



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA QUÍMICA**

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LA  
ACTIVIDAD DE CESIO-137 EN DIEZ FRUTAS DEL ECUADOR**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**QUÍMICO**

**AUTORES: SERGIO JAVIER REVELO NAVARRETE**

**MELIDA YADIRA UGENIO GAVIN**

**DIRECTORA: Dra. MAGDY MILENI ECHEVERRÍA GUADALUPE PhD.**

Riobamba – Ecuador

2022

**© 2022, Sergio Javier Revelo Navarrete & Melida Yadira Ugenio Gavin**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, SERGIO JAVIER REVELO NAVARRETE y MELIDA YADIRA UGENIO GAVIN, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 01 de julio del 2022



**Sergio Javier Revelo Navarrete**  
**C.I.: 040181852-1**



**Melida Yadira Ugenio Gavin**  
**C.I.: 172677687-3**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE CESIO 137 EN DIEZ FRUTAS DEL ECUADOR**, realizado por los señores: **SERGIO JAVIER REVELO NAVARRETE** y **MELIDA YADIRA UGENIO GAVIN**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud, el Tribunal Autoriza su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Dr. Edmundo Rodrigo Caluña Sánchez PhD.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



2022-07-01

Dra. Magdy Mileni Echeverría Guadalupe PhD.  
**DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2022-07-01

Dra. Jheny del Carmen Orbe Ordoñez PhD.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



2022-07-01

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado especialmente a mis padres Guillermo y Pilar quien con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido cumplir una meta más en este gran camino del conocimiento, Gracias por darme su ejemplo de perseverancia y trabajo duro, A mi hermano Carlos por su cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso educativo. A mis amigos, Luis, Yadira y Paulo quienes me han acompañado en todo momento y juntos hemos logrado cumplir nuestro sueño. A la Ing. Carlita, al Bqf. Benjamín, al Ing. Marco y la Biof. Gabriela que, con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional. Finalmente quiero agradecer a Nicole por apoyarme en momentos difíciles y ser mi compañera de vida. GRACIAS.

*Sergio*

Este trabajo va dedicado para cada una de las personas que me han acompañado a lo largo de mi carrera, quienes confiaron en mí y fueron el pilar fundamental para cumplir mi meta. A mis padres Luis y Leonor que me brindaron su amor, sacrificio y apoyo incondicional incluso en los días más difíciles. A mis hermanos Yajaira, Darío y Anahí por ser mi ejemplo a seguir y demostrarme que todo es posible. Al Ing. Teobaldo Patiño por brindarme su amistad y su apoyo incondicional en mi desarrollo profesional. A todos mis amigos, especialmente a Pablo, Sammy, Jou, Erick, Kevelin, Cristian, Paulo y Pamela, que a lo largo de mi carrera universitaria se convirtieron en hermanos y llenaron de gratos momentos mi vida. A Sergio por enseñarme el valor de la amistad, el compañerismo, sin tu apoyo nada de esto sería posible. A Steven C. por haber sido mi compañero de lucha a lo largo de mi carrera, por enseñarme a ser una mejor persona y siempre confiar en mí y a Luis G. por mostrarme una nueva perspectiva de la vida, por contagiarme de alegría mis días y ser cómplice en mis sueños y mis metas futuras.

*Yadira*

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradeciendo a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por ser el Alma Máter del conocimiento que ha forjado nuestro desarrollo profesional y nos ha brindado la oportunidad de servir a la sociedad y al país. A la Dra. Magdy Echeverría y a la Dra. Jheny Orbe, por su permanente asesoramiento, competencia, paciencia y apoyo durante el transcurso de la realización del Trabajo de Integración Curricular y por la buena amistad establecida.

A la Biof. Gabriela Ureña, al Ing. Teobaldo Patiño, a la Dra. Isabel Ortiz y a la Ing. Carla Haro, por su apoyo incondicional en la realización de este trabajo, por sus enseñanzas y por su amistad que nos ha permitido crecer como seres humanos y profesionales.

A nuestros queridos padres por ser el pilar fundamental en nuestro desarrollo personal y profesional.

Al Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC), por permitirnos ser parte de este prestigioso grupo y poder llevar a cabo nuestro Trabajo de Integración Curricular.

