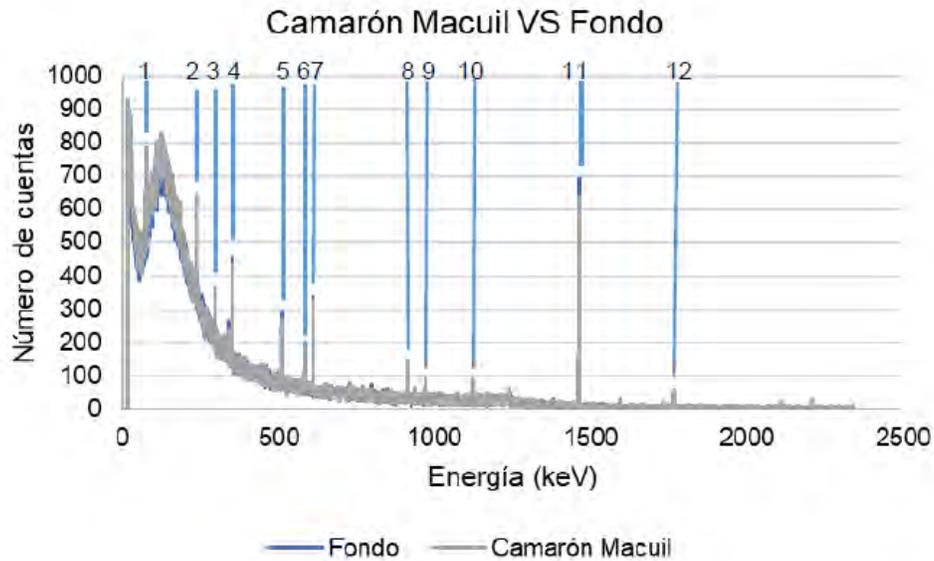
5.3.6 Camarón Macuil

Tabla 12. Camarón Macuil

Número de fotopico	Radioisótopo asociado	Energía (keV)	Área neta del fondo	Área neta muestra	Δ Área neta	Resultado de análisis para la muestra
1	-	74.19	1827 \pm 30	1849 \pm 344	22 \pm 345	DDI
2	212 Pb	238	2115 \pm 423	2479 \pm 350	364 \pm 549	DDI
3	214 Pb	294.63	1262 \pm 214	705 \pm 204	-557 \pm 296	NEM
4	214 Pb	351.28	1944 \pm 195	2023 \pm 182	79 \pm 267	DDI
5	208Tl	510.23	2739 \pm 179	2967 \pm 256	228 \pm 312	DDI
6	208 Tl	582.55	1202 \pm 106	1103 \pm 123	-99 \pm 162	NEM
7	214 Bi	608.66	2342 \pm 144	2185 \pm 19	-157 \pm 145	NEM
8	228 Ac	910.5	889 \pm 81	934 \pm 115	45 \pm 141	DDI
9	228 Ac	968.24	589 \pm 144	552 \pm 164	-37 \pm 218	NEM
10	214 Bi	1119.53	567 \pm 77	628 \pm 119	61 \pm 142	DDI
11	40 K	1459.95	9362 \pm 123	8957 \pm 122	-405 \pm 173	NEM
12	214 Bi	1763.49	663 \pm 55	685 \pm 46	22 \pm 72	DDI

