



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**"ESTUDIO Y ANÁLISIS DE CONTAMINANTES
RADIOLÓGICOS EN FRUTOS ROJOS, COMO
FRAMBUESAS, FRESAS Y CEREZAS POR MÉTODOS
NUCLEARES"**

PRESENTA:
REVUELTAS AMILPA KARLA STAECY

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
QUÍMICA DE ALIMENTOS

ASESOR DE TESIS:
ESPINOSA GARCÍA GUILLERMO CIRANO



CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX.

2021



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: ORTIZ PALMA PÉREZ JUAN DIEGO

VOCAL: Profesor: HERNÁNDEZ BRIONES VERÓNICA

SECRETARIO: Profesor: ESPINOSA GARCÍA GUILLERMO CIRANO

1er. SUPLENTE: Profesor: GARCÍA SATURNINO VERÓNICA

2º SUPLENTE: Profesor: GÓMEZ SIERRA TANIA

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

INSTITUTO DE FÍSICA, UNAM. PROYECTO DE APLICACIONES DE DOSIMETRÍA. EDIFICIO VAN DE GRAFF. LAB. A-23

ASESOR DEL TEMA:

Dr. GUILLERMO CIRANO ESPINOSA GARCÍA.

SUSTENTANTE:

KARLA STAECY REVUELTAS AMILPA

AGRADECIMIENTOS.

Al Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México (IFUNAM), ya que este estudio fue realizado usando las facilidades y laboratorios del "Proyecto de Aplicación de la Dosimetría" y para el proyecto PAPIIT IN-102819 titulado: "Determinación de contenidos radiactivos en agua, aire, suelos y alimentos (parte V)".

Al Dr. Guillermo Cirano Espinosa García mi asesor de tesis, por la propuesta y dirección de este trabajo.

A José Ignacio Golzarri y Moreno por su paciencia, apoyo y ayuda para que pudiera ser posible este trabajo.

A los profesores que fueron parte de mi formación académica lo largo de mi vida, así como a los sinodales por su tiempo y sus consejos para la mejora de mi tesis.

ÍNDICE.

<u>INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>1</u>
<u>OBJETIVO GENERAL Y PARTICULARES.....</u>	<u>2</u>
<u>CAPÍTULO PRIMERO. ASPECTOS FUNDAMENTALES EN QUÍMICA DE ALIMENTOS.....</u>	<u>3</u>
<u>1.1. Antecedentes generales.....</u>	<u>3</u>
<u>1.2. Producción, comercialización y consumo de Frutos rojos.....</u>	<u>6</u>
<u>1.2.1. Frambuesa.....</u>	<u>7</u>
<u>1.2.1.1. Producción, comercialización y consumo de Frambuesa.....</u>	<u>8</u>
<u>1.2.2. Fresa.....</u>	<u>11</u>
<u>1.2.1.1. Producción, comercialización y consumo de Fresa.....</u>	<u>13</u>
<u>1.2.3. Cereza.....</u>	<u>16</u>
<u>1.2.3.1. Producción, comercialización y consumo de Cereza.....</u>	<u>17</u>
<u>1.3. Legislación.....</u>	<u>19</u>
<u>CAPÍTULO SEGUNDO. ASPECTOS FUNDAMENTALES EN FÍSICA.....</u>	<u>22</u>
<u>2.1. Nucleidos.....</u>	<u>22</u>
<u>2.2. Vida Media.....</u>	<u>23</u>

<u>2.3. Decaimiento Radioactivo.....</u>	<u>23</u>
<u>2.4. Tipos de Decaimiento Radioativo.....</u>	<u>24</u>
<u>2.4.1. Decaimiento alfa (α).....</u>	<u>24</u>
<u>2.4.2. Decaimiento beta (β).....</u>	<u>24</u>
<u>2.4.3. Decaimiento gamma (γ).....</u>	<u>25</u>
<u>2.5. Radiación.....</u>	<u>27</u>
<u>2.6. Unidades de Radioactividad.....</u>	<u>28</u>
<u>2.7. Cadenas de Decaimiento Radioactivo de Radioisótopos Naturales.....</u>	<u>28</u>
<u>2.8. Contaminación de alimentos por radioisótopos.....</u>	<u>32</u>
<u>2.9. Efectos en la salud.....</u>	<u>32</u>
<u>2.10. Métodos de medición de contenido radiológico.....</u>	<u>33</u>
<u>2.10.1. Espectrometría gamma.....</u>	<u>33</u>
<u>CAPÍTULO TERCERO. PROTOCOLO DE CERTIFICACIÓN.....</u>	<u>35</u>
<u>3.1. Selección de la muestra.....</u>	<u>36</u>
<u>3.2. Calibración del detector.....</u>	<u>38</u>

<u>3.3. Preparación de la muestra.....</u>	<u>39</u>
<u>3.4. Análisis del espectro fotoeléctrico.....</u>	<u>40</u>
<u>CAPÍTULO CUARTO. INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA EN ESPECTROMETRÍA</u>	
<u>GAMMA.....</u>	<u>41</u>
<u>4.1. Espectrometría de radiación gamma.....</u>	<u>42</u>
<u>4.2. Detector de Germanio Hiperpuro (HPGe).....</u>	<u>42</u>
<u>4.2.1. Blindaje del detector.....</u>	<u>44</u>
<u>4.3. Siatemas electrónico.....</u>	<u>45</u>
<u>4.4. Contenedor de la muestra.....</u>	<u>47</u>
<u>4.5. Equipo de computo.....</u>	<u>47</u>
<u>CAPÍTULO QUINTO. RESULTADOS, ANÁLISIS Y CONCLUSIONES.....</u>	<u>48</u>
<u>5.1. Calibración de Energía.....</u>	<u>48</u>
<u>5.2. Espectro de fondo.....</u>	<u>49</u>
<u>5.3. Espectros obtenidos de las muestras analizadas.....</u>	<u>51</u>
<u>5.3.1. Espectros obtenidos de las muestras de Frambuesas.....</u>	<u>51</u>
<u>5.3.1.1. Espectro obtenido de la muestra de Frambuesas de</u>	
<u>Puebla.....</u>	<u>51</u>

<u>5.3.1.2. Espectro obtenido de la muestra de Frambuesas de Michoacán.....</u>	<u>53</u>
<u>5.3.2. Espectros obtenidos de las muestras de Fresas.....</u>	<u>55</u>
<u>5.3.2.1. Espectro obtenido de la muestra de Fresas de Michoacán.....</u>	<u>55</u>
<u>5.3.2.2. Espectro obtenido de la muestra de Fresas del Estado de México.....</u>	<u>57</u>
<u>5.3.3. Espectro obtenido de la muestra de Cereza.....</u>	<u>59</u>
<u>5.3.3.1. Espectro obtenido de la muestra de Cerezas de Chile.....</u>	<u>59</u>
<u>5.4. Análisis de resultados.....</u>	<u>61</u>
<u>5.5. Conclusiones.....</u>	<u>63</u>
<u>5.6. Alcances del proyecto.....</u>	<u>64</u>
<u>Referencias.....</u>	<u>65</u>
<u>Anexo.....</u>	<u>70</u>

INTRODUCCIÓN.

Un alimento contaminado es aquel que contiene gérmenes patógenos, sustancias químicas o radioactivas, toxinas o parásitos, capaces de transmitir o generar riesgo de enfermedades a las personas (*Elika,2019*). La contaminación radiológica de los alimentos es poco divulgada en México por lo que existe la necesidad de investigar alimentos para conocer su estado respecto a este tipo de contaminación y poder llamarlos Alimentos Seguros de acuerdo a los protocolos establecidos por la Food and Agriculture Organization (FAO).

El ser humano se encuentra expuesto continuamente a radiaciones procedentes de diversas fuentes cuyo origen puede ser natural (rayos cósmicos o rayos gama) o artificial (provocados por el hombre). La radiactividad se encuentra a nuestro alrededor por lo que aprender a identificarla y controlarla trae grandes beneficios para la humanidad. Puede definirse como un fenómeno físico que se caracteriza por la desintegración de los núcleos atómicos inestables que se acompaña de la emisión de radiación ionizante hasta alcanzar su estabilidad pasado el tiempo de vida media característico para cada elemento radioactivo. Estos elementos reciben el nombre de radioisótopos, átomos del mismo elemento que comparten el número de electrones y protones, pero difieren en la cantidad de neutrones (*López,2004*).

Los alimentos pueden ser el vehículo por el cual estos elementos lleguen al interior de nuestro cuerpo, su presencia se produce inicialmente por absorción desde el suelo, pueden incorporarse al cuerpo por el consumo directo de vegetales, animales o productos derivados. A pesar de que la dosis ingerida sea pequeña, la detección de estos elementos toma importancia puesto que el organismo no cuenta con mecanismos para desecharlos, además de que algunos de los radionucleidos poseen afinidad por ciertos tejidos o pueden generar modificaciones en el ADN. Por lo anterior en este trabajo se pretende estudiar y analizar contaminantes radiológicos en frutos rojos por métodos nucleares en el Instituto de Física, UNAM, determinando por medio de una técnica de espectrometría de radiación gamma y multicanal de alta resolución si es posible detectar isótopos radiactivos naturales o no naturales en fresas, frambuesas y cerezas,

asegurando así que su consumo es seguro y puede recomendarse libremente como fuente de antioxidantes y no generar un problema de salud en los consumidores por este tipo de contaminación.

OBJETIVO GENERAL.

Cuantificar el contenido de contaminantes radiológicos en los frutos rojos seleccionados: frambuesas, fresas y cerezas debido a que un alto contenido de estos podría originar daños a la salud de quien los consuma.

OBJETIVOS PARTICULARES.

- Proponer este trabajo como desarrollo de un protocolo para la cuantificación de contaminantes radiológicos por la técnica de espectrometría gamma.
- Contribuir con resultados para la elaboración de un mapa (Atlas) de la distribución de contaminantes en alimentos por zona geográfica en México, que pueda ser utilizado como referencia en posteriores evaluaciones, en caso de un accidente nuclear u otras alteraciones en el medio ambiente.

CAPÍTULO PRIMERO: ASPECTOS FUNDAMENTALES EN QUÍMICA DE ALIMENTOS.

1.1. Antecedentes generales.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda incorporar frutas a la dieta diaria para reducir el riesgo de enfermedades como cardiopatías y determinados tipos de cáncer; con el consumo de frutas también puede prevenirse el aumento de peso y reducir la obesidad (OMS, 2019).

En la actualidad se tiene un impacto mayor en el consumidor por lo denominado como “mercado de la salud” (Vega, 2003), este incluye alimentos con antioxidantes considerados alimentos funcionales, estos pueden ser naturales e industriales que formen parte de la dieta diaria que además de aportar nutrientes contengan sustancias bioactivas (Drago, López y Saíenz, 2006). Una fuente rica de estas sustancias son las frutas, debido a que nos aportan nutrientes y sustancias benéficas para la salud como son los antioxidantes, que ejercen un efecto protector en los tejidos, atrapando productos intermediarios de la oxidación y reduciendo el daño oxidativo (Mattivi, 2002).

Los antioxidantes dietéticos pueden definirse como sustancias que forman parte de los alimentos de consumo cotidiano y que pueden prevenir los efectos adversos de especies reactivas sobre las funciones fisiológicas normales de los humanos (Patthamakanokporn, 2008).

Asociado a la función antioxidante se considera el proceso de óxido-reducción donde se lleva a cabo la oxidación que implica una pérdida de electrones de hidrógeno con la ganancia de oxígeno en la molécula, y la reducción donde se gana electrones de hidrógeno con la pérdida de oxígeno (Núñez, 2011). La oxidación en el cuerpo humano se lleva a cabo por la afectación de radicales libres cuya estructura química tiene uno o más electrones no apareados lo que los hace altamente reactivos y claves para formar radicales libres en cadena. Dentro del cuerpo humano se liberan durante el metabolismo, pero también se producen por contaminación ambiental y radiaciones (UV, gama) (Llancari y Mateos, 2011).

Los antioxidantes dentro del cuerpo humano se sintetizan en las células (endógenos), pero pueden ingresar al organismo por medio del consumo de alimentos (exógenos). Para que un alimento pueda proporcionar estas sustancias, debe ser rico en Vitaminas E, C, Betacarotenos, Licopeno y Flavonoides (Sax y Lewis, 1993). Estos últimos se encuentran presentes en el grupo denominado como frutos rojos compuesto principalmente de fresas, frambuesas, cerezas, arándanos, entre otros.

El término flavonoide se refiere a un grupo aromático, con características de pigmento heterocíclico que contiene oxígeno ampliamente distribuido entre las plantas, constituyendo la mayoría de los colores amarillo, rojo y azul de las plantas y frutas (Sax y Lewis, 1993). Su estructura está compuesta por dos anillos fenilos (A y B), ligados mediante un anillo pirano (C) (Andersen y Markham 2006). La clasificación de estas moléculas se basa en las variaciones del anillo pirano.

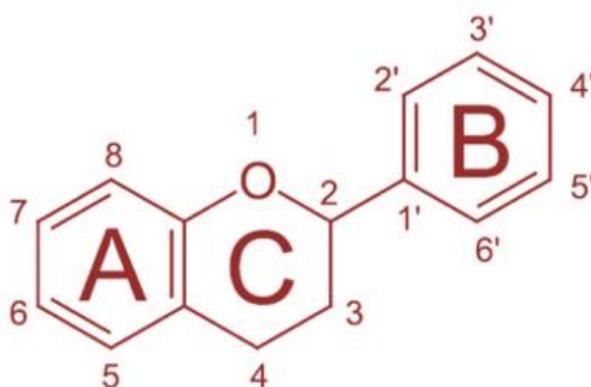
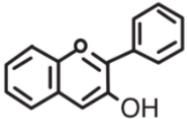
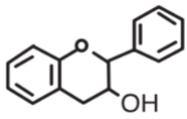
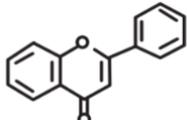
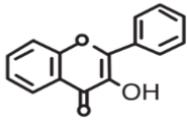


Figura 1. Estructura de flavonoide con numeración y especificación de cada heterociclo (Escamilla, Cuevas, y Guevara, 2009).

Los flavonoides pueden clasificarse en cuatro grandes grupos que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 1. Clasificación de los flavonoides (Escamilla, Cuevas, y Guevara, 2009).

Nombre	Descripción	Ejemplo	Estructura
Antocianidinas	Tiene un grupo –OH unido en posición 3, pero además poseen un doble enlace entre los carbonos 3 y 4 del anillo C.	Antocianidina	
Flavanos	Con un grupo –OH en posición 3 del anillo C	Catequina	
Flavonas	Poseen un grupo carbonilo en posición 4 del anillo C y carecen del grupo hidroxilo en posición C3	Diosmetina	
Flavonoles	Grupo carbonilo en posición 4 y un grupo –OH en posición 3 del anillo C	Quercetina	

Los denominados Frutos Rojos como se menciona anteriormente contienen polifenoles, flavonoides y antocianinas que son antioxidantes que sabemos tienen capacidades de prevenir la formación de radicales libres e interceptar los que ya se han generado, disminuyendo así el envejecimiento por estrés oxidativo, y previniendo enfermedades crónico-degenerativas.

En la actualidad existen estudios y artículos científicos que recomiendan el consumo de estos alimentos para prevención y disminución de los efectos de radicales libres, por esta razón surge la inquietud de analizarlos y comprobar si se encuentran libres de contaminantes radiológicos para poder ser recomendados libremente y consumidos por la población sin ningún daño a la salud a largo a plazo.

1.2. Producción, comercialización y consumo de Frutos Rojos.

En la actualidad los Frutos Rojos son apreciados por su aporte de vitaminas y antioxidantes a la dieta diaria por lo que se ha generado una demanda internacional. La rentabilidad de la producción de berries entre las que se encuentran los frutos rojos (fresa, frambuesa, cereza) ha derivado en el crecimiento de la superficie de producción con variedades mejoradas, tecnologías de vanguardia para mejorar la productividad, sistemas de agricultura protegida, riego tecnificado, además de mejores prácticas de producción y manejo para asegurar la calidad e inocuidad de los productos, que les permiten participar en estos mercados de alto valor.

Ante la demanda internacional, en México se iniciaron iniciativas y aumentó el número de productores, dando como resultado la producción de más de 1 millón 85,000 toneladas de berries en el año 2017. De la superficie sembrada el 95% se concentra en cuatro entidades principales: Michoacán, Jalisco, Baja California y Guanajuato. A nivel internacional México se encuentra en el lugar número tres de los principales productores después de China y Estados Unidos, aportando el 4.3% a la producción mundial y exportando el 10.6% siendo así el país número cuatro en exportación (SAGARPA, 2018).



Figura 2. Ejemplo de especies pertenecientes a las berries.

1.2.1. Frambuesa.

El Frambueso rojo (*Rubus idaeus L.*) tiene sus orígenes, en forma silvestre, en el monte Ida de la isla de Creta (Grecia). Actualmente, su cultivo está muy extendido por todo el mundo y se produce prácticamente en todas las zonas frutícolas, tanto en el hemisferio norte como en el sur y, desde la costa hasta altitudes superiores a los 1000 msnm (García, Gonzales y Ciordia, 2014).

El fruto está formado por numerosas drupas agregadas entre sí, formando una polidrupa en torno a un receptáculo, del que se desprende en la maduración. La inmensa mayoría de las variedades cultivadas producen frutos de color rojo, aunque también existen algunos de color amarillo, purpúreo o negro. La pulpa es jugosa y contiene en su interior un gran número de diminutas semillas, normalmente una por drupeola, que no impiden su consumo en fresco. El sabor es acidulado, muy aromático y perfumado.

Las proporciones de sus nutrientes pueden variar según las diferentes variedades y el grado de madurez del fruto. En general, el principal elemento es el agua (85-90%)(Tabla 7.). Aproximadamente, contienen un 5,0% de carbohidratos, como la fructosa y glucosa, que constituyen el componente mayoritario de la fracción soluble. El ácido cítrico (1,72%) es el segundo componente de esta fracción (García, Gonzales y Ciordia, 2014).

La climatología también afecta al sabor; de este modo, los frutos que maduran en veranos secos y templados son más dulces y menos ácidos que los que maduran en clima húmedo y en condiciones extremas de calor reducen su aroma. Son una fuente excelente de vitamina C y ricos en vitaminas A, E y K, así como en ácido fólico y diversos minerales como fósforo, calcio, magnesio, potasio, manganeso o hierro (García, Gonzales y Ciordia, 2014).

Tabla 7. Composición química de la Frambuesa por 100g de fruta fresca (García, Gonzales y Ciordia, 2014).

<i>Componentes</i>	<i>Contenido</i>
<i>Agua</i>	<i>85.7 g</i>
<i>Proteína</i>	<i>1.2 g</i>
<i>Carbohidratos</i>	<i>11.9 g</i>
<i>Lípidos</i>	<i>0.7 g</i>
<i>Vitaminas</i>	
<i>Vitamina A</i>	<i>33.0 UI</i>
<i>Vitamina C</i>	<i>26.2 mg</i>
<i>Vitamina E</i>	<i>0.9 mg</i>
<i>Vitamina K</i>	<i>7.8 µg</i>
<i>Ácido fólico</i>	<i>21.0µg</i>
<i>Minerales</i>	
<i>Calcio</i>	<i>25.0 mg</i>
<i>Hierro</i>	<i>0.7 mg</i>
<i>Magnesio</i>	<i>22.0 mg</i>
<i>Fósforo</i>	<i>29.0 mg</i>
<i>Manganeso</i>	<i>0.7 mg</i>
<i>Potasio</i>	<i>151.0 mg</i>
<i>Sodio</i>	<i>1.0 mg</i>

1.2.1.1. Producción, comercialización y consumo de Frambuesa.

Dentro del grupo de los pequeños frutos, la Frambuesa es la más conocida y consumida a nivel mundial no solo por su sabor si no por ser ricas en vitamina C, minerales, antioxidantes y tener un alto contenido en fibra. Actualmente, su consumo en fresco sigue aumentando debido, a que se puede encontrar en los mercados los 12 meses del año,

(García, Gonzales y Ciordia, 2014). Aunque su temporada de cosecha en nuestro país es en el mes de junio.

En México se producen alrededor de 130,000 toneladas al año siendo los principales estados productores Jalisco, Michoacán, Baja California y Puebla (*Tabla 8*), de acuerdo con los datos reportados por el Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP) para 2018. Siendo el principal productor Jalisco con el 71% de la producción nacional (SIAP, 2018) a continuación se muestran los estados productores de Frambuesas.

Tabla 8. Producción Nacional de Frambuesa por Estado (SIAP, 2018).

Estado	Producción (toneladas)	Porcentaje de Producción (%)
Jalisco	91983.62	70.65
Michoacán	23383.99	17.96
Baja California	14179.1	10.89
Puebla	571.95	0.44
Estado de México	45.25	0.03
Colima	14.3	0.01
Ciudad de México	8.94	0.006

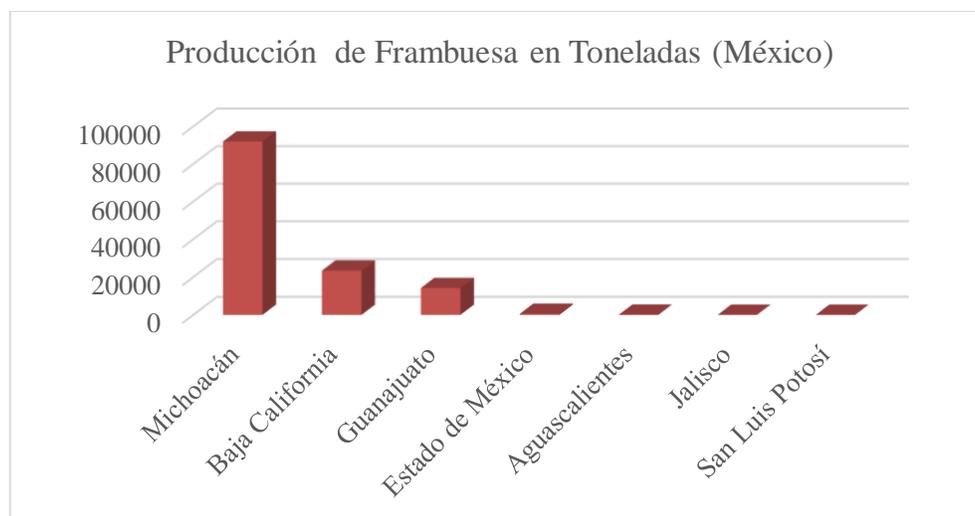


Figura 3. Producción Nacional de Frambuesa (SIAP, 2018).