*Sergio & Yadira*

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Antecedentes de la investigación.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Bases Teóricas.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1. Radiación.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.2. Potasio-40.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.3. Afectaciones a la salud del Potasio-40.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.4. Cesio-137.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.5. Desintegración del Cesio-137.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.6. Fuentes de radiación de Cesio-137.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.7. Afectaciones a la salud.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.8. Diversidad frutal en el Ecuador.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.8.1. Orito (<i>Musa Acuminata</i> AA).....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.8.2. Mango (<i>Mangifera indica</i> L.).....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.8.3. Granadilla (<i>Passiflora ligularis</i> L.).....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.8.4. Tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>, Cav.).....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.8.5. Uvilla (<i>Physalis peruviana</i>, L.).....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.8.6. Papaya (<i>Carica papaya</i>, L.).....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.8.7. Pitahaya (<i>Cereus</i> SP.).....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.8.8. Maracuyá (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i> Deg).....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.8.9. Kiwi (<i>Actinidia chinensis</i>).....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.8.10. Guayaba (<i>Psidium guajava</i> L).....</b>	<b>12</b>
<b>1.2.9. Contaminación radiactiva en frutas.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2.10. Método de deshidratación de las frutas.....</b>	<b>12</b>

1.2.10.1.	<i>Técnicas de deshidratación</i> .....	12
1.2.11.	<i>Espectrometría gamma</i> .....	14
1.2.12.	<i>Detectores de Centelladores</i> .....	14
1.2.12.1.	<i>Material de centelleo</i> .....	15
1.2.12.2.	<i>Centellador de NaI (Tl)</i> .....	15
1.3.	<b>Bases conceptuales</b> .....	16
1.3.1.	<i>Cesio-137</i> .....	16
1.3.2.	<i>Radiación Gamma</i> .....	16
1.3.3.	<i>Radiación Beta</i> .....	16
1.3.4.	<i>Actividad específica</i> .....	16
1.3.5.	<i>Dosis efectiva</i> .....	16
1.3.6.	<i>Radioisótopos</i> .....	17
1.3.7.	<i>Frutas del Ecuador</i> .....	17
1.4.	<b>Bases Legales</b> .....	17
1.4.1.	<i>Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-CODEX 193:2013</i> .....	17
1.4.2.	<i>Norma Oficial Mexicana, China y Japón para alimentos de consumo masivo importados con contaminación por radionucleidos</i> .....	18

## CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	19
2.1.	<b>Estudio Técnico de la Investigación</b> .....	19
2.1.1.	<i>Tipo de investigación</i> .....	19
2.1.2.	<i>Población de estudio</i> .....	19
2.1.3.	<i>Localización del estudio</i> .....	19
2.1.4.	<i>Tamaño de muestra</i> .....	19
2.1.5.	<i>Método de muestro</i> .....	19
2.1.6.	<i>Técnicas de recolección de datos</i> .....	20
2.2.	<b>Parte Experimental</b> .....	21
2.2.1.	<i>Diagrama del proceso de determinación de Cesio-137 en diez frutas del Ecuador</i> .....	21
2.2.2.	<i>Proceso de preparación de muestras</i> .....	22
2.2.3.	<i>Recolección y pretratamiento de muestras de suelos donde 3 de las frutas estudiadas (tomate de árbol, uvilla y mango) fueron cultivadas</i> .....	26
2.2.4.	<i>Instrumentación utilizada para el análisis de la actividad de radiación gamma</i> .....	28
2.2.5.	<i>Procedimiento de medición de actividad específica de Cesio-137 en las muestras</i> .....	32