*DDI = Dentro de la incertidumbre *NEM= No existente en muestra *P = presente

Gráfico 8. Camarón Macuil



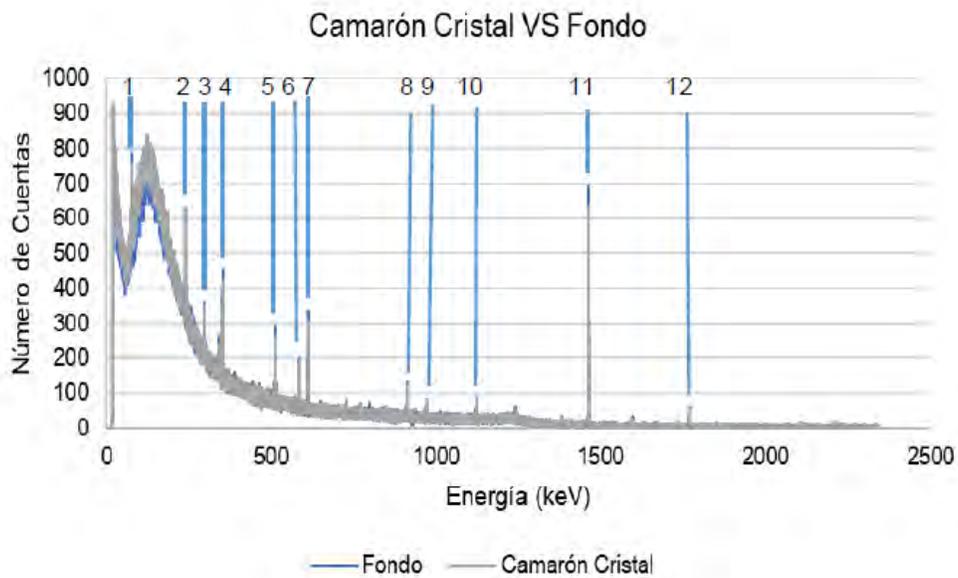
5.3.7 Camarón cristal

Tabla 13. Camarón cristal

Número de fotopico	Radioisótopo asociado	Energía (keV)	Área neta del fondo	Área neta muestra	Δ Área neta	Resultado de análisis para la muestra
1	-	74.19	1827 \pm 30	1464 \pm 330	-363 \pm 331	NEM
2	212 Pb	238	2115 \pm 423	925 \pm 436	-1190 \pm 607	NEM
3	214 Pb	294.63	1262 \pm 214	1164 \pm 168	-98 \pm 285	NEM
4	214 Pb	351.28	1944 \pm 195	1947 \pm 163	3 \pm 254	DDI
5	208Tl	510.23	2739 \pm 179	2978 \pm 199	239 \pm 268	DDI
6	208 Tl	582.55	1202 \pm 106	1060 \pm 117	-142 \pm 158	NEM
7	214 Bi	608.66	2342 \pm 144	2164 \pm 110	-178 \pm 181	NEM
8	228 Ac	910.5	889 \pm 81	850 \pm 96	-39 \pm 126	NEM
9	228 Ac	968.24	589 \pm 144	339 \pm 118	-250 \pm 186	NEM
10	214 Bi	1119.53	567 \pm 77	878 \pm 85	111 \pm 115	DDI
11	40 K	1459.95	9362 \pm 123	9089 \pm 116	-273 \pm 169	NEM
12	214 Bi	1763.49	663 \pm 55	568 \pm 47	-95 \pm 72	NEM

*DDI = Dentro de la incertidumbre *NEM= No existente en muestra *P = presente

Gráfico 9. Camarón cristal



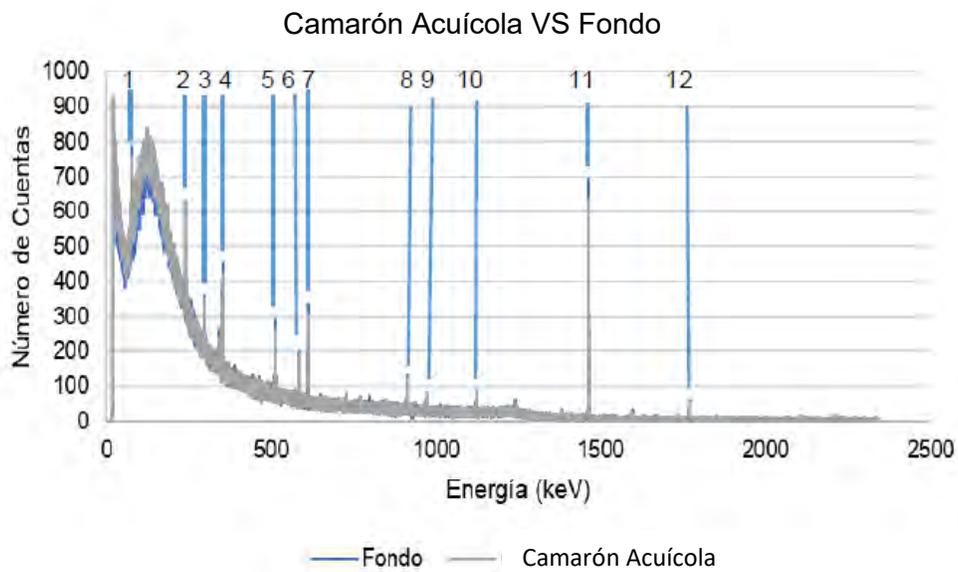
5.3.8 Camarón acuícola

Tabla 14. Camarón acuícola

Número de fotopico	Radioisótopo asociado	Energía (keV)	Área neta del fondo	Área neta muestra	Δ Área neta	Resultado de análisis para la muestra
1	-	74.19	1827 \pm 30	1669 \pm 539	-158 \pm 540	NEM
2	212 Pb	238	2115 \pm 423	3072 \pm 423	957 \pm 598	P
3	214 Pb	294.63	1262 \pm 214	1273 \pm 214	11 \pm 303	DDI
4	214 Pb	351.28	1944 \pm 195	1990 \pm 155	46 \pm 249	DDI
5	208Tl	510.23	2739 \pm 179	2731 \pm 194	-8 \pm 264	NEM
6	208 Tl	582.55	1202 \pm 106	1060 \pm 133	-142 \pm 170	NEM
7	214 Bi	608.66	2342 \pm 144	2076 \pm 117	-266 \pm 186	NEM
8	228 Ac	910.5	889 \pm 81	900 \pm 112	11 \pm 138	DDI
9	228 Ac	968.24	589 \pm 144	318 \pm 88	-271 \pm 169	NEM
10	214 Bi	1119.53	567 \pm 177	645 \pm 86	78 \pm 115	DDI
11	40 K	1459.95	9362 \pm 123	9378 \pm 118	16 \pm 170	DDI
12	214 Bi	1763.49	663 \pm 55	680 \pm 51	17 \pm 75	DDI