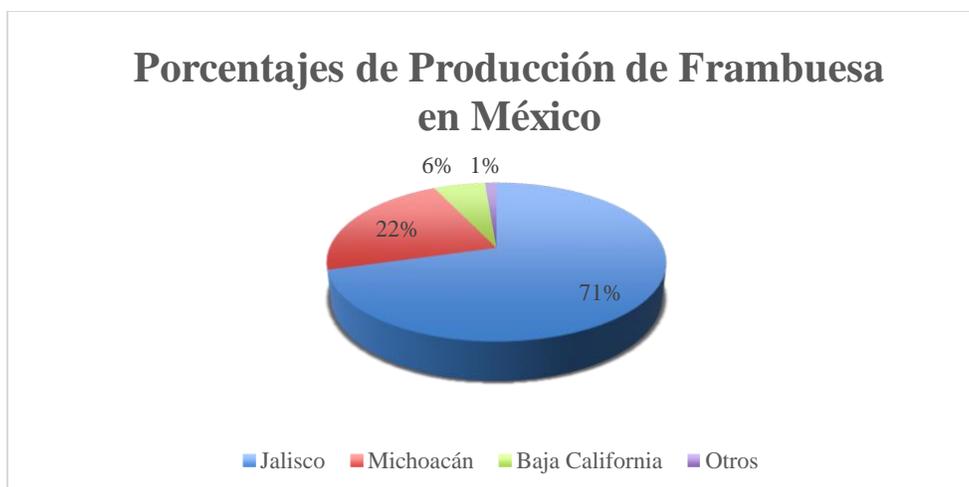


Figura 4. Porcentaje de Producción Nacional de Frambuesa (SIAP, 2018).

Hasta el año 2018, México ocupaba el segundo lugar a nivel mundial como productor de frambuesa (Tabla 9), de acuerdo a los datos reportados por la FAO, México produce 130,187 toneladas de frambuesa, aportando así el 16% de la producción mundial (Figura 4), el principal productor de frambuesa es la Federación de Rusia con un 20% de la producción mundial. En la Tabla 9 se muestran los diez principales productores de acuerdo a los datos arrojados por la Food and Agriculture Organization (FAO) para el año 2018.

Tabla 9. Producción Mundial de Frambuesa (FAOSTAD, 2018).

Lugar	País	Producción(toneladas)	Porcentaje de Producción (%)
1	Federación de Rusia	165800	20.54
2	México	130187	16.13
3	Serbia	127010	15.73
4	Polonia	115613	14.32
5	Estados Unidos de América	99250	12.30
6	España	43705	5.41
7	Ucrania	35150	4.35
8	Bosnia y Herzegovina	27466	3.40
9	Chile	19681	2.44
10	Portugal	18229	2.26

Las Frambuesas se utilizan en la elaboración de salsas, vinagres, mermeladas, yogurs, helados, licores aromatizados, repostería, zumo, tanto para la gran industria como para la de tipo artesanal, obteniéndose productos de altísima calidad. La importancia en el sector industrial es tal que el 90% de la producción mundial de frambuesa se destina para este uso, y principalmente para la elaboración de zumos concentrados. También se emplean en fitoterapia, farmacología, medicina o como fuente de colorantes naturales (García, Gonzales y Ciordia, 2014).

1.2.2. Fresa.

La Fresa (*Fragaria spp.*) es la berrie más producida y comercializada en el mundo, los principales mercados importadores son Canadá, Estados Unidos, Alemania y Francia. Es reconocida y demandada por su sabor, su contenido de vitamina C, flavonoides concretamente antocianinas y minerales (hierro, ácido fólico y ácido salicílico), pertenece a la familia de las Rosáceas y al género *Fragaria*. La familia Rosáceas incluye más de 2 mil especies de plantas herbáceas, arbustos y árboles distribuidos por las regiones templadas de todo el mundo. Se tienen documentadas más de mil variedades de fresa.

En el cultivo de fresa la selección de las variedades apropiadas es muy importante, pues además de que determinan el rendimiento y calidad, también influye la temporada de producción y las prácticas de control de plagas (Santoyo, 2009; Odriozola, 2009).



Figura 5. Ejemplo de Fresas frescas.

En la Tabla 10, se muestra la composición química de la fresa, donde resalta ser el componente mayoritario el agua y rico en fibra.

Tabla 10. Composición química de 100g de Fresa fresca (Moreiras,2013).

<i>Componentes</i>	<i>Contenido</i>
<i>Agua</i>	<i>89.6g</i>
<i>Proteína</i>	<i>0.7 g</i>
<i>Carbohidratos</i>	<i>7.0 g</i>
<i>Lípidos</i>	<i>0.5 g</i>
<i>Fibra</i>	<i>2.2 g</i>
<i>Vitaminas</i>	
<i>Tiamina</i>	<i>0.02 mg</i>
<i>Rivoflavina</i>	<i>0.04 mg</i>
<i>Equivalentes de Niacina</i>	<i>0.6 mg</i>
<i>Vitamina B6</i>	<i>0.06mg</i>
<i>Ácido fólico</i>	<i>20.0 µg</i>
<i>Vitamina C</i>	<i>60.0 mg</i>
<i>Equivalentes de Retinol</i>	<i>1.0 µg</i>
<i>Carotenos</i>	<i>4.0 µg</i>
<i>Vitamina E</i>	<i>0.2 mg</i>
<i>Minerales</i>	
<i>Calcio</i>	<i>25.0 mg</i>
<i>Hierro</i>	<i>0.8 mg</i>
<i>Yodo</i>	<i>8 µg</i>
<i>Zinc</i>	<i>0.1 mg</i>
<i>Sodio</i>	<i>2 mg</i>
<i>Potasio</i>	<i>190.0 mg</i>
<i>Fósforo</i>	<i>26.0 mg</i>

El contenido de azúcares en la fresa (de la porción comestible) es de 2,6% de glucosa, 2,3% de fructosa y 1,3% de sacarosa. Respecto al contenido en minerales de la fresa, el potasio es el componente mayoritario (*Tabla 10*), seguido del fósforo, calcio y magnesio (*Moreiras, 2013*).

1.2.1.1. Producción, comercialización y consumo de Fresas.

En la actualidad México se encuentra entre los 10 principales productores de fresa en el mundo, siendo los estados con mayor producción Michoacán, Baja California y Guanajuato (*Tabla 11*) de acuerdo con los datos reportados para el año 2018 por el SIAP, Michoacán aporta el 70% de la producción del país, siendo el estado con mayor producción (*Figura 6*). En el año 2018 se produjeron en México 537,697.64 toneladas de Fresa distribuidas en los tres principales estados productores y un 2% entre el Estado de México y otros estados de la republica como se muestra a continuación (*SIAP, 2018*).

Tabla 11. Producción nacional de Fresa por estado (SIAP, 2018).

Estado	Producción (toneladas)	Porcentaje de Producción (%)
Michoacán	375483.16	69.83
Baja California	118039.4	21.95
Guanajuato	31073.62	5.78
Estado de México	6972.52	1.30
Aguascalientes	2430	0.45
Jalisco	2217	0.41
San Luis Potosí	504.34	0.09
Tlaxcala	360	0.07
Zacatecas	241.29	0.04
Oaxaca	168	0.03
Morelos	99.36	0.02
Chihuahua	85.75	0.01
Veracruz	20	0.003
Sinaloa	3.2	0.0006

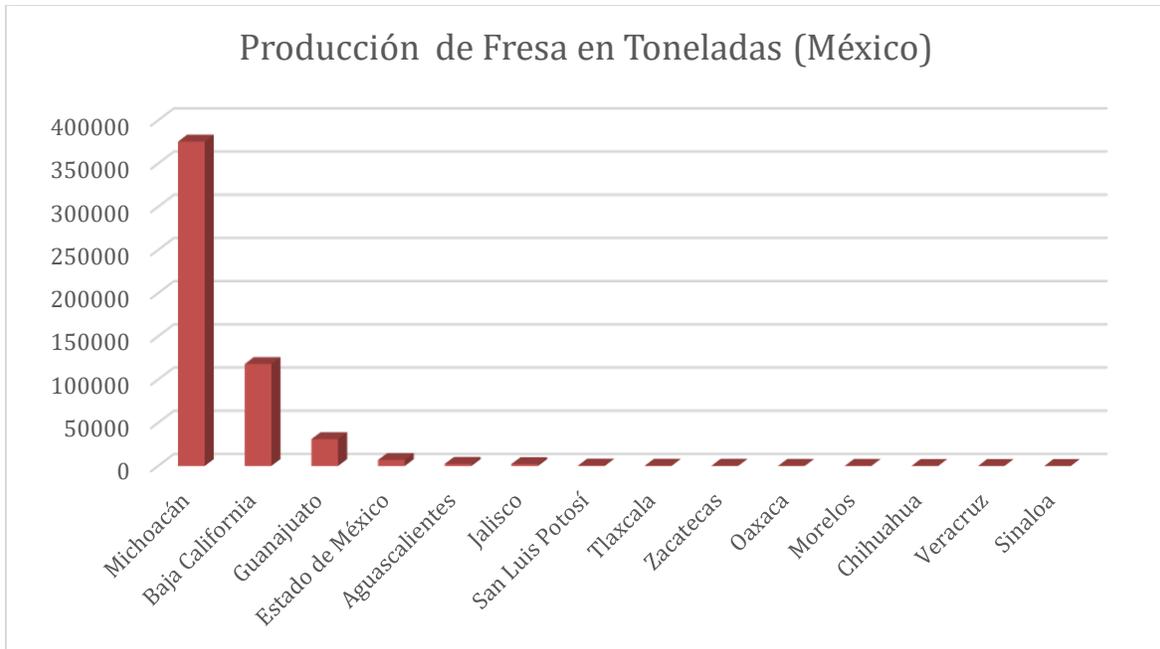


Figura 6. Producción Nacional de Fresas (SIAP, 2018).

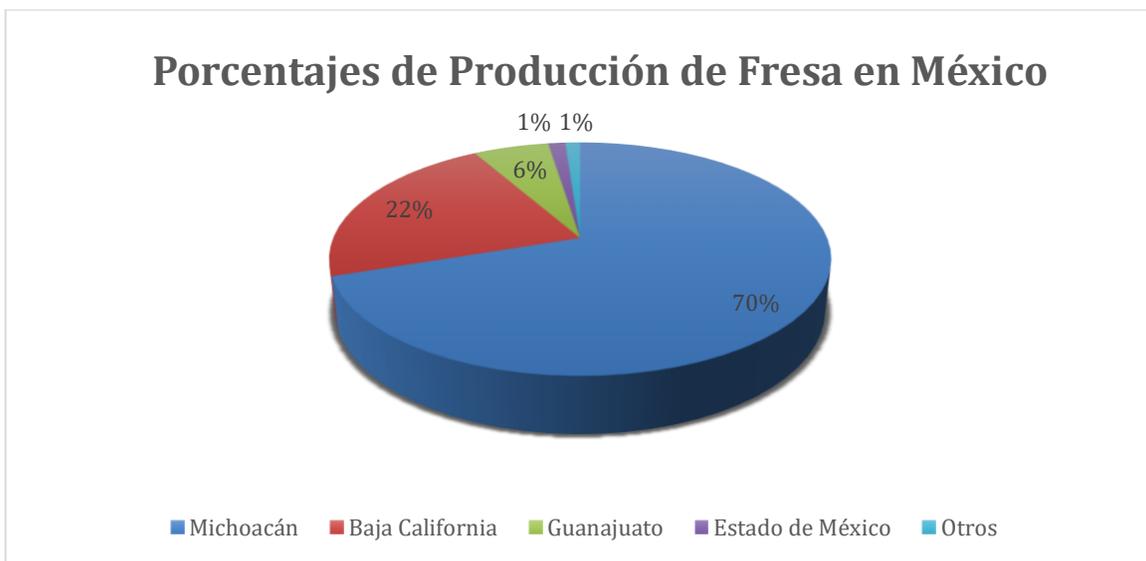


Figura 7. Porcentaje de Producción Nacional de Fresas (SIAP, 2018).

Hasta el año 2018, México ocupa el tercer lugar a nivel mundial como productor de fresa, de acuerdo con los datos reportados por la FAO, México produce 653,639 Toneladas de fresa, aportando así el 6% de la producción mundial (*Figura 7*), los grandes productores de fresa son China en el primer puesto con un 26% de la producción seguido de Estados

unidos con un 11.47% de la producción mundial. A continuación se muestran los diez principales productores de acuerdo a los datos arrojados por la FAO para el año 2018.

Tabla 12. Producción Mundial de Fresa (FAOSTAD, 2018).

Lugar	País	Producción toneladas	Porcentaje de Producción (%)
1	China	2964263	26.23
2	Estados Unidos de América	1296272	11.47
3	México	653639	5.78
4	Turquía	440968	3.90
5	Egipto	362639	3.21
6	España	344679	3.05
7	República de Corea	213054	1.89
8	Federación de Rusia	199000	1.76
9	Polonia	195578	1.73
10	Japón	163486	1.45

De acuerdo a la Sagarpa (2017) México satisface al 100% los requerimientos de consumo con la producción interna; asimismo las importaciones mundiales han aumentado 35.55% en la última década, lo que ha generado un incremento en las exportaciones mexicanas principalmente a Estados Unidos y Canadá. La estacionalidad de las exportaciones muestra que febrero, marzo y abril son los meses con mayor flujo comercial al extranjero, en el país pueden encontrarse en los meses de enero a mayo y de noviembre a diciembre, el resto del año por lo general se pueden encontrar variedades importadas de California, Estados Unidos.

Este producto ha adquirido reconocimiento en productos agroindustriales, principalmente en las mermeladas, ya que la elaboración a base de fresa representa 85.5% del consumo nacional de este (SAGARPA, 2017).

1.2.3 Cereza.

Las Cerezas son el fruto de los cerezos, y pertenece a la familia de las Rosáceas, este fruto es conocido como una drupa con un tamaño promedio de 2 cm, puede presentar un color entre rojo claro hasta un morado oscuro. Se cree que tiene sus orígenes en países cercanos al mar Negro y el mar Caspio, desde donde se expandió a Europa y Asia (Bravo,1998).

Este fruto es considerado como el único con hueso que es no climatérico, por lo que una vez cosechado no continuará madurando, su temporada de maduración va de finales de la primavera hasta principios de verano, teniendo un periodo de recolección muy corto comparado con otros frutos. En nuestro país se puede encontrar en los meses de junio, julio y agosto.

Este fruto rojo nos proporciona azúcares como fructosa, glucosa y sacarosa, también nos aporta fibra, vitamina C, Tiamina, entre otras, así como minerales (Tabla 13). Dentro de la composición de la parte carnosa de la fruta se encuentran los compuestos bioactivos como las antocianinas, monoterpenos concretamente alcohol perílico y flavonoides.

Tabla 13. Composición química de la cereza (Moreiras,2013).

<i>Componentes</i>	<i>Contenido</i>
<i>Agua</i>	<i>83.7 g</i>
<i>Proteína</i>	<i>0.8 g</i>
<i>Carbohidratos</i>	<i>13.5 g</i>
<i>Lípidos</i>	<i>0.5 g</i>
<i>Fibra</i>	<i>1.5 g</i>
<i>Vitaminas</i>	
<i>Tiamina</i>	<i>0.05 mg</i>
<i>Rivoflavina</i>	<i>0.06 mg</i>
<i>Equivalentes de Niacina</i>	<i>0.4 mg</i>

<i>Vitamina B6</i>	<i>0.05 mg</i>
<i>Folatos</i>	<i>8.0 µg</i>
<i>Vitamina C</i>	<i>8.0 mg</i>
<i>Vitamina A</i>	<i>3.0 µg</i>
<i>Vitamina E</i>	<i>0.1 mg</i>

Minerales

<i>Calcio</i>	<i>16.0 mg</i>
<i>Hierro</i>	<i>0.4 mg</i>
<i>Yodo</i>	<i>2 µg</i>
<i>Magnesio</i>	<i>11.0 mg</i>
<i>Zinc</i>	<i>0.12 mg</i>
<i>Sodio</i>	<i>2.0 mg</i>
<i>Potasio</i>	<i>255.0 mg</i>
<i>Fósforo</i>	<i>21.0 mg</i>
<i>Selenio</i>	<i>1.2 µg</i>

1.2.3.1. Producción, comercialización y consumo de Cereza.

En México la Cereza cuenta con una temporada muy corta en la que se puede encontrar y consumir, esto se ve reflejado en el lugar de producción a nivel mundial en el que se encuentra nuestro país, pues ocupamos el lugar 64 de producción. En el territorio nacional únicamente se produce en dos estados los cuales son Chihuahua y Puebla (Tabla 14). De acuerdo a con datos reportados por el SIAP, para el año 2018 se produjo alrededor de 170 toneladas de este fruto en el país. A nivel mundial de acuerdo con los datos reportados por la FAO se producen a nivel mundial alrededor de 2 millones de toneladas de las cuales el principal productor es Turquía con un 25%, seguido de Estados Unidos con un 12% de la producción mundial. En México se importan cerezas principalmente de Chile y Estados Unidos.

Tabla 14. Producción nacional de Cereza por estado (SIAP, 2018).

Estado	Producción (toneladas)	Porcentaje de Producción(%)
Chihuahua	92.2	51.89
Puebla	85.5	48.11

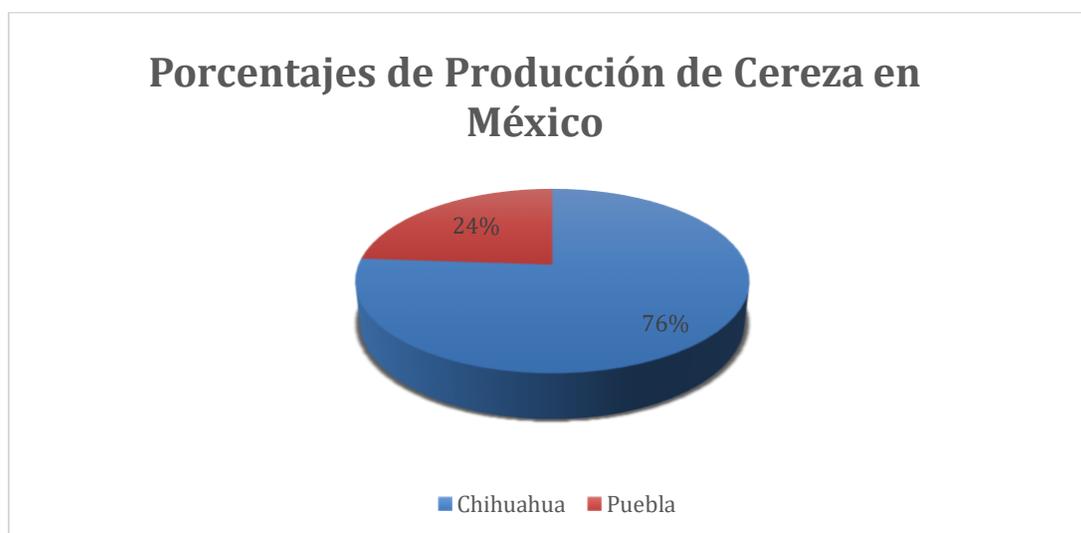


Figura 8. Porcentaje de producción de Cereza en México (SIAP, 2018).

Tabla 15. Producción mundial de Cereza (FAOSTAD, 2018).

Lugar	País	Producción (toneladas)	Porcentaje de Producción (%)
1	Turquía	639564	24.59
2	Estados Unidos de América	312430	12.01
3	Uzbekistán	172035	6.61
4	Chile	155935	6.00
5	Irán (República Islámica del)	137268	5.28
6	Italia	114798	4.41
7	España	106584	4.10
8	Rumania	90837	3.49
9	Grecia	90290	3.47
10	Ucrania	84640	3.25
64	México	178	0.007

1.3. Legislación.

La normatividad que se aplica para los contaminantes radiológicos en alimentos se basa en la información que han generado diversas organizaciones científicas encargadas de estudiar y regular los efectos que genera la radiación a la salud, las normas son acordadas y aprobadas por los países pertenecientes a estos organismos.

A continuación se en listan algunas de las organizaciones científicas más representativas:

Uno de estos organismos es el UNSCEAR abreviación de United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, este comite se establecio en el año de 1955, surgió como una necesidad para examinar los efectos y riesgos de la exposición a fuentes de radiación tanto naturales como artificiales, informando de sus resultados a la Organización de las Naciones Unidas (OMS) (*UNSEAR,2016*).

La ICRP (International Commission on Radiological Protection) se estableció en el año de 1928, como respuesta a las crecientes preocupaciones sobre los efectos de la radiación ionizante que se observaba en la comunidad médica. Regularmente publica recomendaciones sobre la protección de la radiación ionizante y sus estudios se basan principalmente en sobrevivientes japoneses de la bomba atómica (*ICPR,2020*).

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) fundado en 1957, tiene dentro de sus funciones legales establecer normas de seguridad cuando es pertinente, en colaboración con otros organismos internacionales. Para cumplir con su cometido, confía ampliamente en el trabajo del UNSCEAR y de la ICRP. También es un organismo responsable de proveer asistencia para la aplicación de las normas, a requerimiento de un Estado miembro, y llevando a cabo diversos mecanismos, incluyendo la provisión de servicios y de capacitación (*OIEA,2020*).

La Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), fue fundada en 1945, esta organización participa en la elaboración de normas de inocuidad alimentaria, que en conjunto con la OMS y el Codex Alimentarius, tienen la responsabilidad de asesorar a

los miembros sobre cuestiones como agricultura, producción, almacenamiento y comercio de alimentos para llevar a cabo el cumplimiento de la legislación que asegura la inocuidad de los alimentos. Por medio del Codex es que se establecen límites de radioisótopos en los alimentos, previniendo el consumo de alimentos contaminados que generen un riesgo a la salud (FAO,2020).