### **CAPÍTULO III**

<b>3.</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1.</b>	<b>Niveles de concentración media de actividad específica de K-40 en diez frutas del Ecuador .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.</b>	<b>Medidas de radiactividad de Cesio-137 en muestras de diez frutas del Ecuador con el espectrómetro Rug 91-2 .....</b>	<b>37</b>
<b>3.3.</b>	<b>Comparación de radioisótopos Cesio -137 y Potasio -40 en diez frutas del Ecuador .....</b>	<b>38</b>
<b>3.4.</b>	<b>Capacidad de absorción del Cesio-137 y Potasio-40 desde el suelo donde se cultivan las frutas en estudio .....</b>	<b>39</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>43</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>44</b>
	<b>GLOSARIO</b>	
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Metodología de recolección de datos .....	20
<b>Tabla 2-2:</b>	Datos de selección de frutas .....	22
<b>Tabla 3-2:</b>	Requisitos mínimos del ordenador .....	31
<b>Tabla 4-2:</b>	Masas en gramos de las muestras de frutas y suelo analizadas .....	35
<b>Tabla 1-3:</b>	Concentración media de K-40 en diez tipos de frutas del Ecuador .....	36
<b>Tabla 2-3:</b>	Datos de la concentración media de Cs-137 en diez tipos de frutas del Ecuador..	37
<b>Tabla 3-3:</b>	Datos comparativos de Cs-137 y K-40 en diez frutas del Ecuador .....	38
<b>Tabla 4-3:</b>	Concentración media de Cs-137 y K-40 entre la uvilla y el suelo donde se cultivó .....	40
<b>Tabla 5-3:</b>	Concentración media de Cs-137 entre el tomate de árbol y el suelo donde se cultivó.....	40
<b>Tabla 6-3:</b>	Concentración media de Cs-137 entre el mango y el suelo donde se cultivó.....	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b>	Decaimientos Beta de Potasio-40.....	6
<b>Figura 2-1.</b>	Decaimientos Beta de Cesio-137 .....	8
<b>Figura 1-2.</b>	Recolección de frutas en el mercado Mayorista de la Ciudad de Riobamba .....	22
<b>Figura 2-2.</b>	Pelado, corte y rebanado de frutas.....	23
<b>Figura 3-2.</b>	Secado de muestra mediante evaporación superficial .....	24
<b>Figura 4-2.</b>	Trituración de muestras deshidratadas .....	25
<b>Figura 5-2.</b>	Tamizaje granulometría de 500 micrones .....	26
<b>Figura 6-2.</b>	Empaquetado de muestras de Frutas .....	26
<b>Figura 7-2.</b>	Recolección de la muestra de suelo.....	27
<b>Figura 8-2.</b>	Espectrómetro ADANI Rug 91-2.....	28
<b>Figura 9-2.</b>	Esquema general del espectrómetro Rug 91-2 .....	29
<b>Figura 10-2.</b>	Interfaz gráfica del Rug 91-2.....	32
<b>Figura 11-2.</b>	Análisis de la muestra en el equipo Rug 91-2 .....	34

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2.</b>	Diagrama del proceso de determinación de Cesio-137 en diez frutas del Ecuador .....	21
<b>Gráfico 1-3.</b>	Concentración media de la actividad de Cs-137 en frutas (barras azules) y del suelo de cultivo (barras rojas).....	41
<b>Gráfico 2-3.</b>	Capacidad de absorción de la fruta (barras naranjas) con el suelo de cultivo (barras moradas) de K-40 .....	42

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE ORITO
- ANEXO B:** RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE GRANADILLA
- ANEXO C:** RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE GUAYABA
- ANEXO D:** RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE KIWI
- ANEXO E:** RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE PAPAYA
- ANEXO F:** RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE MARACUYÁ
- ANEXO G:** RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE TOMATE DE ÁRBOL
- ANEXO H:** RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE UVILLA
- ANEXO I:** RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE MANGO
- ANEXO J:** RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE PITAHAYA
- ANEXO K:** RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE SUELO DE CULTIVO DE UVILLA
- ANEXO L:** RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE SUELO DE CULTIVO DE MANGO