*DDI = Dentro de la incertidumbre *NEM= No existente en muestra *P = presente

Gráfico 10. Camarón acuícola



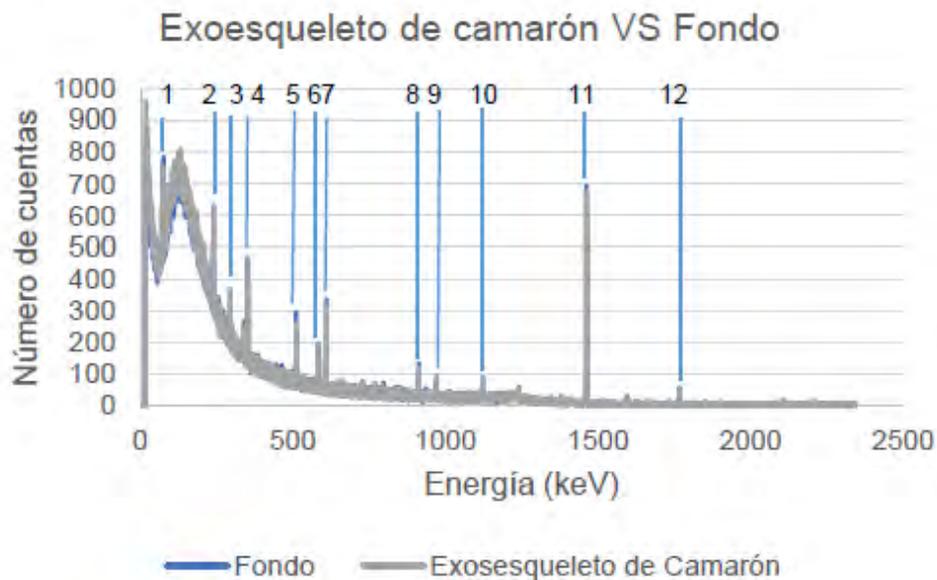
5.3.9 Exoesqueleto de camarón

Tabla 15. Exoesqueleto de camarón

Número de fotopico	Radioisótopo asociado	Energía (keV)	Área neta del fondo	Área neta muestra	Δ Área neta	Resultado de análisis para la muestra
1	-	74.19	1827 \pm 30	2197 \pm 353	-29 \pm 216	NEM
2	212 Pb	238	2115 \pm 423	1672 \pm 441	-443 \pm 611	NEM
3	214 Pb	294.63	1262 \pm 214	1406 \pm 198	144 \pm 292	DDI
4	214 Pb	351.28	1944 \pm 195	2039 \pm 192	95 \pm 274	DDI
5	208Tl	510.23	2739 \pm 179	2994 \pm 222	255 \pm 285	DDI
6	208 Tl	582.55	1202 \pm 106	1047 \pm 139	-155 \pm 175	NEM
7	214 Bi	608.66	2342 \pm 144	2212 \pm 126	-130 \pm 191	NEM
8	228 Ac	910.5	889 \pm 81	745 \pm 78	-144 \pm 112	NEM
9	228 Ac	968.24	589 \pm 144	428 \pm 103	-161 \pm 177	NEM
10	214 Bi	1119.53	567 \pm 77	636 \pm 89	69 \pm 118	DDI
11	40 K	1459.95	9362 \pm 123	8937 \pm 110	-425 \pm 165	NEM
12	214 Bi	1763.49	663 \pm 55	702 \pm 57	39 \pm 79	DDI

*DDI = Dentro de la incertidumbre *NEM= No existente en muestra *P = presente

Gráfico 11. Exoesqueleto de camarón



En general, las muestras no mostraron radionúclidos artificiales y aquellas muestras que presentaron presencia de algunos radioisótopos son los que se encuentran de manera natural en el ambiente. Por otra parte, si se compara el proceso de conservación previo al análisis (procesamiento para mantener la vida de anaquel) se puede apreciar que este sí afecta en la presencia de algunos radioisótopos (por ejemplo ^{40}K), asimismo, el origen y la crianza influyen de manera significativa (tal es el caso del camarón acuícola o el camarón Macuil), ya que la cantidad de radiación y/o presencia de radioisótopos depende directamente del tipo de agua utilizada, el lugar donde éste se encuentre, la especie y la profundidad donde esta se encuentre.

Por origen, el camarón mexicano presenta menor cantidad de ^{40}K con respecto al importado (Taiwán) (*ver tablas 7 y 8*) esto puede deberse a la zona y al proceso de conservación, también que el camarón sea de agua dulce o salada influye en la presencia de algunos radionúclidos, debido a que en el agua dulce no existen corrientes de agua como las que hay en el mar, por lo que la combinación de aguas influye también en la presencia de algunos radioisótopos

Es importante destacar que el exoesqueleto del producto puede llegar a influir en la cantidad de radiación detectada, ya que su composición polimérica sirve de barrera para evitar la recepción de radiación gamma. Su eficiencia se basará en la cantidad de ésta sobre el producto.