La Unión Europea mediante un tratado en 1957, estableció la Comunidad Europea de la Energía Atómica (Euratom), con la finalidad de evitar los riesgos para la vida y la salud de las personas, así como garantizar el uso y abastecimiento con fines pacíficos de los materiales nucleares (EURATOM,2020).

En México existe la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS), encargada de regular la seguridad nuclear, radiológica y física, así como salvaguardar el uso pacífico de la energía nuclear para proteger la salud de la población y el ambiente. En el año de 1995, se publicó la Norma Oficial Mexicana *NOM-088-SSA1-1994 "Bienes y Servicios. Contaminación por radionúclidos en alimentos de consumo masivo importados. Límites máximos permisibles."*, en esta norma se establecen límites para el $^{134}\text{Cesio}$ y $^{137}\text{Cesio}$, $^{90}\text{Estroncio}$ y Estaño (no especificado), sin embargo, esta norma fue cancelada en el año 2004 debido a que los límites establecidos en ella son mucho más estrictos que la normatividad internacional (FAO, 2004) razón por la que en la actualidad en México se utiliza las recomendaciones dadas por la FAO (*Tabla 16*) incluidas en la *Norma General del Codex para los Contaminantes y las Toxinas presentes en los Alimentos y Piensos (CODEX STAN 193-1995)*.

Tabla 16. Límites de radionucleidos en alimentos recomendados por organizaciones internales

ORGANIZACIÓN	RADIONUCLEIDOS	LÍMITES RECOMENDADOS BQ/KG Ó BQ/L			
		Alimentos para consumo general		Alimentos para niños, leche y agua para beber	
IAEA/CODEX ¹	Cs-137, Cs-134, Ru-106, Ru-103, Sr-89	1000		1000	
	I-131	1000		100	
	Sr-90	100		100	
	Am-241, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-242	10		1	
REGLAMENTO EURATOM ²	Alimentos para lactantes		Productos lácteos	Otros alimentos	Productos líquidos
	Isótopos de Sr. Principalmente Sr-90	75	124	750	125
	Isótopos de I, Principalmente I-131	150	500	2000	500
	Isótopos emisores de plutonio y transplutónidos	1	20	80	20
	Restos de radionucleidos con vida media > 10 días, especialmente Cs-137 y Cs-134	400	1000	1250	1000

La información hace referencia a la normatividad vigente para cada organismo:

1. Norma General del Codex para los Contaminantes y las Toxinas presentes en los Alimentos y Piensos (CODEX STAN 193-1995)

2. Reglamento (Euratom) n° 2218/89 del Consejo de 18 de julio de 1989 por el que se modifica el Reglamento (Euratom) n° 3954/87 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

CAPITULO SEGUNDO. ASPECTOS FUNDAMENTALES EN FÍSICA.

Los seres vivos, los humanos, todos los objetos y materiales en nuestro planeta “Tierra”, estamos sometidos diariamente a radiaciones ionizantes como: rayos cósmicos, neutrinos, las radiaciones que se generan por los materiales radioactivos contenidos en la propia “Tierra”, en el aire básicamente por radón, y los elementos que forman parte de nuestro organismo como son ^{14}C Carbono, ^{40}K Potasio, entre otros. Por todo lo anterior podemos decir que vivimos en un universo de radiaciones ionizantes, razón por la cual toma importancia estudiar su presencia y concentración debido a los efectos que puede tener sobre nuestro organismo. Para entender de manera correcta la radiación y como interactúa, es necesario precisar conceptos esenciales de física los cuales se describen a continuación.

2.1. Nucleídos.

La materia está formada de elementos los cuales están compuestos de partes más pequeñas que reciben el nombre de átomos, estos a su vez constituidos por un núcleo integrado de protones y neutrones rodeados de electrones. Cuando existe una diferencia entre el número de protones y neutrones estos elementos reciben el nombre de nucleídos, los cuales cuentan con un número atómico (Z) y un número de neutrones (N). La suma entre protones y neutrones será el número de masa (A) del elemento (X). Por lo que podemos identificarlo como:



Al existir una diferencia entre el número de neutrones y protones del núcleo de los elementos, estos reciben el nombre de isótopos, debido a que comparten número atómico pero difieren en número de masa (*Domingo, 2017; Faires y Parks 1960*). Un núcleo se encuentra estable cuando su energía es la más baja posible, no puede aplicarse para un núcleo radioactivo, puesto que estos al buscar su estabilidad emiten energía ya que al contar con una energía alta pueden desintegrarse en núcleos más

pequeños, a este fenómeno se conoce como decaimiento radioactivo (*Domingo, 2017; OIEA, 2014*).

2.2. Vida Media.

La vida media o periodo radioactivo de los radioisótopos, se refiere al tiempo que se necesita para que su radioactividad disminuya a la mitad. Este periodo de tiempo es característico para cada radioisótopo y nos permite tener una idea de la rapidez con la que puede desintegrarse el elemento, el tiempo en el que se encuentren radioactivos los radioisótopos puede ser una fracción de segundos o miles de millones de años (*López,2004*).

2.3. Decaimiento radioactivo.

Se conoce como decaimiento o desintegración radioactiva, al proceso en el que un núcleo “padre” se transforma en un núcleo “hijo” con la emisión de una o más partículas, de forma espontánea, aleatoria y exponencial. Todas las desintegraciones se caracterizan por una única energía para cada núcleo radioactivo y no se ve afectada por las condiciones físicas, químicas o biológicas del mismo.

Cada núcleo inestable puede transformarse en otro núcleo de forma espontánea solo con una cierta probabilidad de que se desintegre un núcleo en el tiempo, dicha probabilidad esta dada por la constante de decaimiento λ

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

Donde:

N es en Número de núcleos radioactivos

N_0 es el Número de núcleos radioactivos al tiempo 0

λ representa la Constante de decaimiento

t el Tiempo

Con la ecuación anterior podemos observar que a medida que avanza el tiempo, los núcleos radioactivos decrecen exponencialmente (*Espinosa,2016*).

2.4. Tipos de Decaimiento Radioactivo.

El Decaimiento Radioactivo se puede llevar a cabo por la emisión de tres tipos de radiaciones: alfa, beta y gamma.

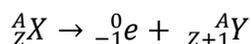
2.4.1 Decaimiento alfa (α)

En 1908 Ernest Rutherford demostró que las partículas α eran núcleos de helio (${}^4\text{He}$). Un núcleo que emite de forma espontánea una partícula α o rayos α necesariamente tendrán que cambiar su número atómico y su número de masa formando un nuevo núcleo, este recibirá el nombre de núcleo "hijo", mientras que el núcleo "padre" será el núcleo original. Este tipo de decaimiento es el único proceso energético que permite emitir nucleones a partir de núcleos pesados (*Domingo, 2017; Piña, 1997*). Al emitir el núcleo una partícula α este disminuye sus valores de Z en dos y A en cuatro. Debido a la carga y masa estas partículas tienen un alcance de centímetros en el aire mientras que en los sólidos es menor debido a que quedan en reposo al chocar con el material. Este fenómeno puede describirse de la siguiente forma:

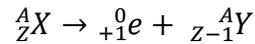


2.4.2 Decaimiento beta (β)

Las partículas emitidas para este caso no son más que electrones, cuya emisión puede ser en beta negativa (β^-) o positiva (β^+). Las partículas β^- son electrones que se originan en el núcleo del átomo, siendo resultado de la transformación de un neutrón en un protón, teniendo como consecuencia que el núcleo "padre" se convierta en un núcleo "hijo" aumentando una unidad su número atómico, puede ejemplificarse de la siguiente forma:



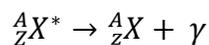
Los positrones o partículas β^+ son electrones cuya carga es positiva y se originan en el proceso de desintegración radioactiva donde un protón da paso a un neutrón más un positrón, la consecuencia de este proceso es que el núcleo "padre" se convierta en un núcleo "hijo" con un número atómico una unidad más pequeña (Domingo, 2017, representado de la siguiente forma



Estas partículas cuentan con un alcance de metros y pueden ser detenidos por una placa de vidrio o madera.

2.4.3 Decaimiento gamma (γ)

El decaimiento gamma puede ser entendido como la emisión de radiación electromagnética producida por la desintegración de los núcleos atómicos. La radiación gamma está compuesta por fotones a diferencia de la radiación alfa, que está compuesto de núcleos de helio y la radiación beta compuesta de electrones. Los fotones son partículas de energía electromagnética razón por la que no tienen ni masa ni carga, esto les permite tener un alcance de kilómetros. El núcleo emisor conserva sus números de masa y de carga, pero cambia su nivel de energía.



En los decaimientos tanto alfa como beta, el valor de Z para cada núcleo cambia, dando paso a elementos diferentes, mientras que en el decaimiento gamma el elemento no cambia sino que pasa de un estado excitado a uno menos excitado, el núcleo resultante de la emisión de radiación gamma puede ser o no radioactivo.

Los radioisótopos en la búsqueda de estabilizarse emiten radiación gamma, la cual puede ser observada y medida mediante los siguientes tres mecanismos descritos por Tsokfanidis:

- 1) El **efecto Fotoeléctrico** puede entenderse como la interacción entre un fotón y un electrón de la capa externa del átomo. Como resultado de la interacción el fotón cede su energía dando lugar a una partícula ionizante llamada fotoelectrón (*Figura 9*). Este mecanismo de interacción es predominante cuando el tipo de energía es baja como la radiación gamma y dependiente del número atómico de quien absorbe. Es por esta razón que para fines del análisis el efecto Fotoeléctrico es de suma importancia.

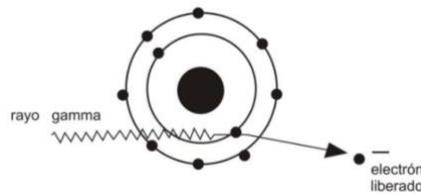


Figura 9. Efecto Fotoeléctrico. (Vilchis, 2016)

- 2) El **efecto Compton** puede describirse como la colisión entre un fotón y un electrón libre o débilmente ligado, en este caso el fotón cambia la dirección en la que se mueve y cede una parte de su energía al electrón libre del material absorbente, transfiriendo energía.

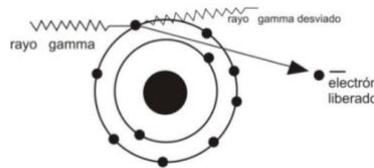


Figura 10. Efecto Compton (Vilchis, 2016).

- 3) La **Producción de Pares** se genera cuando un fotón se absorbe en la cercanía del núcleo y da como resultado la transformación de este en un par de electrones positrones. Aunque los núcleos no se someten a ningún cambio su presencia es necesaria para que se produzcan los pares.

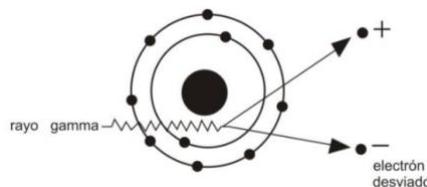


Figura 11. Producción de Pares. (Vilchis, 2016)

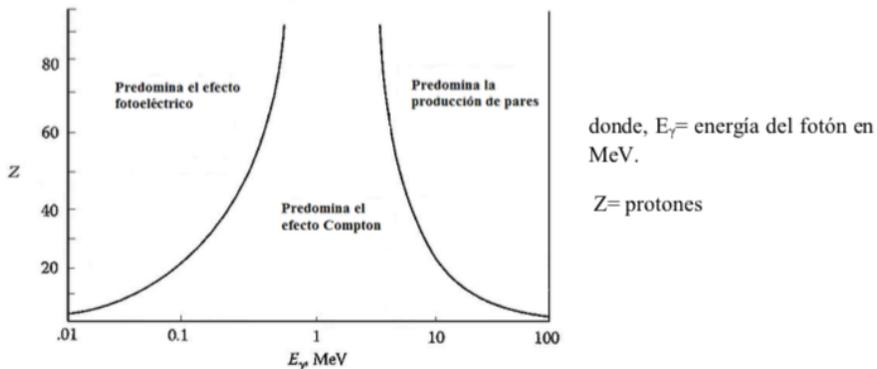


Figura 12. Principales interacciones de los fotones con la materia al modificar E_γ y Z (Tsoukfanidis, 1995).

2.5. Radiación.

Como se mencionó al inicio del capítulo, nos encontramos rodeados de radiaciones ionizantes que están cambiando de forma constante, razón por la cual toma importancia estudiar su presencia y concentración debido a los efectos que puede tener sobre nuestro organismo.

La radiación puede entenderse como la energía que emiten los elementos inestables al desintegrarse; los estudios realizados por Piere y Mari Curi en el año de 1896, le permitieron a esta última nombrar el fenómeno como “radioactividad” (ININ, 2008).

La radioactividad a la que nos encontramos expuestos diariamente es una mezcla entre: **Radiación natural** proveniente del cosmos, la corteza terrestre (tres cadenas naturales: ^{238}U , ^{235}U , ^{232}U), el Radón proveniente de cadenas de decaimiento del Uranio, o nuestro cuerpo (^{14}C , ^{32}Na , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K) y la **Radiación artificial** que es producida por el hombre y utilizadas en medicina, pruebas nucleares y producción de energía. Para el caso de estas últimas es importante controlar su presencia y concentración en el medio ambiente debido a los daños que pueden generar a la salud, ya que estar expuestos a concentraciones mayores a las establecidas en la norma puede resultar dañinos para los seres vivos.

2.6. Unidades de Radioactividad.

La primera unidad que se utilizó para medir la radioactividad es el curio (Ci), el cual equivale a la cantidad de radioactividad de 1g de radio, que se define como 3.7×10^{10} desintegraciones por segundo. Sin embargo la utilizada en el sistema internacional es el becquerel (Bq) que equivale a una desintegración nuclear por segundo. (Roca, Oliver y Rodriguez, 2003)

2.7. Cadenas de Decaimiento Radioactivo de Radioisótopos Naturales.

Existe una serie de radioisótopos (Uranio, Torio y Potasio) primarios que fueron producidos antes o durante la formación de la tierra, estos cuentan con una larga vida media. De estos radioisótopos se desprenden tres series de decaimiento conocidas como series de Uranio (^{238}U , ^{232}U) y Torio (^{232}Th), cada una comienza con un radioisótopo de larga vida y termina con un isótopo estable de plomo.

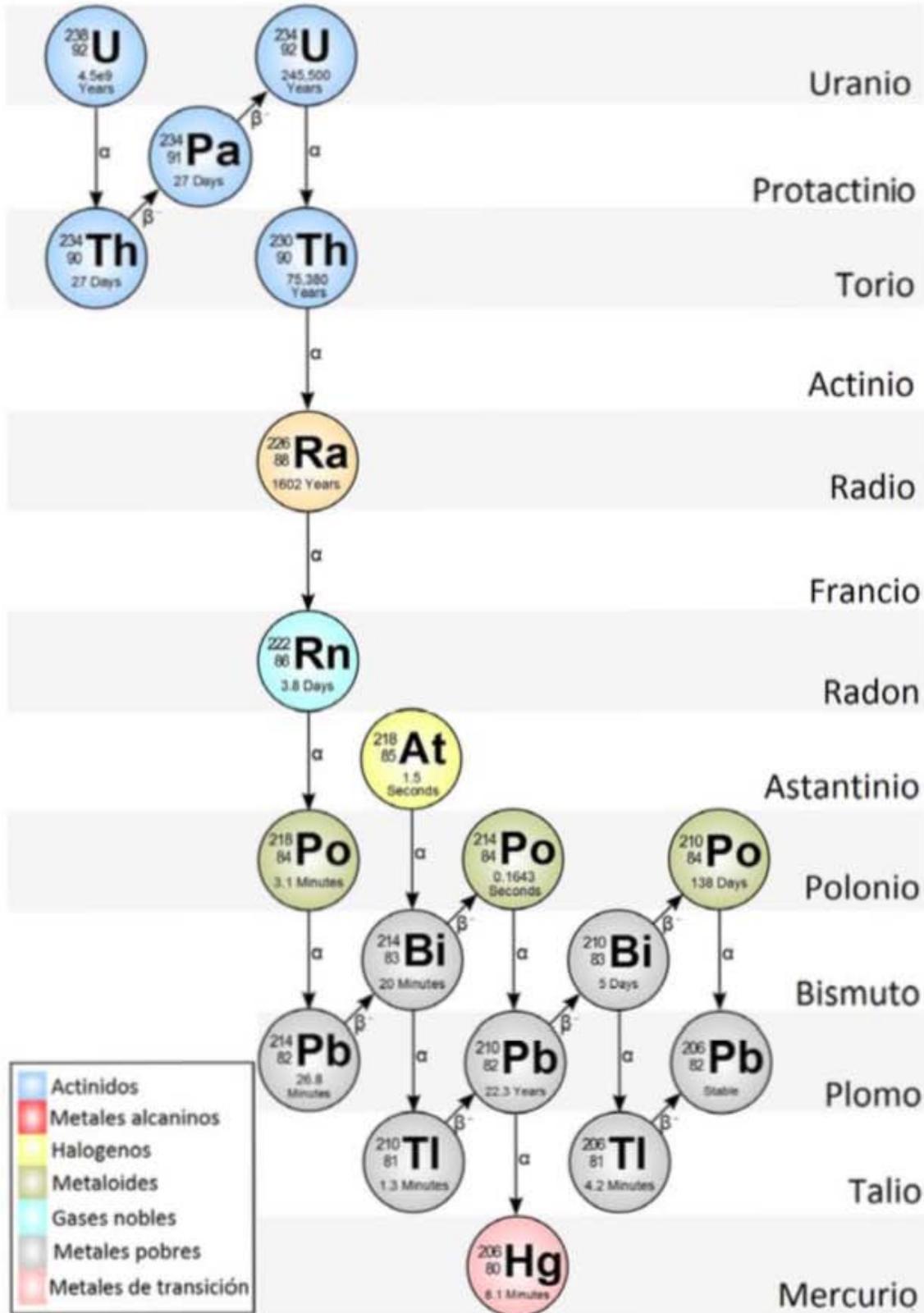


Figura 13. Cadena de decaimiento natural de ^{238}U . (Espinosa, 2018)

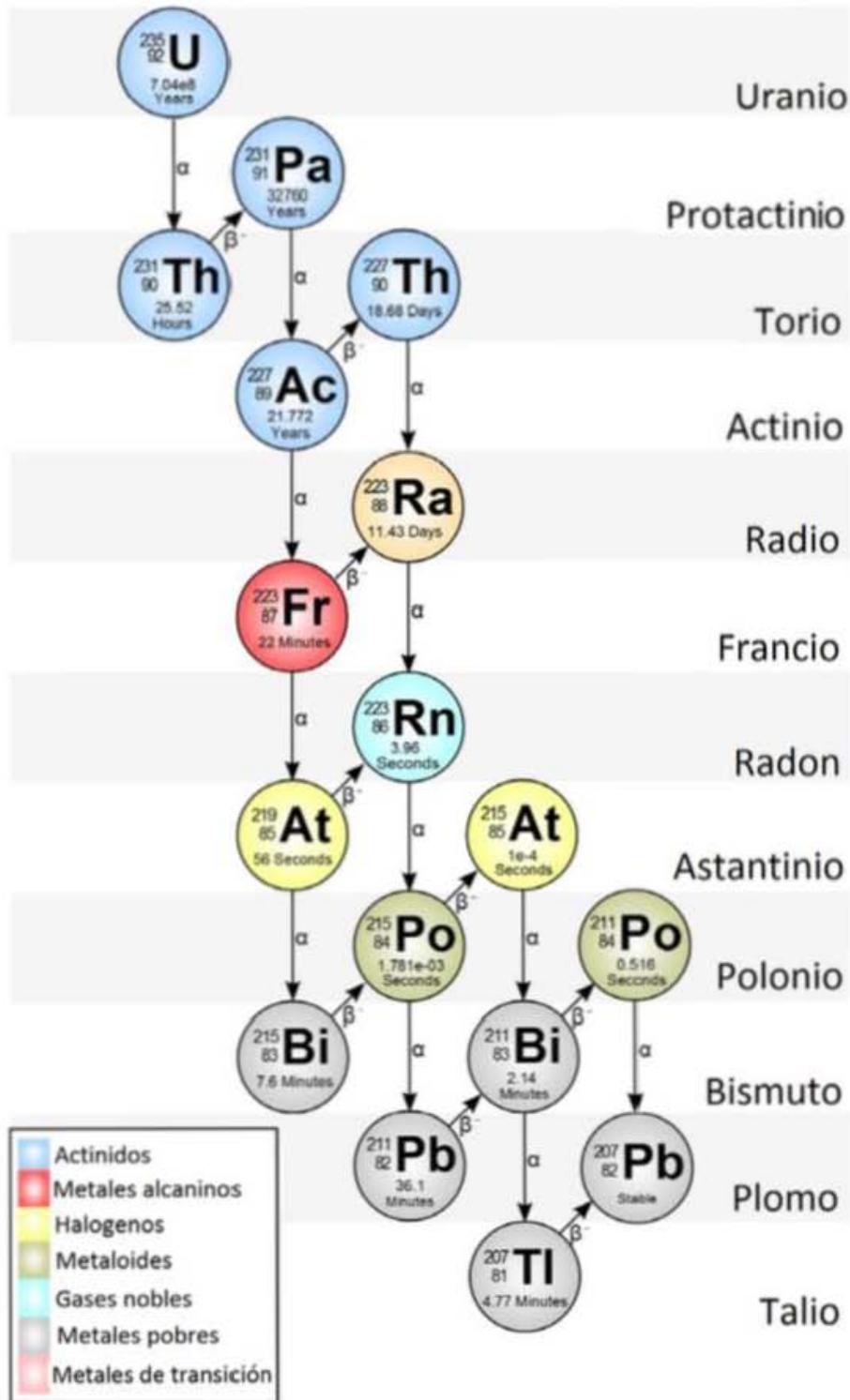


Figura 14. Cadena de decaimiento natural de ^{235}U . (Espinosa, 2018)