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>CORPEI</b>	Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones
<b>Cs-137</b>	Cesio-137
<b>K-40</b>	Potadio-40
<b>INIAP</b>	Instituto de Investigaciones Agropecuarias
<b>°C</b>	Grados Centígrados
<b>Msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>ATSDR</b>	Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades
<b>NaI (TI)</b>	Yoduro de Sodio, dopado con Talio
<b>MeV</b>	Mega-electrovoltio
<b>ns</b>	nanosegundos
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación)
<b>INEN</b>	Instituto Ecuatoriano de Normatización
<b>OIEA</b>	Organismo Internacional de Energía Atómica
<b>OMC</b>	Organismo Mundial del Comercio
<b>NOM</b>	Normas Oficiales Mexicanas
<b>KCl</b>	Cloruro de Potasio
<b>USB</b>	Universal Serial Bus (Puerto de seriado universal)
<b>Bq/Kg</b>	Bequerels por Kilogramo
<b>*</b>	Bajo el nivel detectable de medición
<b>L.M.P</b>	Límite Máximo Permisible
<b>ESPOCH</b>	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
<b>GIDAC</b>	Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar la concentración de la actividad de Cesio-137 en diez frutas del Ecuador (orito, mango, pitahaya, papaya, granadilla, tomate de árbol, kiwi, maracuyá, uvilla y guayaba) comercializadas en el mercado Mayorista de la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, mediante espectrometría gamma. Se realizó la medición de la concentración de Cesio-137 en las muestras de frutas previamente tratadas en un proceso de cinco fases: selección, rebanado, secado, trituración y tamizaje. Complementario se recolectó el suelo donde se cultivó: uvilla, tomate de árbol y mango, para evaluar el porcentaje de absorción de la actividad desde el suelo hacia la planta. Las muestras se analizaron en el laboratorio de Técnicas Nucleares de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), utilizando el espectrómetro Rug 91-2, en un tiempo de medición de 4 horas, con diez repeticiones por muestra. Adicional, se recabó los valores de actividad de Potasio-40 como radioisótopo de referencia y se comparó con los niveles de Cesio-137 en las muestras analizadas. Se obtuvo que la pitahaya absorbe mayor concentración de Cesio-137 (10,96 Bq/Kg), concluyendo que los valores obtenidos son inferiores al límite permisible de 100 Bq/Kg establecido por las Normas Internacionales de México, Japón y China en alimentos. Finalmente, se evidenció que no todas las frutas absorben de igual manera la actividad presente en el suelo de cultivo; el mango absorbe 98,53% de Cesio-137 y el tomate de árbol el 99% de Potasio-40, evidenciando mayor concentración de Potasio-40 que de Cesio-137 en las muestras. Se recomienda desarrollar investigaciones sobre la calidad de suelos de cultivos, actualizar las Normativas ecuatorianas sobre los límites permisibles de los radioisótopos presentes en los alimentos de venta y exportación para un consumo seguro.

**Palabras clave:** <CESIO-137>, <POTASIO-40>, <RADIACIÓN GAMMA>, <BEQUERELES/KILOGRAMO (Bq/Kg)>, <ACTIVIDAD ESPECÍFICA>, <DOSIS EFECTIVA>, <RADIOISÓTOPOS >, <FRUTAS DEL ECUADOR>.



1442-DBRA-UTP-2022

## ABSTRACT

The objective of this work was to determine the concentration of the activity of Cesium-137 in ten fruits of Ecuador (orito, mango, pitahaya, papaya, granadilla, tree tomato, kiwi, passion fruit, physalis and guava) marketed at Mercado Mayorista in Riobamba city, province of Chimborazo, by gamma spectrometry. The concentration of Cesium-137 in the samples of previously treated fruits was measured in a five-phase process: selection, slicing, drying, crushing and screening. Complementary was collected the soil where it was cultivated: physalis, tree tomato and mango, evaluating the percentage of absorption of the activity from the soil to the plant. The samples were analyzed in the Laboratory of Nuclear Techniques at Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), using the Rug 91-2 spectrometer, in a measurement time of 4 hours, with ten repetitions per sample. Additionally, the activity values of Potassium-40 were collected as a reference radioisotope and compared with the levels of Cesium-137 in the samples analyzed. It was obtained that pitahaya absorbs a higher concentration of Cesium-137 (10.96 Bq/Kg), it was concluded that the values obtained are lower than the permissible limit of 100 Bq/Kg established by the International Standards of Mexico, Japan and China in food. Finally, it was evidenced that not all fruits absorb in the same way the activity present in the crop soil; the mango absorbs 98.53% of Cesium-137 and the tree tomato 99% of Potassium-40, evidencing a higher concentration of Potassium-40 than Cesium-137 in the samples. It is recommended to develop research on the quality of crop soils, analyze the Ecuadorian Regulations on the permissible limits of radioisotopes present in food for sale and export for safe consumption.

**Keywords:** <CESIUM-137>, <POTASSIUM-40>, <GAMMA RADIATION>, <BEQUERELS/KILOGRAM (Bq/Kg)>, <SPECIFIC ACTIVITY>, <EFFECTIVE DOSE>, <RADIOISOTOPES >, <FRUITS OF ECUADOR>.



Lic. Edison Renato Ruiz López MsC.