En caso de existir radionúclidos artificiales se puede calcular la concentración del radioisótopo o actividad específica, y compararla con los niveles de referencia indicados en la reglamentación internacional, por ejemplo, la norma CODEX STAN 193-1995, de esta forma se puede tomar una decisión para determinar si el alimento se considera inocuo o es necesario tomar otra medida al respecto (Villarreal 2017).

De manera general se puede asegurar que la espectrometría de radiación gamma es eficaz para la detección de compuestos radiológicos en camarón, por esto, se recomienda utilizar este método para la certificación y así lograr una exportación efectiva. Asimismo, es posible utilizar este trabajo para la creación de protocolos estandarizados y/o referencia para la aplicación, no sólo de productos para

exportación, sino también para una certificación en productos de comercio nacional, donde dichas certificaciones podrían llevarse a cabo en los laboratorios de la Facultad de Química de la UNAM.

La utilización de camarón es solo el comienzo para el análisis de miles de productos marinos los cuales están en exposición constante con contaminantes radiológicos.

Conclusiones

- ✓ No se encontraron radionúclidos artificiales ni naturales en las 9 muestras analizadas de camarón.
- ✓ La utilización de la espectrometría de radiación gamma es un método cuantitativo aplicable para la certificación de alimentos.
- ✓ La utilización de espectrometría de radiación gamma en camarón es un método aplicable y propuesto por la FAO hacia el campo de alimentos.
- ✓ La espectrometría de radiación gamma es un método eficaz de análisis ya que examina una muestra 3600 veces en un lapso de 86,400 segundos (24h) esto trae en consecuencia que el espectrómetro sea un producto estadístico de medición confiable.
- ✓ El uso de radiaciones como herramienta ofrece ventajas significativas sobre métodos tradicionales que involucran técnicas nucleares.
- ✓ La espectrometría de radiación gamma es un método ecológicamente amigable que permite el análisis de diversos alimentos sin destruir y que puede analizar simultáneamente múltiples elementos.
- ✓ La presente tesis aporta un protocolo que detalla la metodología necesaria para la detección, mediante espectrometría gamma, y la posterior cuantificación de contaminantes radiológicos contenidos en matrices alimentarias, específicamente camarón. Dicho protocolo puede ser de gran utilidad en el caso de una emergencia nuclear, o bien, para llevar a cabo mediciones rutinarias en productos que participen en el comercio exterior y así asegurar que se cumpla la reglamentación pertinente.
- ✓ La presencia de radionúclidos presentes en camarón dependerá directamente del lugar de origen de estas.

- ✓ El estudio de las radiaciones posee un campo de estudio aplicable a alimentos con el fin de obtener “alimentos seguros” para el consumidor.

Bibliografía

- Bioenciclopedia, 2016. camarón. [Revista en línea] (actualizado al 4 de Julio de 2016) Disponible en: <http://www.bioenciclopedia.com/camaron/>
- El productor, 2015. Exportaciones de camarón. [noticia en línea] (actualizado al 1 de diciembre de 2015) Disponible en: <http://elproductor.com/estadisticas-agropecuarias/exportaciones-de-camaron/>
- Espinosa, J. 2013. Estudio de contaminantes radiológicos en cereales y leguminosas mediante técnicas nucleares. tesis de licenciatura. (México D.F.)
- Espinosa, G., Golzarri, J.I., Padilla-Soriano, E. (2016) Study of the opuntia ficus indica and its radioactive potassium contents using the gamma spectrometry. Journal of Environmental Science and Engineering. 5 (4), 167-172
- Espinosa, G., Golzarri, J.I., Navarrete, M. (2016) Determination of the natural and artificial radioactivity of a selection of traditional Mexican medicinal herbs by gamma spectrometry. J. Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 307, 1717-1721
- Espinosa, G., Golzarri, J.I., Hernandez, I., Angeles, A., Martinez, T., Navarrete, M. July 2009, Analisis of 40K concentrations in coffees and their infusions using gamma spectrometry with HPGe detector. INCS News, VI (3), pag 52-56.
- Fabían, E. 2016. Estudio y determinación mediante métodos nucleares del contenido total de potasio y los posibles contaminantes en el café mexicano., tesis de licenciatura. (México D.F.)
- Foro nuclear. [noticia en línea] (actualizado al 4 de febrero de 2016) Disponible en: <http://www.foronuclear.org/es/energia-nuclear>