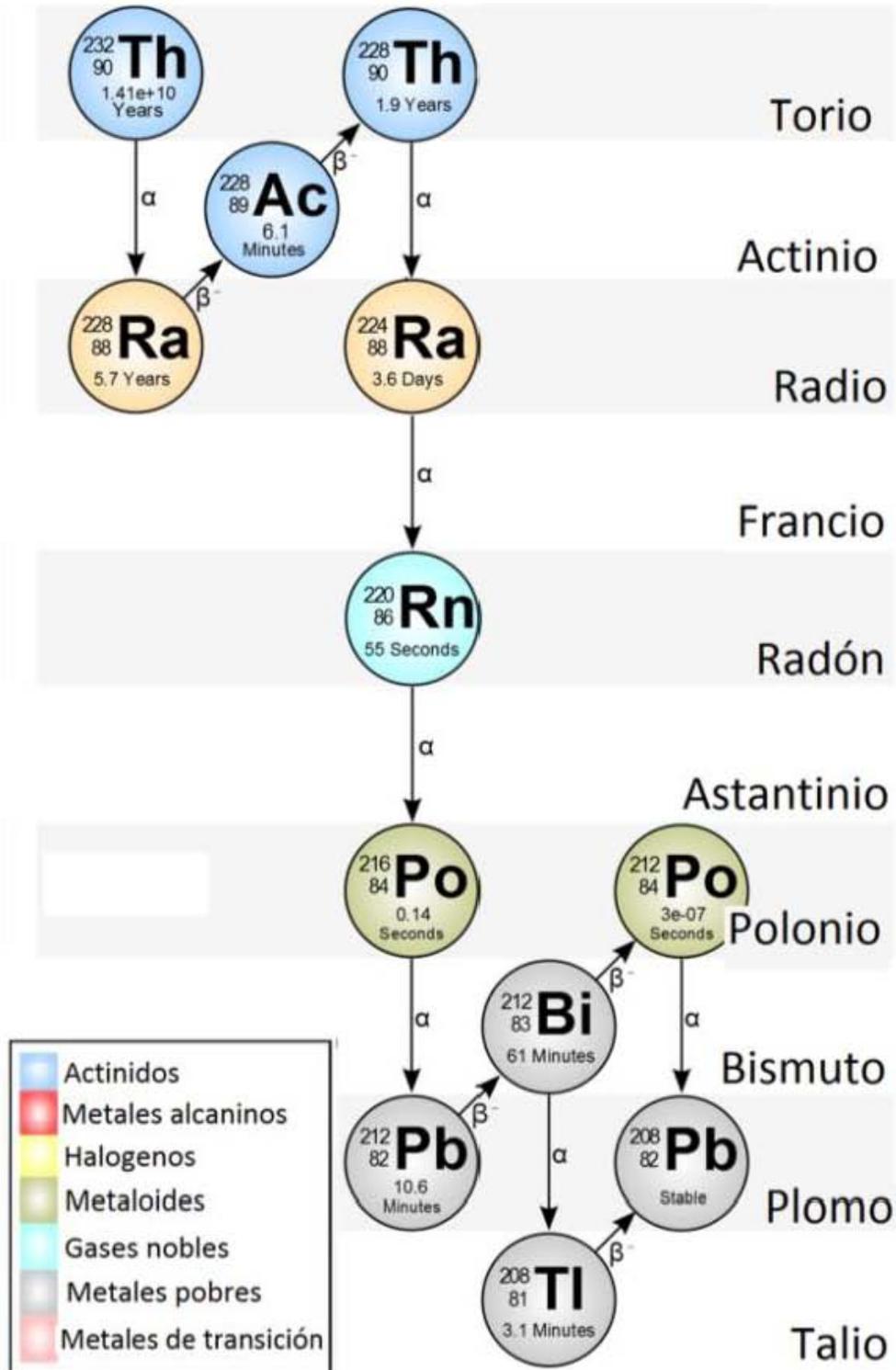


Figura 15. Cadena de decaimiento natural de ^{232}Th . (Espinosa, 2018)

2.8. Contaminación de alimentos por radioisótopos.

Como se mencionó anteriormente los alimentos son contaminados por radioisótopos que pueden entrar en contacto con los alimentos por medio del agua, el aire o depositados en el suelo y transferirse a los frutos. Estos elementos pueden ser naturales como el $^{226}\text{Radio}$, el $^{40}\text{Potasio}$ y el $^{238}\text{Uranio}$, cuya concentración y presencia en los alimentos dependerá de la zona geográfica y abundancia en el ambiente.

Los elementos artificiales llegan a los alimentos principalmente por emergencias nucleares como es el caso del accidente en Chernóbil en el año de 1986, el cual genero la necesidad de llevar un registro y mantener un control en los niveles de radiación permitidos en los alimentos debido a los riesgos que representan para la salud, la Organización Mundial de la Salud (OMS) por medio de la FAO y la OIEA se encargó de estudiar estos registros y establecer procedimientos para la detección de radiación en los alimentos. Algunos de los radioisótopos artificiales son: el $^{134}\text{Cesio}$ y $^{137}\text{Cesio}$, el $^{235}\text{Uranio}$, el $^{241}\text{Americio}$ y el $^{60}\text{Cobalto}$ (FAO, 2011).

2.9. Efectos en la salud.

La exposición a contaminantes radiológicos como ya se ha mencionado puede ocasionar problemas de salud, por lo que es importante conocer a que concentración están presentes en los alimentos. La gravedad de las enfermedades o afectaciones a la salud depende principalmente de la dosis absorbida y del tiempo de exposición; cuando un ser humano se expone por un periodo corto a una cantidad alta de radiación puede sufrir grandes daños a su organismo e incluso la muerte, mientras que al exponerse a bajas concentraciones y tiempos prolongados puede retrasar la aparición de enfermedades.

En el caso de los alimentos por lo regular los radioisótopos se presentan a bajas cantidades, por lo que resulta importante conocer la concentración a la que se encuentran para saber si el consumo continuo de estos puede afectar la salud de los individuos. Los organismos internacionales mediante la normatividad establecen los

límites permitidos de radioisótopos que pueden contener diversos grupos de alimentos sin causar daños a la salud.

La exposición a la radiación puede tener afectaciones mayores como el cáncer, principalmente por exposiciones muy prolongadas o exposiciones a muy altas concentraciones, también existe la posibilidad de modificaciones al ADN, que generan malformaciones o aumentan la probabilidad de padecer enfermedades. La exposición prolongada a bajas concentraciones permite a las células del organismo regenerarse razón por la que el daño puede ser menor, debido a esto resulta importante conocer el estado de los alimentos ya que de encontrarse a concentraciones altas en productos de consumo frecuente en una población podrían causar padecimientos por exposición a la radiación gamma (*Contacto nuclear, 2012*).

2.10. Métodos de medición de contenido radiológico.

Existen dos métodos para analizar alimentos con contenido radiológico: el método químico en el cual se necesita separa elemento por elemento volviéndose un análisis complejo, con bajo rendimiento y tardado. En comparación con el método nuclear específicamente de radiación gamma, donde la energía emitida por los alimentos nos permite cuantificar los radioisótopos presentes en las muestras, que al utilizar el método recomendado por la FAO y el OIEA, donde se utiliza un detector semiconductor cuyo funcionamiento se basa en la generación de iones, producidos por la radiación incidente en un material semiconductor de alta eficiencia ya sea germanio o silicio, se puede disminuir el tiempo de análisis debido a que no depende de la geometría ni estado del alimento.

2.10.1. Espectrometría gamma.

De acuerdo con manual de control de calidad de alimentos de la FAO, en el apartado de radionucléidos en alimentos, este método se menciona como uno de los más usados para el análisis, debido a que un espectrómetro de radiación gamma se convierte en una

herramienta cuantitativa, que permite obtener espectros de muestras de volúmenes grandes con poca o casi nula preparación, además de tener pérdidas por absorción insignificantes (*Baratta, 1994*).

Para llevar a cabo este método se necesita de un detector de semiconductor ya que son considerados como los más sensibles a la hora de detectar la radiación y no se ve afectado por la geometría de la muestra. Para detectar radiación gamma se necesita de un detector de germanio hiperpuro el cual debe trabajar a temperaturas alrededor de -200°C, para lo que se utiliza nitrógeno líquido. El análisis también necesita de un sistema electrónico compuesto de un preamplificador y un amplificador que permiten enviar la señal a un multicanal el cual se encarga de clasificar las energías detectadas para poder formar un espectro donde se pueden observar de manera gráfica las energías que al ser interpretado se permite concluir si existe presencia o ausencia de contaminantes radiológicos.

CAPITULO TERCERO. PROTOCOLO DE CERTIFICACIÓN.

Al momento de realiza un procedimiento experimental se debe contar con una metodología, la cual tiene que estar perfectamente explicada para que siguiendo las condiciones establecidas pueda ser reproducida en cualquier laboratorio sin importar en que parte del mundo se encuentre el analista.

Para realizar el análisis de contaminantes radiológicos en frutos rojos se utilizó la siguiente metodología:

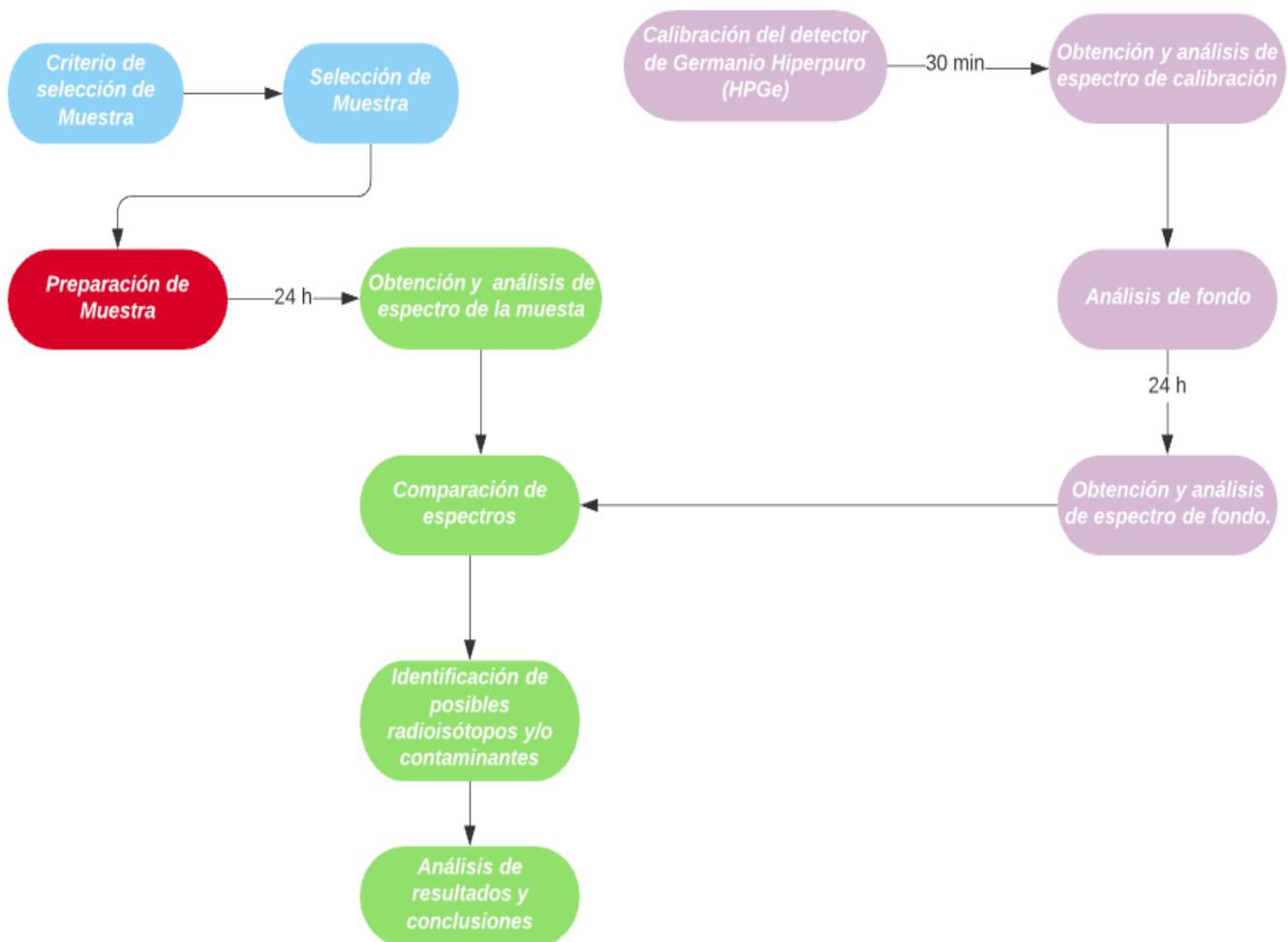


Figura 16. Diagrama de bloques del proceso experimental.

3.1 Selección de la muestra.

En los últimos años la necesidad de consumir alimentos más sanos ha generado una búsqueda por consumir alimentos con propiedades antioxidantes, en México uno de los principales productos de esta clase es la Fresa. Para poder seleccionar las muestras se buscaron frutos rojos que compartieran propiedades antioxidantes que nos permitieran agruparlos, en este caso las fresas, frambuesas y cerezas tienen en común a los flavonoides. Es importante conocer el estado radiológico de estos alimentos para saber si están o no libres de radioisótopos.

Para seleccionar las muestras que se analizaron en el laboratorio, se tomaron en cuenta datos de consumo, producción, temporada de cosecha y disponibilidad en el mercado nacional (*Capítulo 1*).

De acuerdo con los datos obtenidos se eligieron fresas de tres diferentes partes de la república debido a que en la fecha de análisis solo se comercializan fresas nacionales. En el caso de las frambuesas se eligieron dos muestras, estas pertenecientes a los principales estados productores con presencia en el mercado nacional, no se encontraron muestras de importación. Para el caso de las cerezas sólo se encontró en el mercado una muestra de importación debido a que en nuestro país se encontraba fuera de temporada durante el tiempo en que se realizó el estudio. La información sobre las muestras se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 17. Datos de origen de las muestras.

<i>Muestra</i>	Lugar de origen	Lugar de compra
<i>Cereza</i>	Chile	Central de abastos
<i>Frambuesa</i>	Puebla	Central de abastos
	Michoacán	
<i>Fresa</i>	Michoacán	Central de abastos
	Estado de México	



Figura 17. Ejemplo de muestras.

Una vez que se eligieron las muestras, se prosiguió a realizar la parte experimental de la investigación, teniendo como primer paso el conocer e identificar las partes del equipo de detección de radioisótopos, el cual se detallará más a fondo en el Capítulo 4.

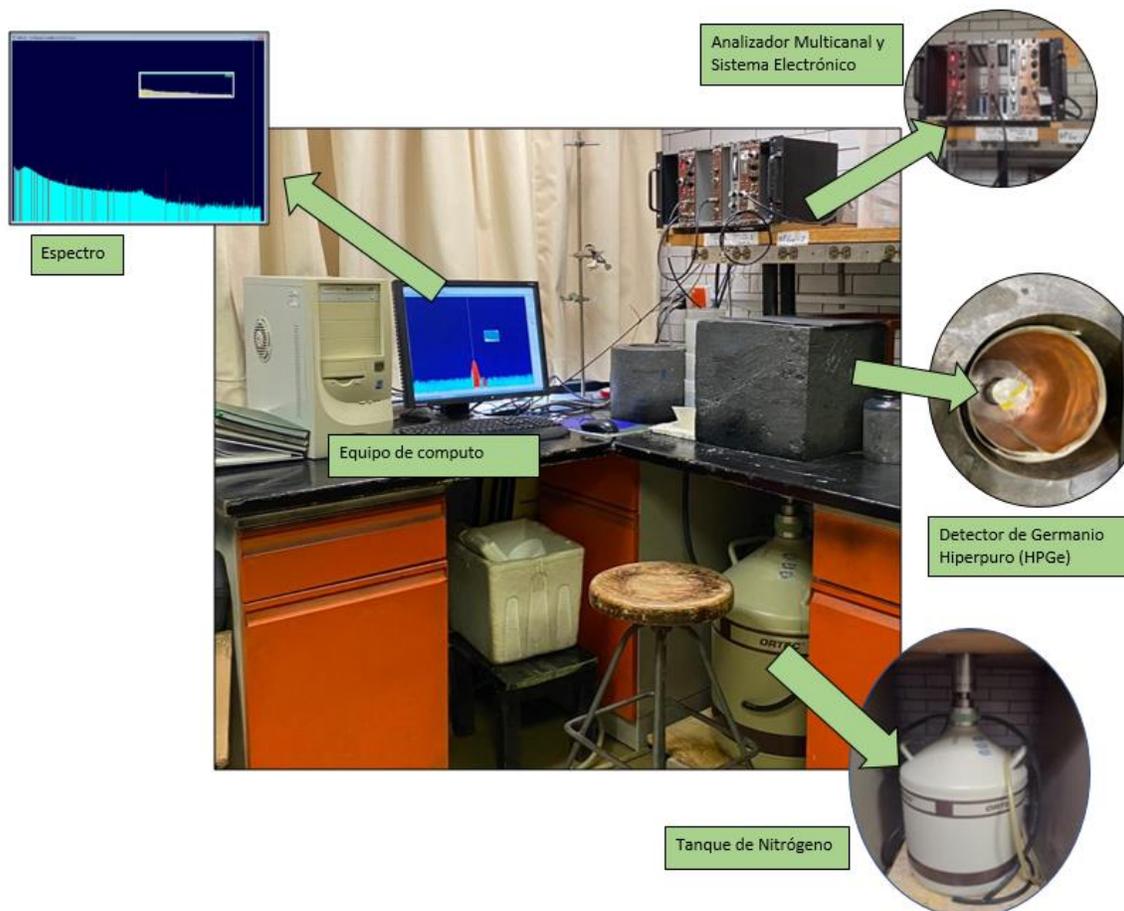


Figura 18. Diagrama de bloques del método experimental. (PAD-IFUNAM)

3.2. Calibración del detector.

El siguiente paso fue verificar la calibración del detector, para lo que se utilizaron estándares de radioisótopos (^{241}Am , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{40}K) de interés para identificar en las muestras y en el espectro de fondo, los discos de estándares se colocaron sobre el detector, se dejó correr un tiempo de 30 min (*Figura 13.*). Una vez que el equipo estuvo calibrado, se realizó un espectro de fondo para medir la radiación del ambiente y el ruido electrónico, dejando correr el detector sin muestra por 24 horas. Concluido este tiempo se obtuvo el espectro de fondo (*Figura 14*) y se tomó registro de las energías y canales de los fotopicos indicados por el software Maestro-32 para utilizar posteriormente en el análisis de las muestras.

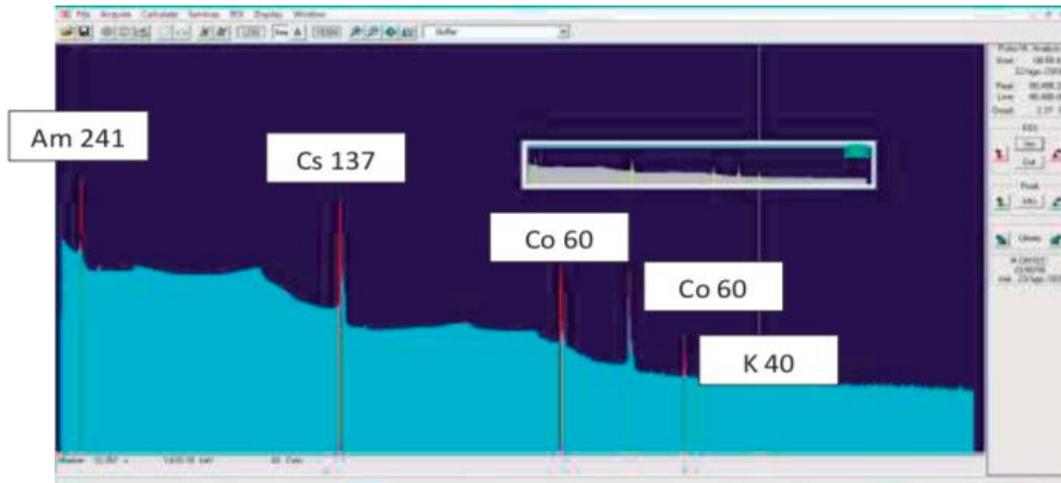


Figura 19. Fotopicos obtenidos para el espectro de calibración.

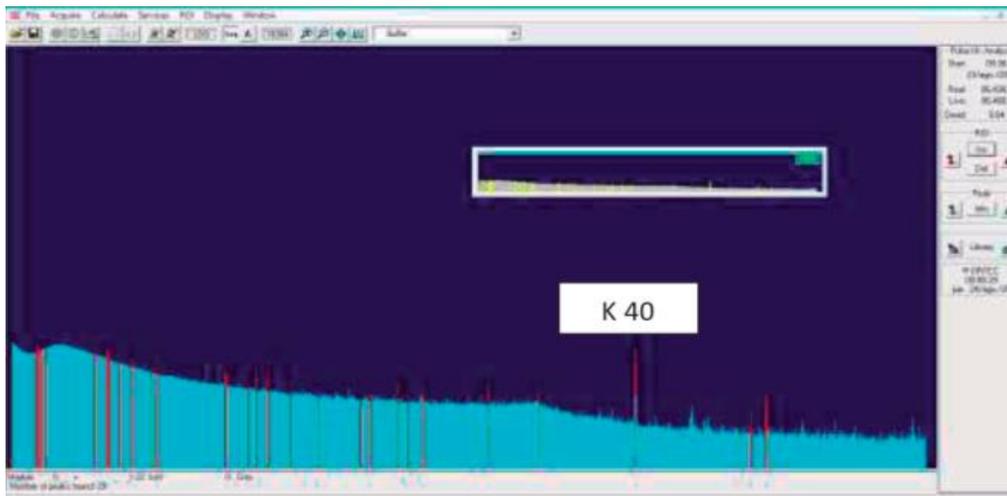


Figura 20. Fotopicos obtenidos para el espectro de fondo

3.3. Preparación de la muestra.

La preparación de las muestras consistió en un lavado con agua corriente de la tarja, un secado sobre una toalla de papel y por último se cortaron en trozos pequeños de geometría similar.

Después de que se obtuvo la muestra limpia se prosiguió a pesar 700g de cada una debido a que se llevó a cabo un análisis en húmedo. Cuando se obtuvo la cantidad necesaria se colocó en un recipiente de plástico con tapa, el cual para su análisis fue apoyado sobre el detector dentro del cubo de plomo viejo que lo protege de la radiación ambiental, el análisis se dejó correr durante 24 horas.