060395704-4

## INTRODUCCIÓN

La inocuidad alimentaria busca garantizar y resguardar la salud de las personas, controlando rigurosamente la calidad de los alimentos ante patógenos y contaminantes químicos, de modo que, es importante analizar que existen otros tipos de contaminantes llamados “radiactivos” como el Cesio-137, que al ser consumidos causan enfermedades a corto y largo plazo e inclusive la muerte del consumidor.

El Cesio-137 es un isótopo radiactivo artificial producido por fisión nuclear, con una vida media de 30,2 años, considerado un desecho radiactivo de alta actividad (Badillo & Pérez, 2004, p.68), que se presenta en el ambiente debido a fugas de material radiactivo tras accidentes nucleares y se caracteriza por ser un sólido volátil que emite un brillo azul en la oscuridad y con alta solubilidad en el agua (Soto et al., 2002, p.74).

En la actualidad, se ha demostrado la presencia de elementos radiactivos en los alimentos, siendo uno de los radionucleótidos más tóxicos el Cesio-137, proveniente de accidentes nucleares y otras fuentes radiactivas. Su transporte hacia distintas partes del planeta se facilita por las corrientes de aire, agua, lluvia, etc., provocando así, la contaminación de suelos para ser absorbida por las plantas y depositarse en su parte comestible “las frutas”.

Ecuador es un país con extensa variedad frutal debido a la diversidad climática presente, sin embargo, la escasez de investigaciones acerca de la contaminación de frutas por radiactividad, marca el interés de evidenciar la existencia de Cesio-137 en los diferentes tipos de frutas. En base a este problema la presente investigación tiene la finalidad de determinar la concentración de la actividad de Cesio-137 en diez frutas del Ecuador.

Dentro de nuestra metodología también se desarrolló la comparación de Cesio-137 con el radioisótopo Potasio-40, presente de manera natural en la corteza terrestre que, por ende, afecta de igual manera en la absorción de radiación en frutas, debido que el Potasio-40 actúa como fondo de referencia para la evaluación de niveles de Cesio-137.

Adicional se llevó a cabo la recolección del suelo donde fueron cultivadas 3 tipos de frutas analizadas: el tomate de árbol, uvilla y mango, con lo cual se llevó a cabo la comparación en porcentajes de absorción de las frutas y el suelo de donde dichas frutas fueron cultivadas.

El equipo utilizado para la determinación de la concentración de la actividad específica de Cesio-137 y Potasio-40, es el radiómetro Rug 91-2, cuyo funcionamiento se detalla en el presente Trabajo de Integración Curricular, en donde se implementa un protocolo de trabajo en muestras frutales, utilizado en el Laboratorio de Técnicas Nucleares de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) (Martínez & Piedmag, 2021, p.3).

## **Formulación del problema**

¿Existe Cesio-137 en las frutas del Ecuador (orito, mango, pitahaya, papaya, granadilla, tomate de árbol, kiwi, maracuyá, uvilla y guayaba)?

**Variable dependiente:** Cesio-137

**Variable independiente:** Frutas del Ecuador

## **Justificación**

La presencia de fuentes de radiación de Cesio-137 no controladas provenientes de desastres nucleares y la mala gestión de desechos radiactivos son fuentes de exposición que afectan a la salud del ser humano a través de la ingesta de alimentos o fuentes de agua contaminadas, por lo cual, se ha planteado la determinación de la concentración de la actividad de Cesio-137 mediante la técnica de espectroscopía gamma utilizando el espectrómetro de rayos gamma Rug 91-2 de la marca ADANI.

El propósito del estudio es determinar la concentración de la actividad de Cs-137 en diez frutas del Ecuador, debido a que la exposición a niveles altos o prolongados de Cs-137 provocan problemas de salud como vómito, náuseas, diarrea, hemorragias e incluso la muerte al desarrollarse cáncer de estómago, pulmón, mama, colon, recto, tiroides, médula espinal y del sistema linfático. Existe evidencia que la exposición a Cs-137 durante el embarazo contribuye a un menor desarrollo de las capacidades mentales del recién nacido (ATSDR, 2004, pp.4-5).

El estudio de la determinación de la concentración de la actividad de Cs-137 en diez frutas del Ecuador es una investigación novedosa que cuenta con escasa investigación, y puede ser utilizado como punto de partida para cambiar los procesos de política pública de venta y exportación de frutas con análisis de elementos radiactivos resguardando la salud del consumidor.