- Global Biotech Consulting group adaptación Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2011, SAGARPA
- Hernández, E. 2012. Análisis de las concentraciones de potasio en leche y fórmulas lácteas comerciales mediante espectrometría gamma, usando un detector de germanio hiperpuro. tesis de licenciatura. (México D.F.)
- Martínez, E. 2016 Estudio y determinación mediante métodos nucleares del contenido total de potasio y los posibles contaminantes radiactivos en el café mexicano.
- Moreira et al, 2013, Moluscos y crustáceos. Fundación española de la nutrición. QUISQUILLA, Volumen 1. 2. 3
- Química inorgánica. [página web] (actualizado 2010) Disponible en: <http://www.fullquimica.com/2010/10/tipos-de-nuclidos-isotopos-isobaros-e.html>
- Pérez, A., Palacios, B., Castro, A., Flores, I. (2014) Sistema Mexicano de alimentos equivalentes
- Sánchez, S. 2017, Estudio y análisis de contaminantes radiológicos en maíz (zea mays) y frijol (phaseolus vulgaris L.) en diferentes variedades y tipos, por métodos nucleares. tesis de licenciatura. (México D. F.)
- Organización mundial de sanidad animal, 2012, Síndrome de Taura, Manual acuático capítulo 2.2.5
- Valle, V. 2016 Estudio de contaminantes radiológicos en aguas potables embotelladas comerciales por métodos nucleares. tesis de licenciatura. (México D. F.)
- Villarreal, I. (2017) Estudio de contaminantes radiológicos en productos cárnicos y quesos seleccionados, mediante espectrometría gamma. tesis de licenciatura. (México D. F.)

Apéndice 1. Glosario

Átomo: Partícula más pequeña que en un elemento puede ser dividida sin perder sus propiedades químicas

Actividad: Número desintegraciones por unidad de tiempo.

Becquerel (Bq): Actividad de una fuente radiactiva en la que se produce una transformación o una desintegración nuclear por segundo.

Constante de decaimiento: Probabilidad de que un núcleo decaiga en un instante de tiempo.

Decaimiento radioactivo: Proceso en el que un núcleo inestable se transforma en uno más estable.

Decaimiento alfa (α): Forma de desintegración radiactiva por la cual un núcleo atómico emite una partícula alfa y se convierte en un núcleo con cuatro unidades menos de número másico y dos unidades menos de número atómico.

Decaimiento beta (β): Proceso mediante el cual un núcleo inestable emite una partícula beta (un electrón o positrón) para compensar la relación de neutrones y protones del núcleo atómico.

Decaimiento gamma (γ): Tipo de radiación electromagnética, y por tanto constituida por fotones, producida generalmente por elementos radiactivos o por procesos subatómicos como la aniquilación de un par positrón-electrón.

Detector: Dispositivo utilizado para absorber y transformar la radiación ionizante.

Dosis absorbida: Medida de la energía impartida por la radiación ionizante en forma de energía cinética, por unidad de masa.

Electrón: Partícula elemental estable cargada negativamente y que constituye uno de los componentes fundamentales del átomo.

Excitación: Elevación en el nivel de energía de un sistema físico, por encima de un estado de energía de referencia arbitrario, llamado estado fundamental.

Exposición: Cantidad de iones de uno y otro signo producidos por radiación X o gamma en un volumen de aire.

Ionización: Fenómeno químico o físico mediante el cual se producen iones, estos son átomos o moléculas cargadas eléctricamente debido al exceso o falta

Núclido: Elemento que tiene un número de protones y neutrones definidos.

Partícula alfa (α): Formada por dos neutrones y dos protones.

Partícula beta: Formada por un electrón, positivo o negativo, emitido en la desintegración de un núcleo atómico.

Positrón: Partícula elemental, antipartícula del electrón. Posee la misma cantidad de masa y carga eléctrica; sin embargo, ésta es positiva. No forma parte de la materia ordinaria, sino de la antimateria, aunque se producen en numerosos procesos radio-químicos como parte de transformaciones nucleares.

Protón: Partícula subatómica con una carga eléctrica positiva.

Radiación: Energía o partículas materiales que se propagan a través del espacio. Forma de propagarse la energía o las partículas.

Radiación gamma: Radiación electromagnética emitida durante una desexcitación nuclear, es extraordinariamente penetrante.

Radiación ionizante: Forma de energía electromagnética capaz de producir iones en los átomos de la materia con la cual entra en contacto.

Radioactividad: Propiedad de ciertos elementos químicos cuyos núcleos atómicos son inestables.

Resistividad específica: Una medida a la oposición que presenta un material a flujo de una corriente

Serie radiactiva: Grupo de núcleos en el que cada uno se forma por desintegración del anterior. El primer núcleo de la serie recibe el nombre de padre o cabeza de la serie, el último que es estable, el de producto final de la serie. Cada serie suele designarse por el nombre del primer núcleo de vida media más larga.

Torio: Elemento químico de número atómico 90 y su símbolo Th. Pertenece a la serie de los actinios. Todos sus isótopos son radioactivos; varios de ellos existen en la naturaleza. Destaca el ^{232}Th , que constituye prácticamente el 100% del torio existente y es la cabeza de la serie radiactiva.

Tiempo de vida media: Es el intervalo de tiempo necesario para el que el número de átomos de un núcleo inestable se reduzca a la mitad por desintegración espontánea.

Uranio: Elemento químico de número atómico 92 y símbolo U. Pertenece a la serie de los actínidos. Todos sus isótopos son radioactivos. Existen en la naturaleza como la mezcla de tres isótopos: U_{238} , U_{235} y U_{234} . Los dos primeros tienen vidas medias muy largas y son la cabeza de las series radiactivas naturales del uranio y del actinio, respectivamente; el U_{234} pertenece a la serie del uranio. Es un material fisionable y el combustible por excelencia de los reactores nucleares, gracias a su isótopo natural ^{235}U . En algunos reactores se utiliza uranio que contiene este último isótopo en mayor proporción que el natural.