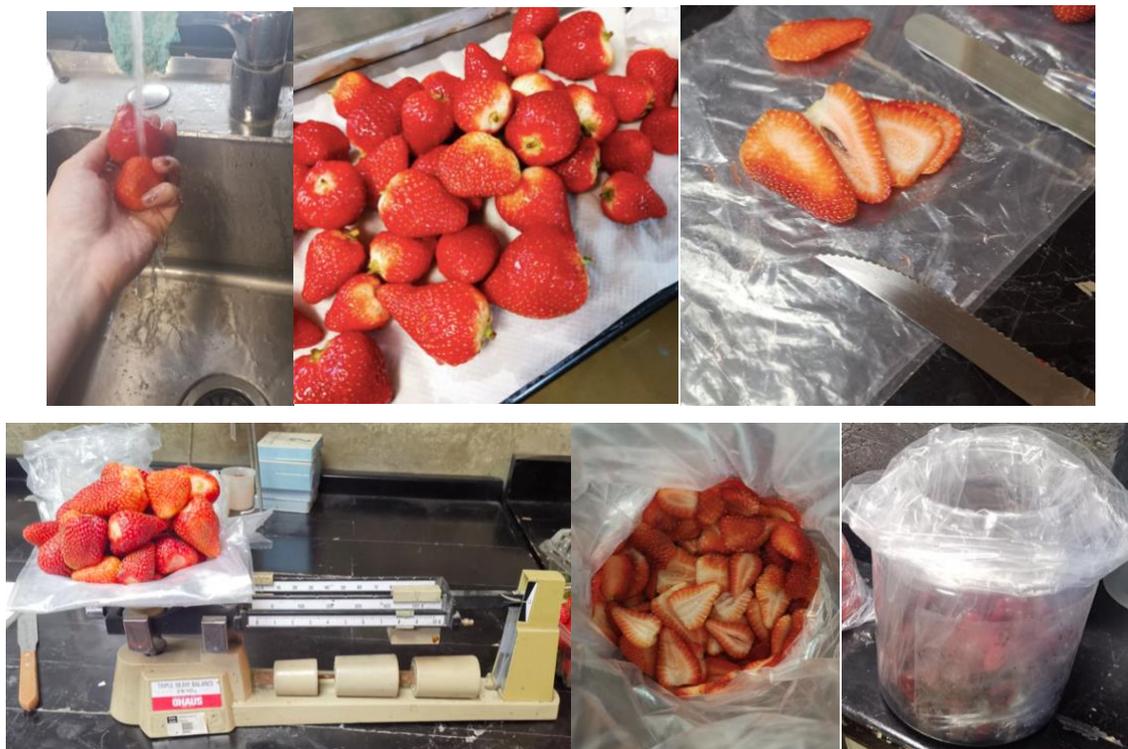


Figura 21. Preparación de muestras.

3.4. Análisis de espectro fotoeléctrico.

Obtenidos los espectros, se leyeron y registraron los valores de energía para los fotopicos que representan a los radioisótopos presentes en las muestras. Los valores de estos son obtenidos de forma automática mediante el software Maestro-32 siguiendo el modelo matemático que se menciona a continuación:

Donde:

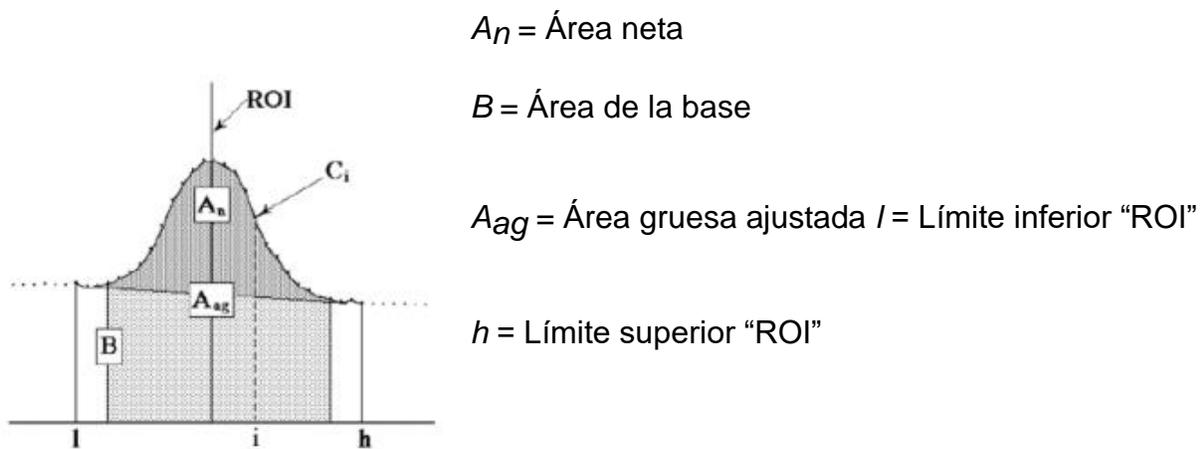


Figura 22. Representación de las partes de un fotopico.

- El *área gruesa* (A_g) es la suma de todos los canales marcados en el espectro desde el *límite inferior* (l) hasta el *límite superior* (h).
- El *área gruesa ajustada* (A_{ag}) es la suma de todos los canales marcados, pero no usados en la *base* (B).
- El *área neta* (A_n) es el *área gruesa ajustada* menos la base calculada.

Para conocer el valor del *área neta total* (A_{nT}), se deben restar el *área neta* de la muestra (A_{nM}) menos el *área neta* del fondo (A_{nF}).

$$A_{nT} = A_{nM} - A_{nF}$$

La *incertidumbre* en el área neta se obtiene calculando la raíz cuadrada de la suma de la incertidumbre de la muestra al cuadrado más la incertidumbre al cuadrado del fondo (ambos representan valores del área neta).

$$U = \sqrt{U^2_{muestra} + U^2_{fondo}}$$

Por lo que se obtiene un valor igual a $AnT \pm U$ (Guzmán,2016)

Con ayuda de estas operaciones se trataron los datos para ajustarlos, esto sirvió para poder conocer si se encuentran dentro o fuera de la incertidumbre y si están presentes o no los radioisótopos naturales y artificiales.

Si se obtiene una incertidumbre mayor a la resta de las áreas, nos indica que la cantidad de radioisótopos presentes en la muestra está dentro de la incertidumbre. De igual manera si se obtiene un resultado negativo en la resta de áreas, esto nos indica que la cantidad de radioisótopos se encuentra por debajo del fondo.

CAPÍTULO CUARTO. INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA EN ESPECTROMETRÍA GAMMA

Para analizar los contaminantes radiológicos se deben emplear equipos que permitan la interacción entre la radiación y un medio que pueda cuantificar e identificar la presencia de los radioisótopos. La interacción se lleva a cabo en el detector, por lo cual la eficiencia de este dependerá de sus propiedades físicas y del tipo de radiación que se quiera medir.

Los alimentos pueden emitir de forma más significativa radiación de tipo gamma, la cual al ser característica de cada radionucléido, nos permite clasificarla y cuantificarla mediante un espectrómetro de radiación gamma, el cual consta de un detector, una fuente de energía y un sistema electrónico (*Figura 18*).

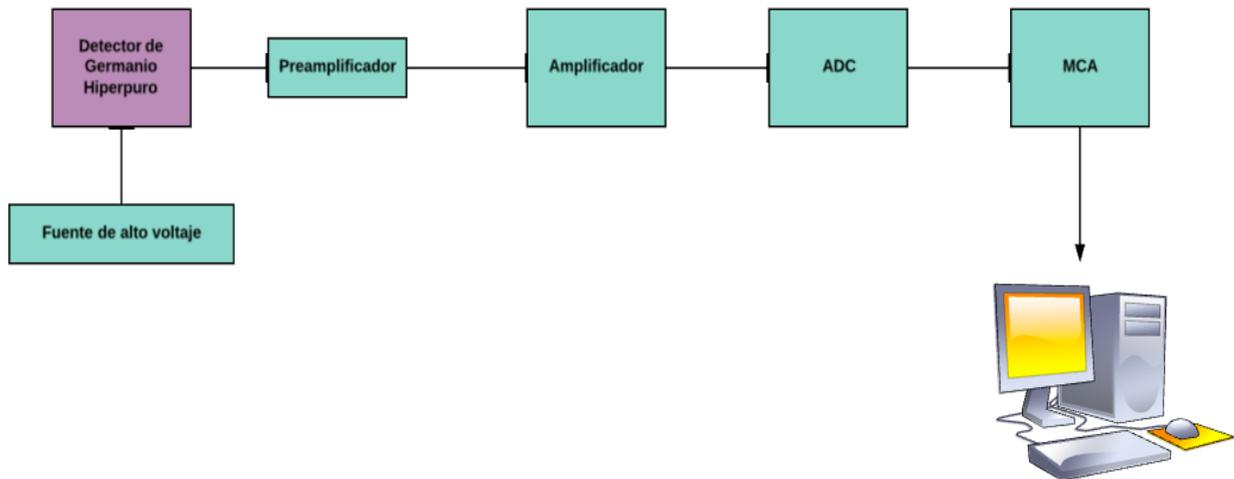


Figura 23. Esquema de un equipo de espectrometría de radiación gamma.

ADC: Convertidor Analógico Digital; MCA: Analizador Multicanal

La información emitida por el detector será la cantidad de carga eléctrica proporcional a la cantidad de radiación gamma que este absorba, la carga será colectada por el sistema electrónico que se encargará de medir y almacenar los datos obtenidos en el análisis.

4.1. Espectrometría de radiación gamma.

La radiación gamma es medida a partir de una espectrometría, que es un análisis no destructivo de cada una de las energías de los radioisótopos (elementos radioactivos) contenidos en una muestra. Para llevar a cabo estas mediciones se debe contar con un equipo compuesto de un detector y un sistema electrónico adecuados.

4.2. Detector de Germanio Hiperpuro (HPGe)

Los detectores con mayor sensibilidad son aquellos que utilizan materiales semiconductores, principalmente germanio y/o silicio como medio de detección, los cuales poseen cuatro electrones de valencia en último nivel.

Los materiales semiconductores al ser sólidos cristalinos tienen la capacidad de ser aislantes a bajas temperaturas y conductores a temperaturas más altas o al ser sometidos a campos de eléctricos externos, la razón de esto es que los electrones de valencia se encuentran ligeramente más ligados (enlaces covalentes) a sus respectivos núcleos atómicos. Al hacer pasar radiación a través de un material semiconductor se produce ionización, esto se refleja en la formación de una banda de valencia con carga positiva y una banda de conducción donde se producen cargas negativas, estas dos se encuentran con una separación menor con respecto a los materiales aislantes y conductores, que permite el movimiento de los electrones de la banda de valencia a la de conducción dejando en la primera un hueco con carga positiva.

Los detectores de este tipo se fabrican de Silicio-Litio y/o Germanio Hiperpuro (HpGe), estos últimos son los más utilizados para analizar radiación gamma de manera eficiente en alimentos, suelo o agua. En este estudio se empleó un detector de HpGe, el cual debe funcionar a una temperatura alrededor de -200°C para eliminar en su totalidad los electrones libres de la zona de depleción y utilizar diferencias de potencial más elevado, (alrededor de 2,800 V) para asegurar la eficiencia del proceso. Para lograr esto el detector estará acompañado de un criostato que almacena nitrógeno líquido el cual permite mantener su temperatura baja (*Figura 24*) y conectado a una fuente que genera una diferencia de potencial alta.



Figura 24. Criostato y detector del equipo de espectrometría (PAD-IFUNAM).

4.2.1. Blindaje del detector.

Dependiendo del tipo de radiación esta puede ser frenada por diferentes materiales (Figura 25), las partículas α se detienen frente a una hoja de papel, las partículas β por la madera o metal y la radiación γ por el plomo.

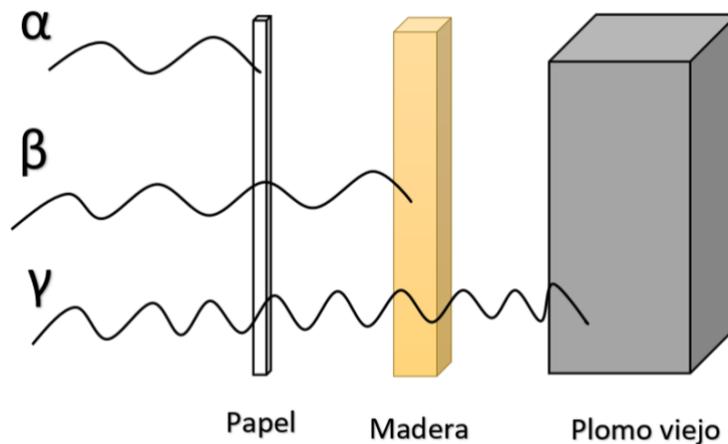


Figura 25. Comparación de frenado de la radiación (PAD-IFUNAM).

Para evitar que la radiación gamma del fondo (radiación cósmica, radioisótopos del entorno) pueda interferir en la medición del detector, se le debe proteger mediante un blindaje de plomo viejo (Figura 26). El material del que se construye este bloque de

espesor de 10 cm, recibe este nombre debido a que con el paso del tiempo ha cumplido sus ciclos de vida media dejando de emitir radiación por lo que no interfiere en la medición del detector.



Figura 26. Cubo de blindaje de plomo viejo (PAD-IFUNAM).

4.3. Sistema Electrónico.

Para que el sistema pueda realizar sus funciones necesita de una fuente que suministre energía eléctrica y una fuente de alto voltaje que regule la salida de esta corriente que se hará pasar por el detector (2,800 V).

El pulso generado por el detector debe pasar por varios procesos de amplificación para poder ser analizado de forma correcta, de lo contrario el pulso se distorsionaría por un factor de amplificación muy grande haciendo que el proceso de medición se vuelva muy sensible a perturbaciones externas como golpes en los cables. Para evitar esto el pulso electrónico debe pasar por los cables de forma inmediata una vez que es generado en el cristal, para ser colectado y amplificado por un preamplificador el cual se encuentra dentro del detector transformando el pulso de carga en pulso de voltaje.

Una vez que el pulso sale del detector por medio de un cable coaxial para ser nuevamente amplificado (Amplificador), es enviado al sistema encargado de procesar los pulsos (ADC) y convertirlos en datos digitales que puedan ser procesados por el Multicanal (MCA), el cual permite conocer cuántos pulsos se generan y catalogarlos por el tamaño de estos, el MCA se encarga de subdividir el rango de tamaño aceptable por los pulsos en un número determinado de “canales” (*Figura 27*).

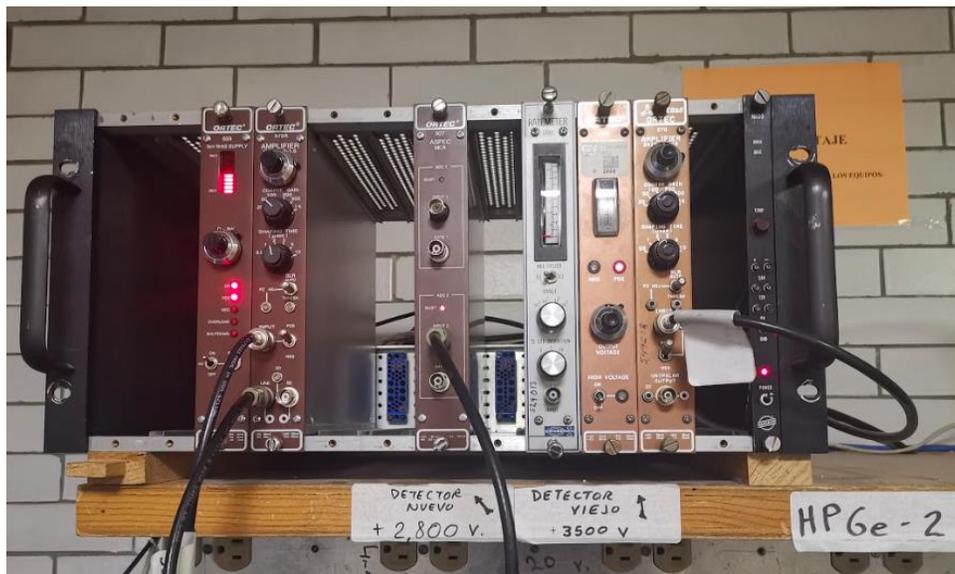


Figura 27. Sistema electrónico (PAD-IFUNAM).

Al llegar el pulso al MCA este mide su tamaño y lo relaciona con aquellos valores que se encuentran dentro del mismo rango de tamaño asignándole un canal específico, con esta información el MCA genera un histograma. Si relacionamos el pulso con la energía de los rayos gamma que se generaron en los alrededores del detector el histograma se convertirá en un espectro de radiación y (eje horizontal energía equivalente de la radiación y eje vertical número de cuentas recibidas), lo cual permite obtener información sobre los elementos radioactivos presentes en la muestra.

4.4. Contenedor de la muestra.

Se empleó un recipiente de plástico con tapa (*Figura 28*), el cual en su interior contenía la muestra, permitiendo colocarla sobre el detector cuidadosamente para poder ser analizadas.



Figura 28. Recipiente de plástico (*PAD-IFUNAM*).

4.5. Equipo de Cómputo.

Es el encargado de proyectar visualmente el histograma generado por el MCA, y posteriormente permite analizar con ayuda del programa MAESTRO-32 los valores obtenidos de energías y cuentas, para así poder interpretar los resultados, conocer el estado de las muestras y si existe presencia de contaminantes radiológicos o radioisótopos naturales.

CAPÍTULO QUINTO. RESULTADOS, ANÁLISIS Y CONCLUSIONES.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para las muestras analizadas bajo condiciones iguales utilizando un detector HpGe.

5.1. Calibración de energía.

Como se mencionó en el Capítulo 3, es fundamental calibrar el detector para obtener resultados confiables debido a que nos permite relacionar los canales con las energías para cada radionucléido, para esto se obtuvo un espectro de calibración (*Figura 29*) y una curva de calibración de energías (*Figura 30*), con los datos de la *Tabla 18*, donde se muestran los valores de energía y canal para cada estándar.

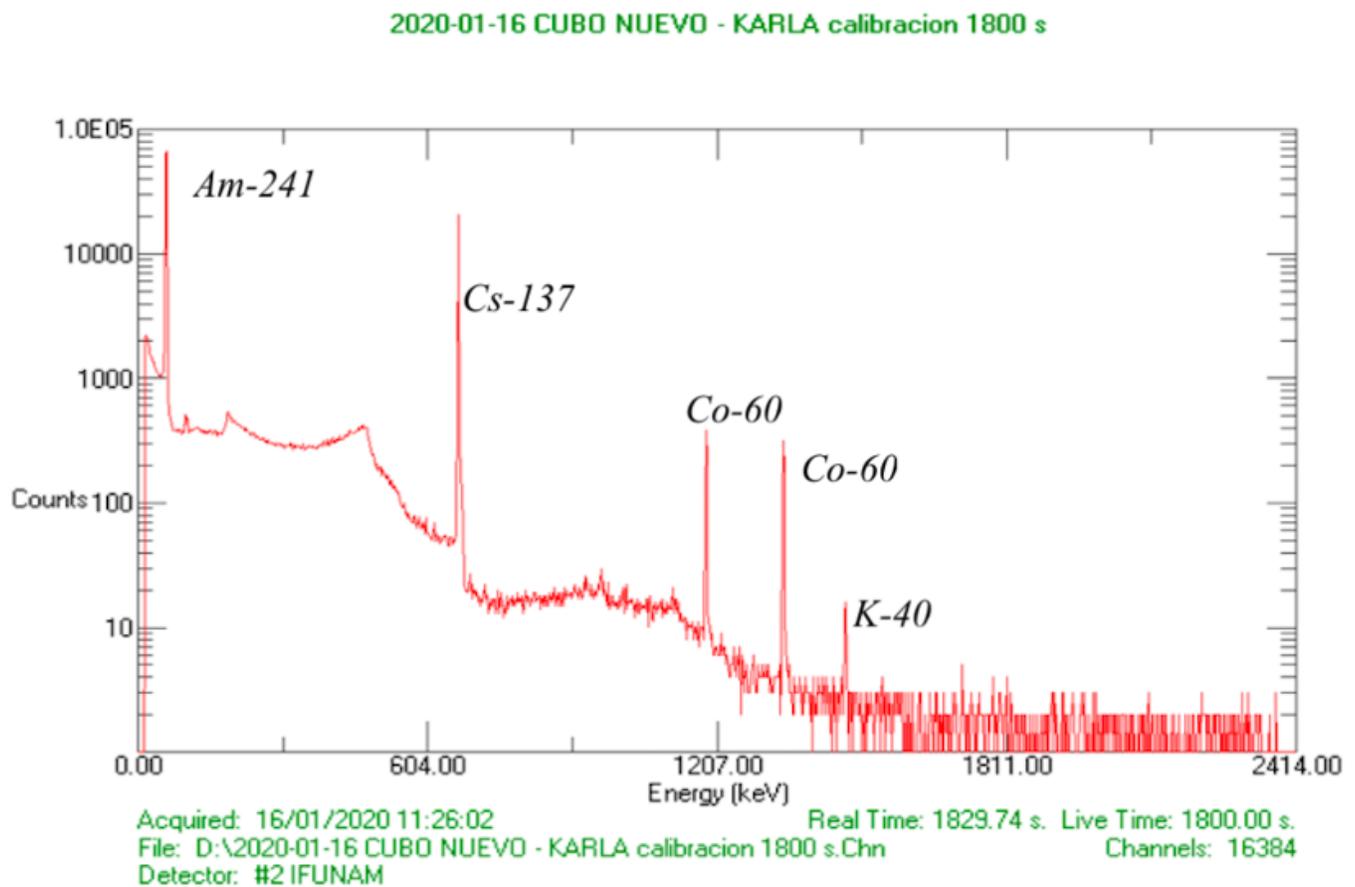


Figura 29. Espectro de calibración (Am, Cs, Co, K) (PAD-IFUNAM).