La presente investigación cuenta con el aval del Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC) de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Determinar la concentración de la actividad de Cesio-137 en diez frutas del Ecuador mediante espectrometría gamma.

### **Objetivos específicos**

- Analizar la presencia del radionucleido Cs-137 en diez frutas del Ecuador (orito, mango, pitahaya, papaya, granadilla, tomate de árbol, kiwi, maracuyá, uvilla y guayaba) obtenidas en el mercado Mayorista de la ciudad de Riobamba.
- Comparar la concentración de la actividad de Cs-137 presente en tres frutas analizadas (mango, tomate de árbol y uvilla) y el porcentaje de absorción del suelo donde se fueron cultivadas.

## **HIPÓTESIS**

### **Hipótesis general**

Existe actividad de Cesio-137 en las diez frutas del Ecuador menor o igual a 100 Bq/Kg.

### **Hipótesis específicas**

- Las diez frutas del Ecuador (orito, mango, pitahaya, papaya, granadilla, tomate de árbol, kiwi, maracuyá, uvilla y guayaba), presentan valores inferiores a 100 Bq/Kg (según las Normativas Internacionales de China, Japón y México), para el isótopo Cesio-137.
- La concentración de actividad de Cesio-137 varía en las de frutas del Ecuador (mango, tomate de árbol y uvilla), de acuerdo a la concentración de actividad de Cesio-137 en el suelo del sector donde fueron cultivadas.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1. Antecedentes de la investigación

El Potasio-40 al considerarse como la principal fuente de radiación para el ser humano por la ingesta de alimentos y por su extensa abundancia en suelos, transmitido hacia las plantas y frutas como bananas, y kiwis, sirve como base de estudio para otros elementos radiactivos como el Cesio-137 (Gonzales & Bonzi, 2012, p.185). Según Camacho y Pucha (2018, p.59), la concentración de la actividad específica promedio a nivel mundial de radiación natural de K-40 en suelos es igual a 400 Bq/Kg, niveles superiores de exposición pueden provocar efectos a largo plazo para la salud del ser humano.

La presencia de Cesio-137 como fuente contaminante radiológica ha marcado interés para comprobar los niveles de radiactividad contenida en suelos, agua y alimentos debido a los graves efectos sobre la salud humana.

En el año 1986, la Unidad Química del Laboratorio del Organismo en Seibersdorf desarrolló análisis de actividad de varios isótopos radiactivos en donde se pudo comprobar la presencia de Cs-137 en frutas frescas de Austria: fresas (11-12 Bq/Kg), cerezas (30-330 Bq/Kg), grosellas rojas (79-700 Bq/Kg), frambuesas (540 Bq/Kg) y arándanos (220-320 Bq/Kg), en porcentajes superiores al 80% de radiactividad encontrada, reflejando niveles excedidos para el consumo humano (Schelenz & Abdel-RassouL, 1986, pp.1-4).

En otra investigación desarrollada por la Asociación Argentina de Mecánica Computacional se realizó medidas experimentales para el desarrollo de un modelo que permita describir la evolución de la concentración de Cesio 137 en zonas afectadas por el accidente radiológico de Goiana 1987, utilizando muestras secas de diferentes partes de las plantas incluidos sus frutos, de especies tropicales tales como: limón (*Citrus aurantifolia*), naranja (*Citrus sinensis*) y guayaba (*Psidium guajava*) midiendo la radiación gamma de las muestras con el uso de un detector de NaI (Tl) encontrando un límite de detección de 7,0 Bq/Kg en las frutas (Rizzotto et al., 2008, p.2421).

Por otro lado, se realizaron investigaciones desarrolladas en la República de Argentina con el fin de determinar los niveles de concentración de Cesio-137 y estudiar la precipitación radioactiva debido al uso prolongado de la tecnología nuclear en el mundo provocando la proliferación nuclear, se analizaron distintos tipos de frutas como: kiwi, limón, banana, mandarina, pomelo, manzana, durazno, pera y naranja, donde la presencia de Cesio-137 se determinó mediante espectrometría gamma, sobre comprimidos de cenizas de las muestras calcinadas, así, los niveles de Cesio-137 fueron comprobados en frutas dando como resultado en el primer

trimestre de muestras recogidas un valor de disminución de 0.02 (Bq/Kg) correspondientes al año de 1997 (Canoba et al., 1998, pp.1-6).