(Martínez, 2017)

Apéndice 2. Unidades

<i>Dimensión</i>	<i>Unidad</i>	<i>Símbolo</i>
<i>Masa</i>	Gramos	G
<i>Volumen</i>	Litros	L
<i>Tiempo</i>	Segundos	s

<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Unidades base</i>
<i>Actividad</i>	<i>Bequerel</i>	<i>Bq</i>	S^{-1}
<i>Dosis absorbida</i>	<i>Gray</i>	<i>Gy</i>	$J Kg^{-1}$
<i>Dosis equivalente</i>	<i>Sievert</i>	<i>Sv</i>	$J Kg^{-1}$

Equivalencias.

Actividad

1 Bequerel (Bq) = 1 desintegración/s

1 Curie (Ci) = 3.7×10^{10} Bq/s

Concentración de actividad

1 Bq/m³ = 0.001 Bq/L

Apéndice 3. Reglamento UE

26.3.2011

ES

Diario Oficial de la Unión Europea

L 80/5

REGLAMENTO DE EJECUCIÓN (UE) N° 297/2011 DE LA COMISIÓN de 25 de marzo de 2011

por el que se imponen condiciones especiales a la importación de piensos y alimentos originarios o procedentes de Japón a raíz del accidente en la central nuclear de Fukushima

(Texto pertinente a efectos del EEE)

LA COMISIÓN EUROPEA,

Visto el Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea,

Visto el Reglamento (CE) n° 178/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2002, por el que se establecen los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria, se crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y se fijan procedimientos relativos a la seguridad alimentaria ⁽¹⁾, y, en particular, su artículo 53, apartado 1, letra b), inciso ii),

Considerando lo siguiente:

- (1) En el artículo 53 del Reglamento (CE) n° 178/2002 se establece la posibilidad de que la Unión adopte medidas de emergencia adecuadas en relación con alimentos y piensos importados de un tercer país que constituyan un riesgo grave para la salud pública o de los animales o para el medio ambiente, y dicho riesgo no pueda controlarse satisfactoriamente mediante medidas adoptadas separadamente por los Estados miembros.
- (2) A raíz del accidente sufrido en la central nuclear de Fukushima el 11 de marzo de 2011, la Comisión ha sido informada de que los niveles de radionucleidos en algunos productos alimenticios originarios de Japón, como la leche y las espinacas, superaban los umbrales de intervención aplicables en Japón. Esta contaminación puede constituir una amenaza para la salud pública y la salud animal en la Unión y, por precaución, procede adoptar medidas urgentemente a nivel de la Unión para garantizar la seguridad de los piensos y alimentos, con inclusión del pescado y los productos de la pesca, originarios o procedentes de Japón. Como el accidente aún no ha sido controlado, en esta fase es conveniente realizar las pruebas requeridas antes de la exportación a los piensos y alimentos originarios de las prefecturas afectadas, con una zona tampón, y realizar pruebas aleatorias a los piensos y alimentos importados originarios de todo el territorio de Japón.
- (3) Se han establecido tolerancias máximas en el Reglamento (Euratom) n° 3954/87 del Consejo, de 22 de diciembre de 1987, por el que se establecen tolerancias máximas de

contaminación radiactiva de los productos alimenticios y los piensos tras un accidente nuclear o cualquier otro caso de emergencia radiológica ⁽²⁾, el Reglamento (Euratom) n° 944/89 de la Comisión, de 12 de abril de 1989, por el que se establecen tolerancias máximas de contaminación radiactiva de los productos alimenticios secundarios tras un accidente nuclear o cualquier otro caso de emergencia radiológica ⁽³⁾, y el Reglamento (Euratom) n° 770/90 de la Comisión, de 29 de marzo de 1990, por el que se establecen las tolerancias máximas de contaminación radiactiva de los piensos tras un accidente nuclear o cualquier otro caso de emergencia radiológica ⁽⁴⁾.

- (4) Estas tolerancias máximas pueden aplicarse cuando la Comisión recibe información de un accidente nuclear que ponga de manifiesto que es probable que se alcancen o se hayan alcanzado las tolerancias máximas de contaminación radiactiva de los alimentos y los piensos, de acuerdo con la Decisión 87/600/Euratom del Consejo, de 14 de diciembre de 1987, sobre arreglos comunitarios para el rápido intercambio de información en caso de emergencia radiológica ⁽⁵⁾, o de la Convención del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) sobre la pronta notificación de accidentes nucleares de 26 de septiembre de 1986. Mientras tanto, procede utilizar estas tolerancias máximas preestablecidas como valores de referencia para determinar si es aceptable la comercialización de piensos y alimentos.
- (5) Las autoridades japonesas han informado a los servicios de la Comisión de que los productos alimenticios de las regiones afectadas exportados por Japón están siendo sometidos a pruebas apropiadas.
- (6) Además de las pruebas realizadas por las autoridades japonesas, procede someter estas importaciones a controles aleatorios.
- (7) Es conveniente que los Estados miembros informen a la Comisión de todos los resultados analíticos a través del Sistema de Alerta Rápida para Alimentos y Piensos (RASFF) y del Sistema Comunitario de Intercambio de Informaciones Radiológicas Urgentes (ECURIE). Las medidas se revisarán sobre la base de estos resultados analíticos.