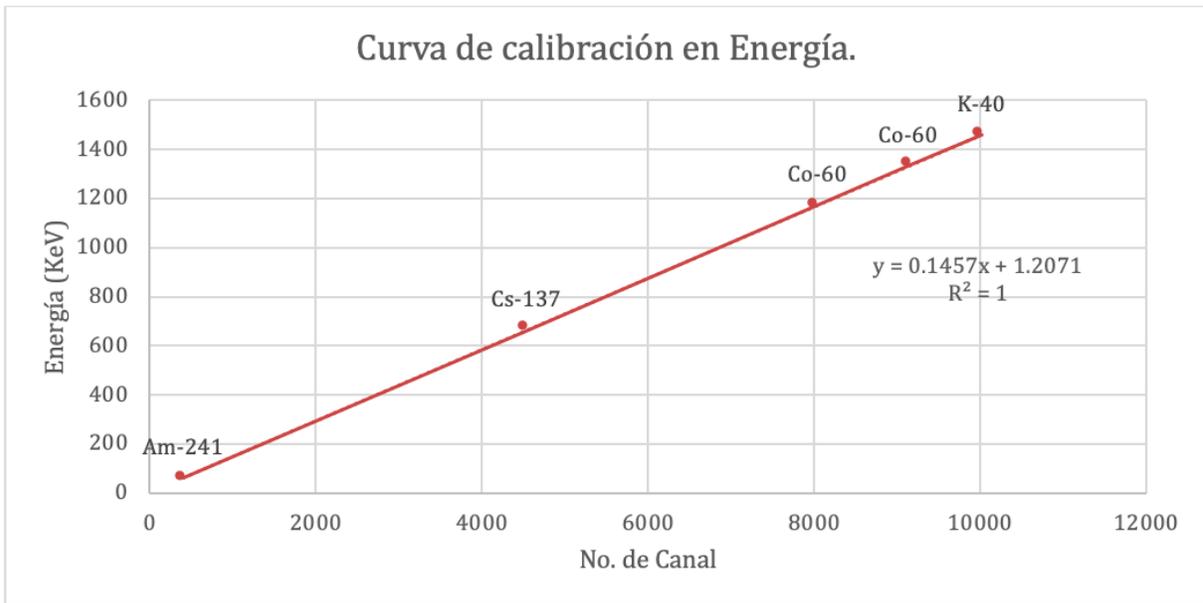


Figura 30. Curva de calibración (Am, Cs, Co, K) (PAD-IFUNAM).

Tabla 18. Datos de estándares empleados para la calibración del detector.

No. De Canal	Energía (keV)	Radioisótopo
404	60	Am-241
4535	662	Cs-137
8041	1173	Co-60
9133	1332	Co-60
10014	1460	K-40

5.2. Espectro de fondo.

Una vez que el equipo se encontró calibrado se realizó un análisis del fondo para conocer la radiación que existe a su alrededor, obteniéndose un espectro de fondo (*Figura 31*). De la interpretación de éste, se generó la *Tabla 19* la cual contiene los datos para los radionucléidos presentes en el ambiente, y las áreas netas para cada uno que servirán para obtener los datos corregidos del análisis de las muestras.

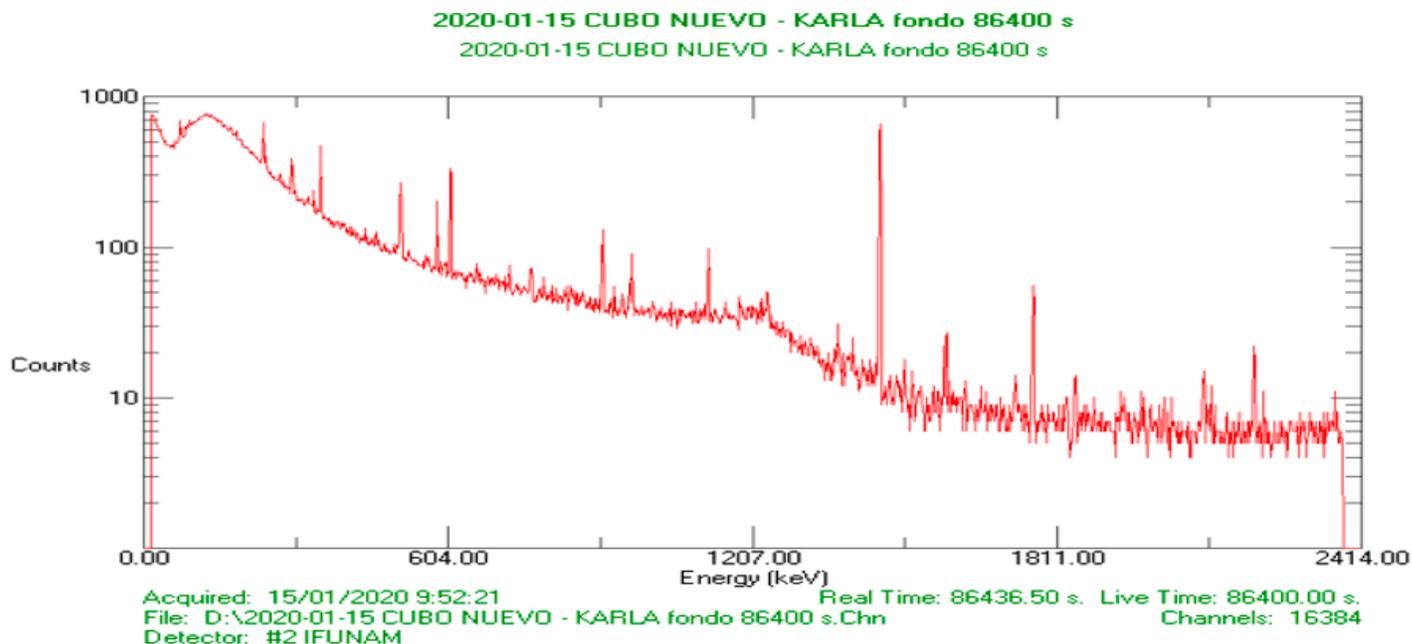


Figura 31. Espectro de fondo (PAD-IFUNAM).

Tabla 19. Datos obtenidos del espectro de fondo.

Pico	Radioisótopo	Energía (keV)	Área neta Fondo (AnF)		
1	²²⁶ Ra	185.22	470	±	219
2	²³⁸ Pb	238.12	2130	±	444
3	²¹⁴ Pb	241.51	2130	±	444
4	²⁰⁸ Tl	276.73	112	±	199
5	²¹⁴ Pb	294.7	956	±	226
6	²²⁸ Ac	337.73	508	±	196
7	²¹⁴ Pb	351.43	2280	±	144
8	²⁰⁸ Tl	510.72	3445	±	223
9	²⁰⁸ Tl	582.78	1112	±	109
10	²¹⁴ Bi	608.86	2544	±	131
11	²¹² Bi	726.59	303	±	95
12	²¹⁴ Bi	768.14	337	±	91
13	²²⁸ Ac	910.78	967	±	108
14	²²⁸ Ac	964.12	891	±	161
15	²²⁸ Ac	968.39	891	±	162
16	²¹⁴ Bi	1119.58	824	±	97
17	²¹⁴ Bi	1237.31	161	±	46
18	²¹⁴ Bi	1376.7	148	±	63
19	⁴⁰ K	1459.96	9619	±	113
20	²¹⁴ Bi	1763.36	730	±	42

5.3. Espectros obtenidos de las muestras analizadas.

Para cada muestra se obtuvo un espectro de radiación, con la información de los fotopicos se generaron las Tablas con los resultados y se ajustaron de acuerdo al manejo de datos explicado en el Capítulo 3.

5.3.1. Espectros obtenidos de las muestras de Frambuesas.

5.3.1.1. Espectro obtenido de la muestra de Frambuesas de Puebla.

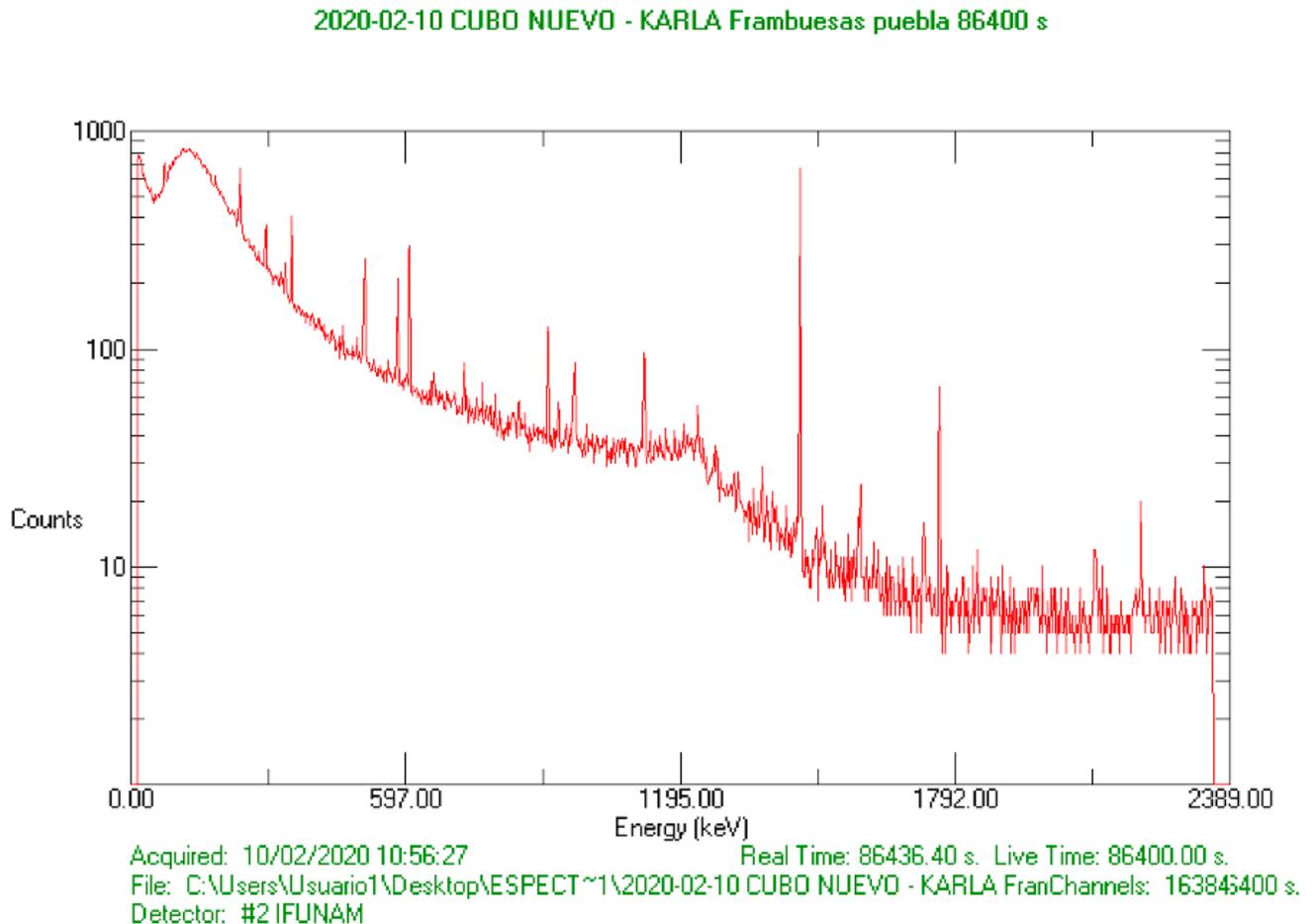


Figura 32. Espectro de la muestra de Frambuesas de Puebla (PAD-IFUNAM).

Tabla 20. Datos obtenidos para la muestra de Frambuesas de Puebla.

Pico	Radioisótopo	Energía (keV)	Área neta Fondo (AnF)	Área neta Muestra (AnM)	Área neta Total (AnT)	Resultados del análisis
1	²²⁶ Ra	185.22	470 ± 219	456 ± 131	-14 ± 255	DDF
2	²³⁸ Pb	238.12	2130 ± 444	2045 ± 112	-85 ± 458	DDF
3	²¹⁴ Pb	241.51	2130 ± 444	238 ± 103	-1892 ± 456	DDF
4	²⁰⁸ Tl	276.73	112 ± 199	0 ± 0	-112 ± 199	DDF
5	²¹⁴ Pb	294.7	956 ± 226	1090 ± 85	134 ± 241	DDI
6	²²⁸ Ac	337.73	508 ± 196	429 ± 73	-79 ± 209	DDF
7	²¹⁴ Pb	351.43	2280 ± 144	1680 ± 81	-600 ± 165	DDF
8	²⁰⁸ Tl	510.72	3445 ± 223	573 ± 75	-2872 ± 235	DDF
9	²⁰⁸ Tl	582.78	1112 ± 109	713 ± 57	-399 ± 123	DDF
10	²¹⁴ Bi	608.86	2544 ± 131	1445 ± 67	-1099 ± 147	DDF
11	²¹² Bi	726.59	303 ± 95	170 ± 40	-133 ± 103	DDF
12	²¹⁴ Bi	768.14	337 ± 91	130 ± 38	-207 ± 99	DDF
13	²²⁸ Ac	910.78	967 ± 108	170 ± 40	-797 ± 115	DDF
14	²²⁸ Ac	964.12	891 ± 161	130 ± 38	-761 ± 165	DDF
15	²²⁸ Ac	968.39	891 ± 162	170 ± 40	-721 ± 167	DDF
16	²¹⁴ Bi	1119.58	824 ± 97	130 ± 38	-694 ± 104	DDF
17	²¹⁴ Bi	1237.31	161 ± 46	0 ± 0	-161 ± 46	DDF
18	²¹⁴ Bi	1376.7	148 ± 63	78 ± 22	-70 ± 67	DDF
19	⁴⁰ K	1459.96	9619 ± 113	2626 ± 113	-6993 ± 160	DDF
20	²¹⁴ Bi	1763.36	730 ± 42	174 ± 30	-556 ± 52	DDF

DDI: Dentro de la incertidumbre ; DDF: Dentro del Fondo

En la *Tabla 20*. Que corresponde a la muestra de Frambuesas del Estado de Puebla, podemos notar que todos los resultados se encuentran Dentro del Fondo y la Incertidumbre lo que nos permite inferir que se encuentra libre de contaminantes radiológicos, con esto podemos probar que el método funciona y nos permite obtener resultados que nos conducen a alimentos seguros para el consumo sin causar un daño a la salud.

5.3.1.2. Espectros obtenidos de la muestras de Frambuesas de Michoacán

2020-01-28 CUBO NUEVO - KARLA frambuesa michoacan 86400 s

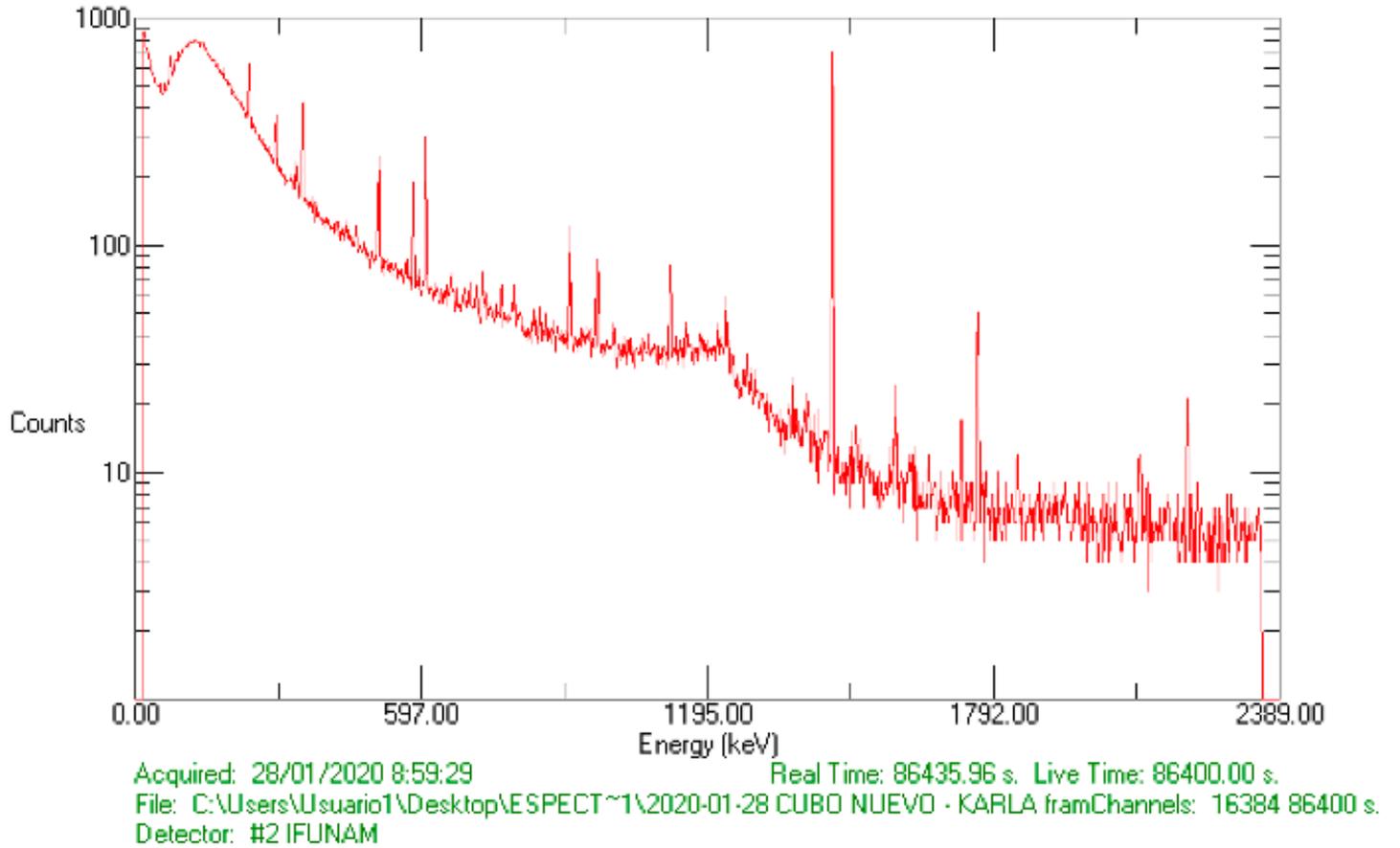


Figura 33. Espectro de la muestra de Frambuesas de Michoacán (PAD-IFUNAM).

Tabla 21. Datos obtenidos para la muestra de Frambuesas de Michoacán.

Pico	Radioisótopo	Energía (keV)	Área neta Fondo (AnF)	Área neta Muestra (AnM)	Área neta Total (AnT)	Resultados del análisis
1	²²⁶ Ra	185.22	470 ± 219	301 ± 129	-169 ± 254	DDF
2	²³⁸ Pb	238.12	2130 ± 444	1904 ± 108	-226 ± 457	DDF
3	²¹⁴ Pb	241.51	2130 ± 444	410 ± 103	-1720 ± 456	DDF
4	²⁰⁸ Tl	276.73	112 ± 199	0 ± 0	-112 ± 199	DDI
5	²¹⁴ Pb	294.7	956 ± 226	970 ± 87	14 ± 242	DDI
6	²²⁸ Ac	337.73	508 ± 196	422 ± 72	-86 ± 209	DDF
7	²¹⁴ Pb	351.43	2280 ± 144	1668 ± 82	-612 ± 166	DDF
8	²⁰⁸ Tl	510.72	3445 ± 223	502 ± 76	-2943 ± 236	DDF
9	²⁰⁸ Tl	582.78	1112 ± 109	702 ± 57	-410 ± 123	DDF
10	²¹⁴ Bi	608.86	2544 ± 131	1422 ± 67	-1122 ± 147	DDF
11	²¹² Bi	726.59	303 ± 95	158 ± 40	-145 ± 103	DDF
12	²¹⁴ Bi	768.14	337 ± 91	162 ± 37	-175 ± 98	DDF
13	²²⁸ Ac	910.78	967 ± 108	520 ± 45	-447 ± 117	DDF
14	²²⁸ Ac	964.12	891 ± 161	76 ± 32	-815 ± 164	DDF
15	²²⁸ Ac	968.39	891 ± 162	328 ± 39	-563 ± 167	DDF
16	²¹⁴ Bi	1119.58	824 ± 97	213 ± 41	-611 ± 105	DDF
17	²¹⁴ Bi	1237.31	161 ± 46	0 ± 0	-161 ± 46	DDF
18	²¹⁴ Bi	1376.7	148 ± 63	0 ± 0	-148 ± 63	DDF
19	⁴⁰ K	1459.96	9619 ± 113	2752 ± 112	-6867 ± 159	DDF
20	²¹⁴ Bi	1763.36	730 ± 42	189 ± 31	-541 ± 52	DDF

DDI: Dentro de la incertidumbre; DDF: Dentro del Fondo

La muestra de Frambuesas de la región del Estado de Michoacán presenta valores (Tabla 21.) que se encuentran dentro del Fondo o dentro de la Incertidumbre lo que nos permite decir que está libre de radioisótopos tanto naturales como artificiales, por lo que no podría generar daño a la salud.

5.3.2. Espectros obtenidos de las muestras de Fresas.

5.3.2.1. Espectro obtenido de la muestra de Fresas de Michoacán.

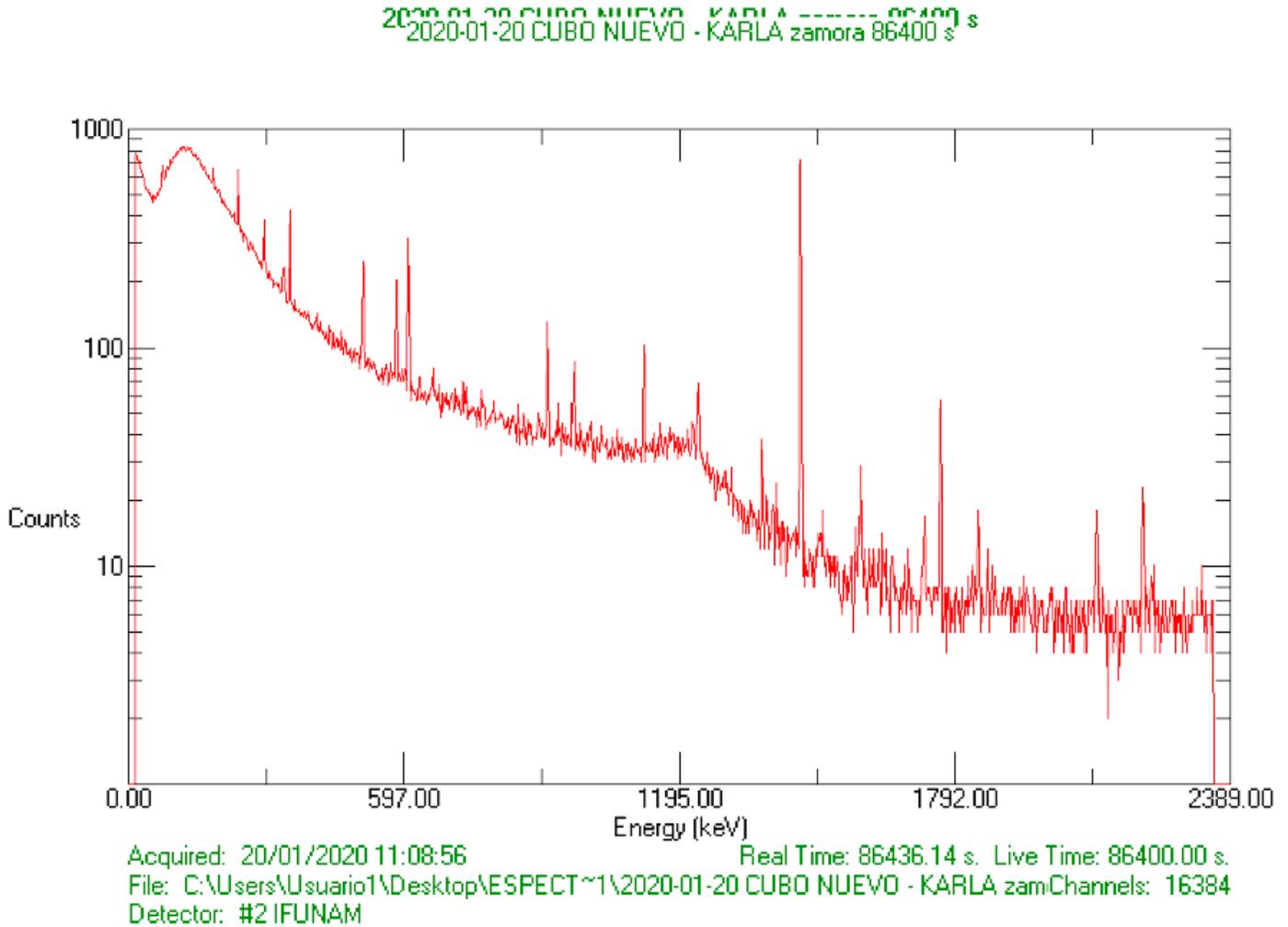


Figura 34. Espectro de la muestra de Fresas de Michoacán (PAD-IFUNAM).

Tabla 22. Datos obtenidos para la muestra de Fresas de Michoacán.

Pico	Radioisótopo	Energía (keV)	Área neta Fondo (AnF)		Área neta Muestra (AnM)		Área neta Total (AnT)		Resultados del análisis
1	²²⁶ Ra	185.22	470	± 219	315	± 131	-155	± 255	DDF
2	²³⁸ Pb	238.12	2130	± 444	1875	± 111	-255	± 458	DDF
3	²¹⁴ Pb	241.51	2130	± 444	255	± 104	-1875	± 456	DDF
4	²⁰⁸ Tl	276.73	112	± 199	0	± 0	-112	± 199	DDF
5	²¹⁴ Pb	294.7	956	± 226	908	± 87	-48	± 242	DDF
6	²²⁸ Ac	337.73	508	± 196	439	± 74	-69	± 210	DDF
7	²¹⁴ Pb	351.43	2280	± 144	1641	± 82	-639	± 166	DDF
8	²⁰⁸ Tl	510.72	3445	± 223	636	± 75	-2809	± 235	DDF
9	²⁰⁸ Tl	582.78	1112	± 109	796	± 57	-316	± 123	DDF
10	²¹⁴ Bi	608.86	2544	± 131	1408	± 67	-1136	± 147	DDF
	¹³⁷ Cs	661.02	0	± 0	191	± 41	191	± 41	DDAI
11	²¹² Bi	726.59	303	± 95	128	± 41	-175	± 103	DDF
12	²¹⁴ Bi	768.14	337	± 91	109	± 39	-228	± 99	DDF
13	²²⁸ Ac	910.78	967	± 108	325	± 48	-642	± 118	DDF
14	²²⁸ Ac	964.12	891	± 161	0	± 0	-891	± 161	DDF
15	²²⁸ Ac	968.39	891	± 162	160	± 40	-731	± 167	DDF
16	²¹⁴ Bi	1119.58	824	± 97	255	± 41	-569	± 105	DDF
17	²¹⁴ Bi	1237.31	161	± 46	76	± 36	-85	± 58	DDF
18	²¹⁴ Bi	1376.7	148	± 63	0	± 0	-148	± 63	DDF
19	⁴⁰ K	1459.96	9619	± 113	2526	± 112	-7093	± 159	DDF
20	²¹⁴ Bi	1763.36	730	± 42	151	± 30	-579	± 52	DDF

DDI: Dentro de la incertidumbre; DDF:Dentro del Fondo

DDAI: Dentro de los valores aceptados para el consumo humano.

De los datos anteriores (Tabla 22.) Podemos observar que todos los radioisótopos se encuentran dentro del Fondo, sin embargo existe presencia de ¹³⁷Cesio en las Fresas de Zamora, Michoacán, esto nos indicaría la presencia de un radioisótopo de origen artificial, que tiene su origen en ensayos o accidente nucleares cuya vida media es de 30 años por lo que durante este periodo puede continuar emitiendo radiación gama, este efecto nos permite detectarlo, los valores obtenidos se encuentran dentro de lo recomendado por las instituciones internacionales, sin riesgo radiológico, para el ser humano. (OIEA/CODEX)

5.3.2.2. Espectro obtenido de la muestra de Fresas del Estado de México.

2020-01-22 CUBO NUEVO - KARLA fresa estado de mexico 86400 s

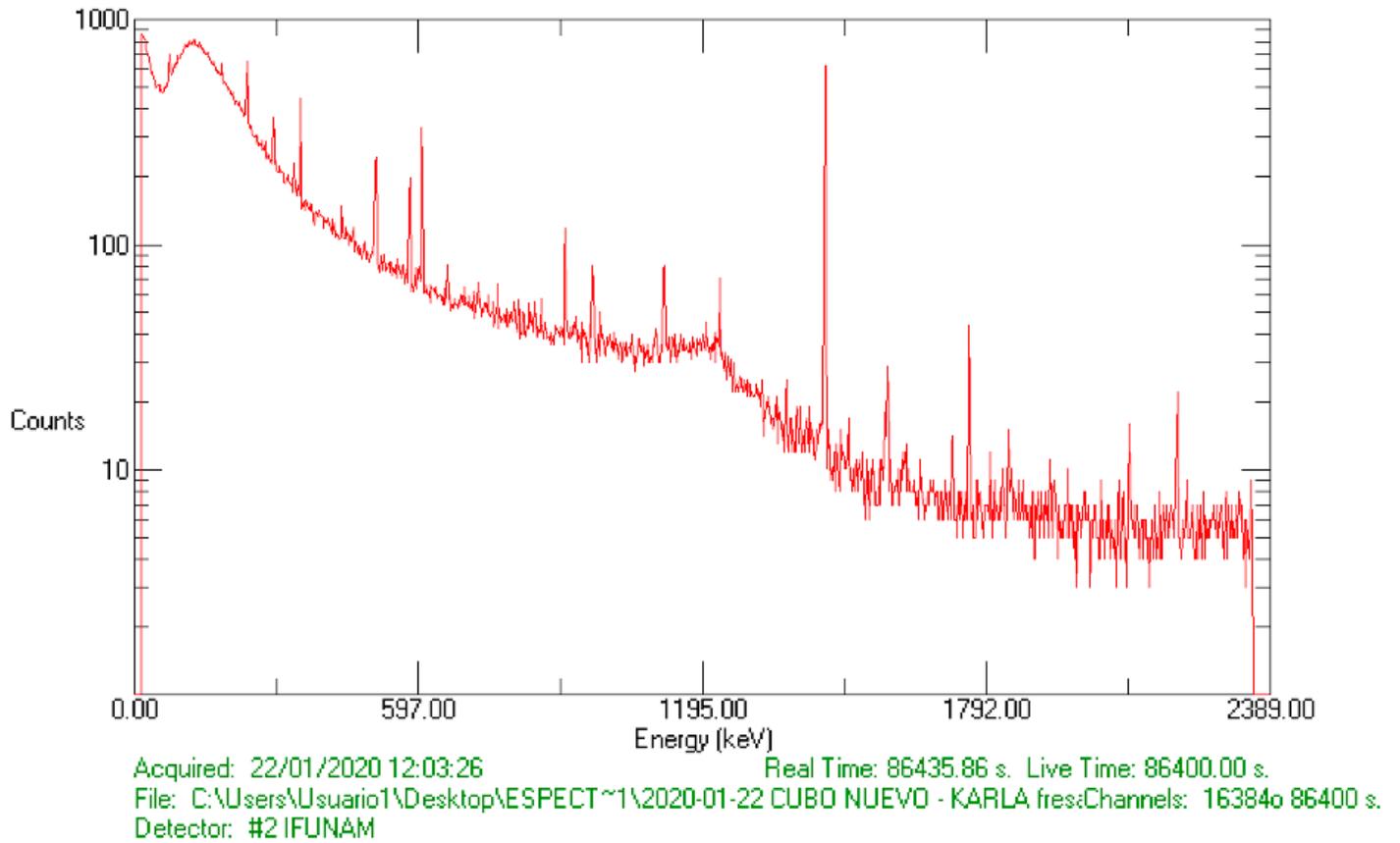


Figura 35. Espectro de la muestra de Fresas del Estado de México (PAD-IFUNAM).

Tabla 23. Datos obtenidos para la muestra de Fresas del Estado de México.

Pico	Radioisótopo	Energía (keV)	Área neta Fondo (A _{nF})	Área neta Muestra (A _{nM})	Área neta Total (A _{nT})	Resultados del análisis
1	²²⁶ Ra	185.22	470 ± 219	740 ± 240	270 ± 325	DDI
2	²³⁸ Pb	238.12	2130 ± 444	2081 ± 363	-49 ± 574	DDF
3	²¹⁴ Pb	241.51	2130 ± 444	2081 ± 363	-49 ± 574	DDF
4	²⁰⁸ Tl	276.73	112 ± 199	91 ± 162	-21 ± 257	DDF
5	²¹⁴ Pb	294.7	956 ± 226	986 ± 154	30 ± 273	DDI
6	²²⁸ Ac	337.73	508 ± 196	678 ± 130	170 ± 235	DDI
7	²¹⁴ Pb	351.43	2280 ± 144	2040 ± 130	-240 ± 194	DDI
8	²⁰⁸ Tl	510.72	3445 ± 223	1494 ± 116	-1951 ± 251	DDF
9	²⁰⁸ Tl	582.78	1112 ± 109	1293 ± 84	181 ± 138	DDI
10	²¹⁴ Bi	608.86	2544 ± 131	2129 ± 91	-415 ± 160	DDF
	¹³⁷ Cs	661.27	0 ± 0	200 ± 74	200 ± 74	DDAI
11	²¹² Bi	726.59	303 ± 95	225 ± 68	-78 ± 117	DDF
12	²¹⁴ Bi	768.14	337 ± 91	0 ± 0	-337 ± 91	DDF
13	²²⁸ Ac	910.78	967 ± 108	898 ± 66	-69 ± 127	DDF
14	²²⁸ Ac	964.12	891 ± 161	208 ± 56	-683 ± 170	DDF
15	²²⁸ Ac	968.39	891 ± 162	482 ± 60	-409 ± 173	DDF
16	²¹⁴ Bi	1119.58	824 ± 97	564 ± 61	-260 ± 115	DDF
17	²¹⁴ Bi	1237.31	161 ± 46	259 ± 57	98 ± 73	DDI
18	²¹⁴ Bi	1376.7	148 ± 63	128 ± 34	-20 ± 72	DDF
19	⁴⁰ K	1459.96	9619 ± 113	7117 ± 125	-2502 ± 169	DDF
20	²¹⁴ Bi	1763.36	730 ± 42	362 ± 41	-368 ± 59	DDF

DDI: Dentro de la incertidumbre; DDF: Dentro del Fondo

DDAI: Dentro de los valores aceptados para el consumo humano.

De acuerdo con los datos obtenidos (Tabla 23.) para Fresas en el Estado de México, podemos observar que existe presencia de ²⁰⁸Talio y ²¹⁴Bismuto, pero al no estar tan lejanos los valores del área y la Incertidumbre podemos concluir que se encuentran dentro de la Incertidumbre, también en los datos se observa la presencia del ¹³⁷Cesio, de la misma manera que en la muestra anterior estos valores no exceden lo permitido por la normatividad (Anexo).

5.3.3. Espectro obtenido de la muestra de Cereza.

5.3.3.1. Espectro obtenido de la muestra de Cereza de Chile.

2020-01-21 CUBO NUEVO - KARLA cereza chilena 86400 s

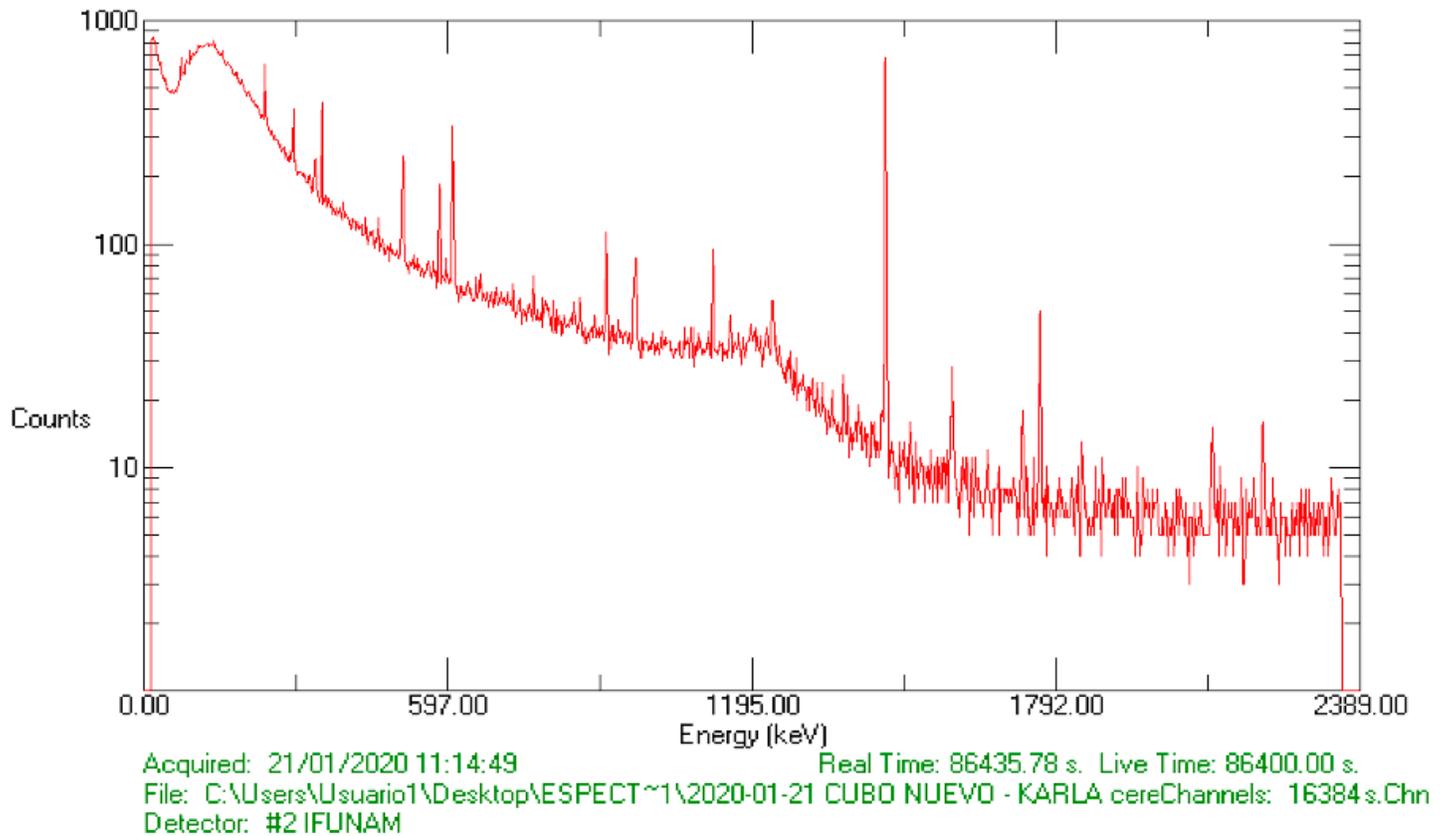


Figura 36. Espectro de la muestra de Cereza de Chile (PAD-IFUNAM).

Tabla 24. Datos obtenidos para la muestra de Cerezas de Chile.

Pico	Radioisótopo	Energía (keV)	Área neta Fondo (AnF)	Área neta Muestra (AnM)	Área neta Total (AnT)	Resultados del análisis
1	²²⁶ Ra	185.22	470 ± 219	0 ± 0	-470 ± 219	DDF
2	²³⁸ Pb	238.12	2130 ± 444	2434 ± 398	304 ± 596	DDI
3	²¹⁴ Pb	241.51	2130 ± 444	2434 ± 399	304 ± 597	DDI
4	²⁰⁸ Tl	276.73	112 ± 199	0 ± 0	-112 ± 199	DDF
5	²¹⁴ Pb	294.7	956 ± 226	1474 ± 364	518 ± 428	DDI
6	²²⁸ Ac	337.73	508 ± 196	327 ± 154	-181 ± 249	DDF
7	²¹⁴ Pb	351.43	2280 ± 144	2115 ± 151	-165 ± 209	DDF
8	²⁰⁸ Tl	510.72	3445 ± 223	1918 ± 129	-1527 ± 258	DDF
9	²⁰⁸ Tl	582.78	1112 ± 109	1338 ± 94	226 ± 144	DDI
10	²¹⁴ Bi	608.86	2544 ± 131	2169 ± 104	-375 ± 167	DDF
11	²¹² Bi	726.59	303 ± 95	0 ± 0	-303 ± 95	DDF
12	²¹⁴ Bi	768.14	337 ± 91	304 ± 76	-33 ± 119	DDF
13	²²⁸ Ac	910.78	967 ± 108	847 ± 74	-120 ± 131	DDF
14	²²⁸ Ac	964.12	891 ± 161	675 ± 128	-216 ± 206	DDF
15	²²⁸ Ac	968.39	891 ± 162	675 ± 128	-216 ± 206	DDF
16	²¹⁴ Bi	1119.58	824 ± 97	609 ± 68	-215 ± 118	DDF
17	²¹⁴ Bi	1237.31	161 ± 46	0 ± 0	-161 ± 46	DDF
18	²¹⁴ Bi	1376.7	148 ± 63	0 ± 0	-148 ± 132	DDF
19	⁴⁰ K	1459.96	9619 ± 113	8757 ± 116	-862 ± 162	DDF
20	²¹⁴ Bi	1763.36	730 ± 42	548 ± 35	-182 ± 55	DDF

DDI: Dentro de la incertidumbre; DDF:Dentro del Fondo;

Como se observa en la *Tabla 24* la muestra arroja datos para dos radioisótopos naturales con resultados que indican presencia, sin embargo podemos decir que al tener una incertumbre y un valor del área neta total con una diferencia de 90 cuentas y que solo se pueden observar dos de las energías de emisión de estos elementos, se consideran dentro de la Incertidumbre. De acuerdo con esta interpretación la Cerezas chilenas se encuentran libre de contaminantes radiológicos.

5.4. Análisis de resultados.

Después de los sucesos desencadenados por el accidente ocurrido en Chernóbil, surge la necesidad de tener mayor control respecto a los contaminantes radiológicos presentes en alimentos para evitar daños a la salud, así como mantener una vigilancia constante de los niveles actuales en los que se encuentran para poder compararlos si ocurrieran nuevos incidentes.

En la actualidad existe normatividad internacional que nos permite tener referencia de los límites recomendados para diversos grupos de alimentos, sin embargo, como ya se ha mencionado con anterioridad en el Capítulo 1, en nuestro país no existe una normatividad que especifique un control sobre nuestros alimentos. De esta necesidad es que surge el proyecto, debido a que esta técnica de análisis es utilizada a nivel internacional y los contaminantes radiológicos son considerados como parámetros para otorgar la certificación de los alimentos para su exportación.

En México no existe información de accidentes nucleares de los cuales pudieran existir residuos de radioisótopos artificiales, sin embargo se sabe que estos elementos pueden viajar en el aire o en el agua y depositarse en el suelo donde crecen los frutos, por esta razón es que nuestros alimentos no están exentos de contaminación radiológica.

El análisis de las muestras de frutos rojos nos permitió evaluar alimentos frescos que pueden ser encontrados en mercados por lo que los convierte en alimentos de fácil acceso para los consumidores, a pesar de que existe una gran variedad de estos, solo se utilizaron las frambuesas, fresas y cerezas, por ser los más comunes en la dieta de los mexicanos. Con el manejo de los datos pudimos observar que tanto las frambuesas como las cerezas se encuentran libres de cualquier contaminante radiológico, ya que los espectros únicamente arrojaron información sobre radioisótopos que provienen de las cadenas de decaimiento del ^{238}U y ^{232}Th , los cuales se encuentran en el ambiente (espectro de fondo), así como en todo lo que nos rodea. Por esta razón podemos decir que nuestras muestras son Alimentos Seguros.

El ^{40}K Potasio (^{40}K) es un radioisótopo natural presente principalmente en la tierra y llega al organismo mediante el consumo de alimentos que lo contengan, ya que pueden absorberse del suelo donde son sembrados, al no existir valores mayores a las cantidades del fondo, nos permiten inferir que en los sembrados donde se cosechan estos alimentos no existe presencia de ^{40}K (González,2012).

De acuerdo con nuestros frutos analizados las Fresas fueron las únicas que dieron resultados distintos a las otras muestras ya que se obtuvieron dentro de los espectros señales en la energía de 661 KeV, lo que nos indica una presencia de ^{137}Cs (^{137}Cs), el cual es un elemento que se produce de forma artificial, que tiene una vida media de 30 años y es asociado principalmente a accidentes nucleares debido a que se produce durante la fisión nuclear.