⁽²⁾ DO L 371 de 30.12.1987, p. 11.

⁽³⁾ DO L 101 de 13.4.1989, p. 17.

⁽⁴⁾ DO L 83 de 30.3.1990, p. 78.

⁽⁵⁾ DO L 371 de 30.12.1987, p. 76.

⁽¹⁾ DO L 31 de 1.2.2002, p. 1.

- (8) Las medidas previstas en el presente Reglamento se ajustan al dictamen del Comité Permanente de la Cadena Alimentaria y de Sanidad Animal.

3954/87 del Consejo, de 22 de diciembre de 1987, el Reglamento (Euratom) n° 944/89 de la Comisión, de 12 de abril de 1989, y el Reglamento (Euratom) n° 770/90 de la Comisión, de 29 de marzo de 1990.

HA ADOPTADO EL PRESENTE REGLAMENTO:

Artículo 1

Ámbito de aplicación

El presente Reglamento se aplicará a los piensos y los productos alimenticios, en sentido del artículo 1, apartado 2, del Reglamento n° 3954/87, originarios o procedentes de Japón, salvo los productos que hayan salido de Japón antes del 28 de marzo de 2011 y los productos cosechados o procesados antes del 11 de marzo de 2011.

Artículo 2

Declaración

1. Todos los envíos de los productos contemplados en el artículo 1 serán sometidos a las condiciones establecidas en el presente Reglamento.

2. Los envíos de los productos contemplados en el artículo 1 a los que no se aplique la Directiva 97/78/CE del Consejo, de 18 de diciembre de 1997, por la que se establecen los principios relativos a la organización de controles veterinarios de los productos que se introduzcan en la Comunidad procedentes de países terceros⁽¹⁾, se introducirán en la UE a través del punto de entrada designado (en lo sucesivo, «PED»), en el sentido del artículo 3, letra b), del Reglamento (CE) n° 669/2009 de la Comisión, de 24 de julio de 2009, por el que se aplica el Reglamento (CE) n° 882/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta a la intensificación de los controles oficiales de las importaciones de determinados piensos y alimentos de origen no animal y se modifica la Decisión 2006/504/CE⁽²⁾.

3. Cada envío de productos contemplados en el artículo 1 irá acompañado de una declaración en la que se certifique:

- que los productos han sido cosechados y/o procesados antes del 11 de marzo de 2011, o bien
- que los productos son originarios de una prefectura que no sea Fukushima, Gunma, Ibaraki, Tochigi, Miyagi, Yamagata, Niigata, Nagano, Yamanashi, Saitama, Tokio ni Chiba, o bien
- en el caso de productos originarios de las prefecturas de Fukushima, Gunma, Ibaraki, Tochigi, Miyagi, Yamagata, Niigata, Nagano, Yamanashi, Saitama, Tokio y Chiba, que dichos productos no contienen niveles de los radionucleidos yodo-131, cesio-134 y cesio-137 superiores a las tolerancias máximas establecidas en el Reglamento (Euratom) n°

⁽¹⁾ DO L 24 de 30.1.1998, p. 9.

⁽²⁾ DO L 194 de 25.7.2009, p. 11.

4. En el anexo figura un modelo de la declaración a la que se refiere el apartado 3. La declaración irá firmada por una autoridad representativa de las autoridades competentes de Japón y, en el caso de los productos a los que se aplique el apartado 3, tercer guión, irá acompañada de un informe analítico.

Artículo 3

Identificación

Cada envío de productos contemplados en el artículo 1 estará identificado mediante un código que se indicará en la declaración, en el informe de análisis que contenga los resultados del muestreo y el análisis, en el certificado sanitario y en los documentos comerciales que acompañen al envío.

Artículo 4

Notificación previa

Los explotadores de empresas de piensos y alimentos o sus representantes notificarán la llegada de cada envío de productos contemplados en el artículo 1, al menos dos días laborable antes de la llegada física del envío, a las autoridades competentes en el puesto de inspección fronterizo (en lo sucesivo, «PIF») o el PED.

Artículo 5

Controles oficiales

1. Las autoridades competentes del PIF o del PED efectuarán controles documentales y de identidad de todos los envíos de productos contemplados en el artículo 1, así como controles físicos, con inclusión de análisis de laboratorio, para detectar la presencia de yodo-131, cesio-134 y cesio-137, de un 10 % de los envíos de productos contemplados en el artículo 2, apartado 3, tercer guión, y de al menos un 20 % de los envíos de productos contemplados en el artículo 2, apartado 3, segundo guión.

2. Los envíos se mantendrán bajo control oficial, durante un máximo de cinco días laborables, hasta que se disponga de los resultados de los análisis de laboratorio.