Si este radionucléido artificial es ingerido tiene un comportamiento similar al potasio, siendo absorbido en el torrente sanguíneo a través de los intestinos. Una vez dentro del cuerpo tiende a concentrarse en los músculos donde tiene una vida media biológica de alrededor de 70 a 100 días. Debido a que el ^{137}Cs se descompone por emisión de radiación gamma a $^{137\text{m}}\text{Bario}$ (que es un isómero que se descompone de forma muy rápida) tiene el potencial de causar cáncer (Bartram,2015).

Debido a los efectos que puede tener para la salud el consumo de alimentos contaminados, resulta importante conocer si nuestras muestras se encuentran dentro de rangos aceptados por la normatividad, para poder conocer estos valores se realizaron los cálculos de la actividad específica o concentración de radioisótopos en unidades de Bq/kg de alimento, descritos en los Anexo, este protocolo de análisis siguen la especificaciones del IAEA (1989) "Measurement of Radionuclides in Food and the Environment", TR serie No. 95.

De acuerdo al manejo de datos realizado se obtuvieron para las muestras (*Tabla 26*) los valores de 0.247 Bq/kg en las Fresas de Michoacán y de 0.259 Bq/kg para las Fresas del Estado de México, estos valores se encuentran muy por debajo de los niveles de

referencia establecidos en el Codex (*Tabla 16*) que para alimentos es de 1000 Bq/kg, por lo que al no sobrepasar los límites podemos considerar ambas muestras como seguras para el consumo humano.

Para el año 2017 en nuestro país el consumo per cápita alcanza valores de 1.4 kg razón por la cual consumir en un año casi el doble de la cantidad de la muestra utilizada para el estudio no representaría un riesgo a la salud de quienes consuman el producto. (Martínez, 2017)

En México no ha habido accidentes nucleares, pero el ^{137}Cs encontrado en las muestras al ser un radioisótopo artificial originado a raíz de la fisión nuclear del Uranio, puede tener como origen el accidente nuclear en Chernóbil ya que la magnitud de la nube radioactiva generada fue tan grande que la radiación viajó a través del aire y gracias a la forma en la que este se desplaza alrededor del mundo, es que pasó por Europa, para posteriormente una cantidad menor viajar hacia el hemisferio norte del continente americano, y una pequeña parte pudo desplazarse de Estados Unidos hacia nuestro territorio, lo que podría explicar la presencia de este radionucléido en las muestras de Fresas (Picquart, 2016).

5.5. Conclusiones.

La espectrometría gamma es un método moderno, sencillo y utilizado mundialmente para el análisis de contaminantes radiológicos, además de ser el recomendado por la FAO y la OIEA. Es un análisis rápido, de alta eficiencia sin destruir la muestra que al ser automatizado disminuye los errores por manejo, permite conocer el contenido radiológico de radioisótopos naturales y artificiales (30KeV a 1.5KeV) de alimentos como los frutos rojos analizados en el presente estudio.

La certificación de alimentos de no contenidos radiológicos es obligatoria en muchos países, para la importación y exportación de alimentos.

Los radioisótopos naturales se encuentran en el ambiente, pero no están presentes en las muestras de frutos rojos (fresas, frambuesas y cerezas) que se analizaron en este trabajo.

Se requiere una normatividad en nuestro país debido a que, si existe presencia de elementos radioactivos de origen artificial en las muestras de fresas, sin embargo, estas se encuentran dentro de los límites recomendados por la FAO, OIEA y OMS lo que los hace "Alimentos seguros" en cuestión de radioisótopos, de igual forma las frambuesas y cerezas pueden considerarse seguros ya que no arrojaron resultados que den indicio de una contaminación radiológica.

Se estableció el protocolo de certificación para frutos rojos que detalla la metodología necesaria para la detección de radioisótopos mediante espectrometría gamma descrito en el capítulo tres basado en los protocolos de análisis que establece la FAO para matrices alimentarias, puede ser utilizado en caso de una emergencia nuclear o bien para mediciones rutinarias ya sea para este tipo de alimentos o aquellos que se desee exportar para poder asegurar que existe un cumplimiento de la normatividad internacional.

5.6. Alcances del proyecto.

El presente trabajo puede ser utilizado para un protocolo de certificación en el que se describa la metodología que se debe seguir para detectar contaminantes radiológicos en alimentos, así como la cuantificación de la actividad específica del $^{137}\text{Cesio}$.

Con la información obtenida por este y otros trabajos anteriores se pretende crear un atlas de monitoreo sobre el estado radiológico de los alimentos.

De forma complementaria realizar un análisis del suelo ayudaría a corroborar la existencia del $^{137}\text{Cesio}$ en las muestras y verificar su origen para la certificación de alimentos con el método utilizado por los organismos internacionales.

Preparar a estudiantes de la carrera de Química de Alimentos en el análisis de contaminantes radiológicos por métodos nucleares en cualquier tipo de alimentos.

Referencias.

1. Aguirre, J. (2003) Control Radiológico de Productos Alimenticios de Importancia. Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias. [En línea] (Actualizado al 13 de septiembre de 2003). Disponible en:
<https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/37/009/37009823.pdf>
[Último acceso el 26 de febrero de 2020].
2. Andersen, O., Markham, K. 2006. Flavonoids: chemistry, biochemistry and applications. Boca Raton: CRC, Taylor and Francis.
3. Baratta, E. 1994. Manual of Food Quality Control. Radionuclides in Food. Roma. Food and Agriculture Organization of The United Nations.
4. Bartram, J., 2015. Routledge Handbook of Water and Health. North Carolina: Routledge
5. Barrera, M.; Romero, M. L.; Valiño, F., 2008. Puesta a Punto de un Sistema de Espectrometría Gamma para la Determinación de Cs-137 en Suelos Españoles. Madrid: CIEMAT.
6. Bravo, C., 1998. El Cerezo (*Prunus avium* L.) Saltillo, Coahuila: Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro".
7. CNSNS (Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias), 2020. ¿Qué hacemos? [En Línea] Disponible en: <https://www.gob.mx/cnsns/que-hacemos>
[Último acceso el 15 de Julio de 2020].

8. FAO (Food and Agriculture Organization), 1995. Norma general del Codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. CODEX STAN 193-1995. [En Línea] Disponible en:
http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/CXS_193s.pdf
[Último acceso el 10 de Febrero de 2021].
9. Domingo, J. 2017. Fisionable y fértil. [En Línea] (Actualizado al 17 de febrero de 2017) Disponible en: <http://cbrn.es/?tag=decaimiento-radiactivo> [Último acceso el 15 de Julio de 2020].
10. Drago, M., López, M., Saínz, T. 2006. Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. Rev. Mexicana Ciencias Farmacéuticas. 37(4), 58-68.
11. Elika, Fundación Vasca para la Seguridad Alimentaria. Código Alimentario Español. [En línea] (Actualizado al 21 de septiembre de 2019). Disponible en:
http://www.elika.net/datos/formacion_documentos/Archivo30/7_Código%20alimentario%20español.pdf [Último acceso el 26 de febrero de 2020]
12. Escamilla, C., Cuevas, E., Guevara, J. 2009. Flavonoides y sus acciones antioxidantes Rev Facultad de Medicina, 52(2), 73-75.
13. Espinosa, G., 2016. Gas radón en cuevas: su origen, medición, distribución, y sus posibles riesgos y/o beneficios en la salud pública. Distrito Federal. IFUNAM.
14. FAOSTAD (2018) Datos de Producción de Cultivos [En línea] Disponible en:
<http://www.fao.org/faostat/es/-data/QC> [Último acceso el 18 de febrero de 2020].
15. FAO (Food and Agriculture Organization), 2011. Nuclear accidents and radioactive contamination of foods. [En línea] Disponible en:
https://www.who.int/foodsafety/fs_management/radionuclides_and_food_300311.pdf
[Último acceso el 8 de mayo de 2020].
16. FAO (Food and Agriculture Organization), 2004. Aviso de cancelación de la norma Nom-088-ssa1-1994, sobre límites máximos permisibles en la contaminación por radionúclidos de alimentos de consumo masivo importados. [En línea] Disponible en: <http://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC052057/> [Último acceso el 10 de febrero de 2021].

17. Faires, R., Parks, B., (1960) Radioisótopos. Técnicas de laboratorio. Editorial Universitaria de Buenos Aires. Buenos Aires.
18. García, J., Gonzalez, G., Ciordia, M. 2014. El cultivo del frambueso. Villaviciosa: SERIDA. [En Línea] Disponible en: <http://www.serida.org/pdfs/6085.pdf> [Último acceso el 19 de febrero de 2020].
19. Guzmán, A. 2016. Estudio y caracterización de contenidos y posibles contaminantes radiológicos en vegetales: Lechuga (*Lactuca sativa*), Jitomate (*Solanum lycopersicum*) y Brócoli (*Brassica oleracea italica*), Mediante técnicas Nucleares. Ciudad de México.
20. González, E., 2012. Determinación de K-40 en alimentos por espectrometría gamma con un detector de NaI(Tl) y simulaciones montecarlo. Montevideo: ANALES AFA.
21. ININ (Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares), 2008. Radioactividad y fisión nuclear. [En línea] (Actualizado al 8 de agosto de 2013). Disponible en: <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/51%20RADIATIVIDAD.pdf> [Último acceso el 8 de mayo de 2020].
22. ININ (Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares), 2012. Efectos de la radiación, Contacto nuclear, 37
23. ININ (Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares). 2020. Equipos, Laboratorio Nacional de Investigaciones en Forense Nuclear. [En Línea] Disponible en: https://www.inin.gob.mx/mini_sitios/tercer_plano.cfm?cve_area=LABFON&codigo_opc=180004003&fbclid=IwAR04YtCt3nIVaPyCSQpabjCRZs87u8mlw_X7b2htJmLBtXXgl-31gzfgkl8 [Último acceso el 15 de Julio de 2020].
24. ICRP (International Commission on Radiological Protection), 2020. History. En Línea] Disponible en: <https://www.icrp.org/page.asp?id=9> [Último acceso el 15 de Julio de 2020].
25. Knoll, G., 2010. Radiation Detection and Measurement. 4 ed. Michigan: John Wiley & Sons, Inc.
26. López, B. (2004) Radioactividad natural y artificial en nuestro entorno. Revista Ciencia [En línea] (Actualizado al abril-junio de 2004). Disponible en:

https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_2/radiactividad_nuclear.pdf

[Último acceso el 26 de febrero de 2020].

27. Llancari, A., Matos, A., 2011. Valoración de los nutrientes y antioxidantes en la salud humana e industria alimentaria. En: Universidad Peruana Unión. Lima: Congreso Nacional de Investigación. Lima, 2-4.
28. Mattivi, F., 2002. Antioxidantes polifenólicos naturales de la dieta. Madwave, 2(10) Disponible en:
<https://www.medwave.cl/link.cgi/Medwave/PuestaDia/Congresos/3322> [Último acceso el 19 de febrero de 2020].
29. Martínez, M., 2017. Crecen 63% exportaciones de fresa mexicana. [En Línea] Disponible en: <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Crecen-63.1-exportaciones-de-fresa-mexicana-20170416-0057.html> [Último acceso el 15 de Julio de 2020].
30. Ministerio de Ciencia e Innovación. 2020. Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM). [En Línea] Disponible en:
<https://www.ciencia.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.26172fcf4eb029fa6ec7da6901432ea0/?vgnnextoid=5a93579ecc1c1410VgnVCM1000001d04140aRCRD>
[Último acceso el 15 de Julio de 2020].
31. Moreiras, O., 2013. Tablas de composición de alimentos. 10a ed. Madrid: Pirámide.
32. NOM-088-SSA1-1994 (1994) Norma Oficial Mexicana NOM-088-SSA1-1994 "Bienes y Servicios. Contaminación por radionúclidos en alimentos de consumo masivo importados. Límites máximos permisibles. (Cancelada)
33. Núñez, A., 2011. Terapia antioxidante, estrés oxidativo y productos antioxidantes: retos y oportunidades. Rev Cubana Salud Pública. 37 (suppl.): 644-660.
34. Odriozola, I. (2009). Obtención de zumos y frutos cortados con alto potencial antioxidante mediante tratamientos no térmicos. Tesis doctoral. Universitat de Lleida. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària

35. OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica), 2020. Contaminantes de los alimentos. [En Línea] Disponible en: <https://www.iaea.org/es/temas/contaminantes-de-los-alimentos> [Último acceso el 15 de Julio de 2020].
36. OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica), 2020. Evaluación de la contaminación en la agricultura.[En Línea] Disponible en: <https://www.iaea.org/es/temas/evaluacion-de-la-contaminacion-en-la-agricultura> [Último acceso el 15 de Julio de 2020].
37. OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica), 2020. Historia. [En Línea] Disponible en: <https://www.iaea.org/es/el-oiea/historia> [Último acceso el 15 de Julio de 2020].
38. OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica), 2020. Siete cosas que hay que saber sobre los radioisótopos[En Línea] Disponible en: [.https://www.iaea.org/sites/default/files/55405810809_es.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/55405810809_es.pdf) [Último acceso el 15 de Julio de 2020].
39. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2020. 70 aniversario de la FAO. [En Línea] Disponible en: <http://www.fao.org/70/1945-55/es/> [Último acceso el 15 de Julio de 2020].
40. OMS (Organización Mundial de la Salud), 2019. Aumentar el consumo de frutas y verduras para reducir el riesgo de enfermedades no transmisibles. [En Línea] (Actualizado al 20 de diciembre de 2019) Disponible en: https://www.who.int/elena/titles/fruit_vegetables_ncds/es/ [Último acceso el 19 de febrero de 2020].
41. Padilla, E. 2013. Estudio del contenido de potasio en nopal mexicano (*Opuntia ficus indica*), mediante métodos nucleares. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
42. Patthamakanokporn, O., Puwastien, P., Nitithamyong, A., Sirichakwal. P. 2008. Changes of antioxidant activity and total phenolic compounds during storage of selected fruits. *J Food Composition Analysis*. 21, 241-248.
43. Pérez, H., 2001. Formas de detección. [En Línea] (Actualizado al 18 de abril de 2001) Disponible en:

https://fisica.usac.edu.gt/public/tesis_lic/hector_p/node14.html [Último acceso el 15 de Julio de 2020].

44. Piña, M. 1997. La radiactividad y sus efectos en el organismo. Ciencias, 47, 16-22

45. Roca, P., Oliver, J., Rodríguez, A., 2003. Bioquímica. Técnica y Métodos. Editorial Hélice. Madrid.

46. SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), 2017. Fresa, Planeación agrícola nacional 2017-2030, [En Línea] Disponible en:

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257075/Potencial-Fresa.pdf> [Último acceso el 19 de febrero de 2020].

47. SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), 2018. Berries, oportunidades en Jalisco. [En Línea] (Actualizado al 19 de febrero de 2020) Disponible en:

http://www.sicde.gob.mx/portal/bin/nota.php?from=20&accion=buscar&subrutina=pagina_1&column=2&busqueda=&orderBy=Notas.MedioComunicacion&order=DESC¬aid=9230209385ba3cc53c2069 [Último acceso el 19 de febrero de 2020].

48. Santoyo J. 2009. Paquete tecnológico para la producción de fresa. Fundación PRODUCE Sinaloa A.C.

49. Sax, N., Lewis R. 1993, Diccionario de química y de productos químicos. 2ª ed. Barcelona: Omega.

50. SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera), 2018. Datos abiertos. [En Línea] (Actualizado al 6 de diciembre de 2019) Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php> [Último acceso el 19 de febrero de 2020].

51. Tsoukfanidis, N., 1995 Measurement and Detection of Radiation. Segunda Edición. Washington: Taylor & Francis.

52. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 2016. Historical milestones. [En Línea] Disponible en:

https://www.unscear.org/unscear/about_us/history.html [Último acceso el 15 de Julio de 2020].

53. Vega, S. 2003. Innovación alimentaria al inicio del siglo XXI. El caso de los llamados alimentos y sustancias funcionales. En: Corona, M., comp. Innovación tecnológica en el futuro de los profesionales en áreas biológicas. México, D.F.: UAM-X , 223-259.
54. Vilchis, B., 2016. Estudio mediante técnicas nucleares, de Contaminantes Radiológicos en carne de pollo de engorda procesado. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
55. Villarreal, I., 2017. Estudio de contaminantes radiológicos en productos cárnicos y quesos seleccionados, mediante espectrometría gamma. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
56. WHO (World Health Organization), 2011. Nuclear accidents and radioactive contamination of foods. [En Línea] (Actualizado al 11 de marzo de 2011) Disponible en: <https://www.who.int/publications/m/item/nuclear-accidents-and-radioactive-contamination-of-foods> [Último acceso el 15 de Julio de 2020].

Anexos.

Cálculo de actividad específica de un radioisótopo.

Se define como la actividad específica al número de desintegraciones por unidad de masa o volumen. El Sistema Internacional establece como unidad para la cantidad de radiación emitida por un material radioactivo el Becquerel (Bq), por lo tanto, las unidades para designar a la actividad específica de un radioisótopo es Bq por kg o L de muestra (Bq/kg, ó L). Para realizar el cálculo es necesario el uso de patrones certificados que contengan el radioisótopo del cual se quiere calcular la actividad específica.

Para este trabajo de investigación se retomó el apartado de cálculo de actividad específica de un radioisótopo de la tesis "Estudio de contaminantes radiológicos en productos cárnicos y quesos seleccionado, mediante espectrometría gamma" cuyo

patrón empleado fue proporcionado por el Laboratorio de Patrones Radioactivos del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), el cual consistió en una solución multinúclida con actividad total de $37.03 \text{ KBq} \pm 3.16\%$, la cual se encontraba repartida entre distintos radioisótopos. A continuación (*Tabla 25.*) se muestra la información del patrón utilizado.

Tabla 25. Información del patrón certificado.

Radioisótopo	Energía (keV)	Factor de emisión de gammas (%)	Radiación γ por unidad de tiempo (γ/s)	Área Neta (cuentas / 7,557s)	Error (cuentas / 7557s)	Eficiencia (cuentas/gammas)
^{241}Am	59.5	0.36	539.7344	17822	287	0.004
^{109}Cd	88.03	0.0363	600.0488	52107	374	0.011
^{57}Co	122	0.856	443.9151	134318	496	0.040
^{57}Co	136	0.105	54.4522	17965	350	0.044
^{139}Cs	166	0.799	350.0550	111793	515	0.042
^{203}Hg	279	0.815	224.9072	52083	365	0.031
^{113}Sn	392	0.649	882.8164	154497	506	0.023
^{85}Sr	514	0.98	873.4959	113724	592	0.017
^{137}Cs	661.66	0.85	2928.784 2	328223	704	0.015
^{88}Y	898	0.94	2619.272 1	217337	601	0.011
^{60}Co	1173.2 4	0.9986	3989.890 2	264273	628	0.009
^{60}Co	1332.5	0.9998	3994.684 7	243619	590	0.008
^{88}Y	1836	0.994	2769.740 9	126374	389	0.006

El tiempo de conteo del análisis fue de 7,557 segundos.

La eficiencia calculada para cada radioisótopo en la *Tabla 25* se puede entender como la relación entre pulsos y número dado de emisión gamma (cuentas/gammas), estos valores se obtienen mediante la siguiente ecuación:

$$Ef_{cs} = \frac{(A_n)}{\gamma \cdot t_c}$$

donde:

A_n = Área neta (cuentas)

γ = Radiación gamma por unidad de tiempo (γ / s)

t_c = tiempo de conteo (s)

Para realizar el cálculo de la actividad del ^{137}Cs contenido en las muestras, es necesario calcular otros dos parámetros:

La razón de conteo (Rz_c) con unidades de cuentas/s, está dada por el área neta del fotopico o el promedio de áreas netas si se utiliza un fondo dividida entre el tiempo de conteo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Rz_c = \frac{(\Delta A_n)}{t_c}$$

donde:

ΔA_n = Promedio de área neta de muestra - área neta de fondo (cuentas)

t_c = tiempo de conteo (s)

Una vez obtenida la razón de conteo es posible conocer la Actividad (*Act*) en Bq, por medio de la ecuación siguiente:

$$Act = \frac{Rz_c}{\% \gamma \cdot Ef}$$

donde:

Rz_c = Razón de conteo (cuentas/s)

$\% \gamma$ = Factor de emisión de gammas (%)

Ef = Eficiencia (cuentas/gammas)

Como paso final para calcular la actividad específica o concentración de un radioisótopo en una muestra, es necesario dividir la actividad entre la masa de la muestra. La actividad específica debe reportarse en Bq por cada kilogramo de alimento (Bq/kg).

De acuerdo a nuestros resultados se encontró presencia de ^{137}Cs por lo que debe calcularse la actividad específica de este en Bq/kg de alimento para compararla con los niveles de referencia indicados en la legislación internacional como la norma CODEX STAN 193-1995, para considerar nuestras muestras como un Alimento seguro o un riesgo para los consumidores.

Ejemplo de cálculo para las Fresas de Michoacán.

Como primer paso debemos calcular la razón de conteo sustituyendo los valores en la ecuación:

$$Rz_c = \frac{(\Delta A_n)}{t_c} = \frac{(191 \text{ cuentas})}{86,400 \text{ s}} = 2.21 \times 10^{-3} \text{ cuentas/s}$$

Una vez obtenido el valor para Rz_c se puede calcular la actividad específica retomando los valores reportados en la *Tabla 25*:

$$Act = \frac{Rz_c}{\% \gamma . Ef} = \frac{2.21 \times 10^{-3} \text{ cuentas/s}}{0.85\% (0.015 \text{ cuentas/gammas})} = 0.173 \text{ Bq}$$

$$Act = \frac{0.173 \text{ Bq}}{0.7 \text{ kg}} = 0.247 \text{ Bq/kg}$$

Tabla 26. Actividad específica de ^{137}Cs en muestras de Fresas.

Muestra	Actividad específica de ^{137}Cs (Bq/kg)	Límite recomendado Bq/kg (CODEX)	Conclusión
Fresas de Michoacán	0.247	1000	Alimento Seguro
Fresas del Estado de México	0.259	1000	Alimento Seguro