3. El despacho a libre práctica de los envíos estará sujeta a la presentación a las autoridades aduaneras por parte del explotador de la empresa de piensos o alimentos, o de su representante, de la declaración mencionada en el anexo, debidamente visada por la autoridad competente en el PIF o el PED, que acredite que se han llevado a cabo los controles oficiales contemplados en el apartado 1 y que los resultados de los eventuales controles físicos han sido satisfactorios.

ANEXO

Declaración para la importación en la Unión Europea de

..... (*)

Código del envío Número de declaración

De acuerdo con las disposiciones del Reglamento de Ejecución (UE) nº 297/2011 de la Comisión, por el que se imponen condiciones especiales a la importación de piensos y alimentos originarios o procedentes de Japón a raíz del accidente en la central nuclear de Fukushima (*),

..... (autoridad competente mencionada en el artículo 2, apartado 2)

DECLARA que

..... (productos contemplados en el artículo 1)

de este envío compuesto de

..... (descripción del envío, productos, número y tipo de envases, peso bruto o neto)

embarcado en (lugar de embarque)

el (fecha de embarque)

por (identificación del transportista)

con destino a (lugar y país de destino)

procedente del establecimiento

..... (nombre y dirección del establecimiento)

fueron cosechados y/o procesado antes del 11 de marzo de 2011,

son originarios de una prefectura distinta de Fukushima, Gunma, Ibaraki, Tochigi, Miyagi, Yamagata, Niigata, Nagano, Yamanashi, Saitama, Tokio o Chiba,

son originarios de las prefecturas de Fukushima, Gunma, Ibaraki, Tochigi, Miyagi, Yamagata, Niigata, Nagano, Yamanashi, Saitama, Tokio o Chiba, fueron sometidos a un muestreo el (fecha), fueron objeto de un análisis de laboratorio el

(fecha) en

(nombre del laboratorio), para determinar el nivel de radionucleidos, yodo-131, cesio 134 y cesio 137, los resultados analíticos son conformes con las tolerancias máximas mencionadas en el artículo 2, apartado 3. Se adjunta el informe de análisis.

Hecho en el

Sello y firma del representante autorizado de la autoridad competente mencionada en el artículo 2, apartado 4

Esta parte debe rellenarla la autoridad competente en el PIF o el PED

El envío ha sido aceptado para su presentación de cara al despacho a libre práctica por las autoridades competentes en la Unión Europea

.....

(Autoridad competente, Estado miembro)

.....

Fecha

Sello

Firma

(*) Producto y país de origen.
(**) El presente Reglamento.

Apéndice 4. Certificado de exportación de productos agrícolas

L 306/8

ES

Diario Oficial de la Unión Europea

7.11.2006

ANEXO III

CERTIFICADO DE EXPORTACIÓN DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS (UN CERTIFICADO POR CADA ESPECIE)

Este certificado debe ser presentado, por triplicado, junto con la declaración de despacho a libre práctica y deberá ser conservado por la aduana

Declaración del exportador

1. Exportador (nombre y apellidos, dirección completa y país)	5. País de origen	6. País de destino
2. Destinatario (nombre y apellidos, dirección completa y país)	7. Número(s) de factura(s)	
3. Identidad del medio de transporte	8. Número y tipo de bultos	9. Marcas y números de lotes
4. Descripción de los productos	10. Masa bruta (kg)	11. Masa neta (kg)
12. El abajo firmante, responsable de estas exportaciones, certifica la información arriba expuesta		
Fecha Lugar Nombre (en letras de imprenta)		
Firma ⁽¹⁾ :		

⁽¹⁾ Las firmas y sellos deberán ir en un color diferente al del texto

Apéndice 5. Certificado de laboratorio

7.11.2006

ES

Diario Oficial de la Unión Europea

L 306/9

Certificado del laboratorio

13. Número de muestras analizadas de los productos antes mencionados, tomadas de forma representativa por una persona autorizada por las autoridades competentes:	15. Identidad del laboratorio (nombre, dirección completa y país)
14. Niveles de radiactividad registrados en cada muestra (Bq/kg) (especifíquese el número de lote para cada muestra): Informe nº Fecha	16. Acreditado por (nombre y dirección del organismo) 17. Fecha, nombre (en letras de imprenta, firma y sello del laboratorio (1))

Este informe debe presentarse inmediatamente a petición de las autoridades de control

Apéndice 6. Certificado de la autoridad competente

Certificado de la autoridad competente

18. El abajo firmante certifica que el nivel acumulado de radiactividad en cuanto a cesio 134 y 137 para los productos arriba descritos no supera las siguientes cifras:

370 Bq/kg para la leche y productos lácteos y para los productos alimenticios destinados a la alimentación específica infantil, y 600 Bq/kg para todos los demás productos enumerados en el Reglamento de la Comisión vigente relativo al Reglamento (CEE) nº 737/90 del Consejo ⁽²⁾

Localidad Fecha Nombre (en letras de imprenta)

Firma ⁽¹⁾: Sello ⁽¹⁾:

⁽¹⁾ Las firmas y sellos deberán ir en un color diferente al del texto

⁽²⁾ Táchese lo que no proceda