## **1.2. Bases Teóricas**

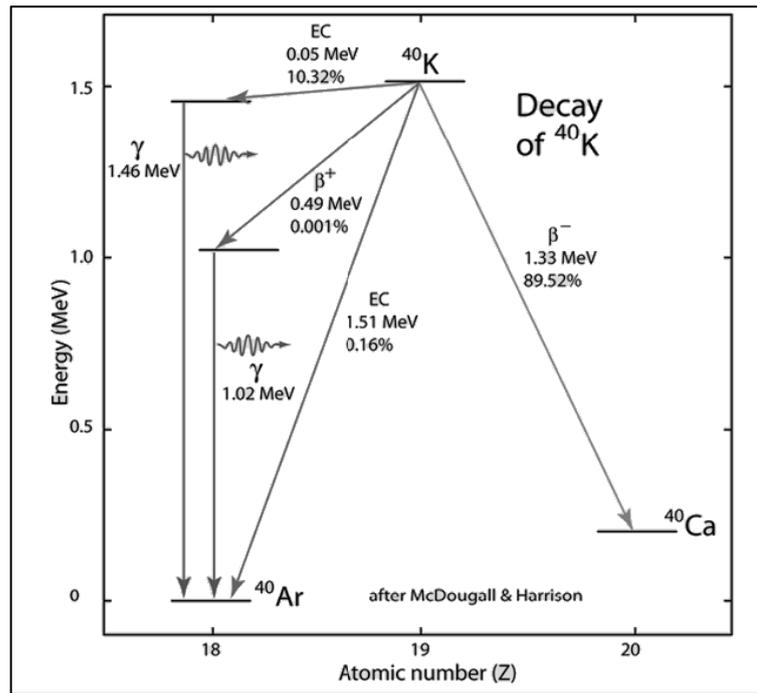
### ***1.2.1. Radiación***

La radiación es la emisión de partículas o fotones como secuela de la desintegración de su núcleo atómico, que involucra cambios energéticos y alteración en el número de nucleones, hasta alcanzar a un núclido estable (Reguigui, 2006, p.22; ATSDR, 1999, p.35).

### ***1.2.2. Potasio-40***

El potasio es un metal suave de color blanco plateado, se encuentra ampliamente en la naturaleza en suelos, rocas, arena, ríos, etc. Representa aproximadamente el 2,4% en peso de la corteza terrestre. El Potasio-40 (K-40) es un elemento radiactivo que se encuentra ampliamente en la naturaleza de los suelos, y fertilizantes transmitiéndose hacia las plantas y alimentos. Comprende una fracción muy pequeña de alrededor del 0,012% de potasio natural, presenta una vida media de  $1,27 \times 10^9$  años y decae a Ca-40 por emisiones  $\beta^-$  en un 89,52%. El K-40 a demás decae a Ar-40 por captura electrónica (10,32%) o por emisiones de partículas  $\beta^+$ , liberando una energía de 0,51 MeV (Gonzales & Bonzi, 2012, p.185).

Los residuos descompuestos de organismos animales y vegetales también contienen este radioisótopo. Como resultado del proceso de descomposición de las rocas y su meteorización, este puede migrar y seguir las rutas alimentarias, afectando finalmente la salud humana (Yadav et al., 2013, p.40).



**Figura 1-1.** Decaimientos Beta de Potasio-40

Fuente: Martínez, 2021, p.45.

### 1.2.3. *Afectaciones a la salud del Potasio-40*

El K-40 se introduce en el organismo del cuerpo humano principalmente a través de la ingesta de alimentos contaminados. Una vez que el radioisótopo ingresa al organismo pasa rápidamente por el tracto gastrointestinal y posteriormente al torrente sanguíneo. Alrededor del 98% del Potasio-40 se transfiere hacia la parte citoplasmática de las células musculares en donde las constantes desintegraciones nucleares del isótopo logran alterar la secuencia genética de las células y provocar daño del ADN de dichas células, incrementando la probabilidad de contraer cáncer con múltiples tumores malignos principalmente en zonas de mayor actividad muscular (Ishikawa, 2000, pp.420-433).

Se estima que el K-40 es la primera causa de radiación natural recibida en seres humanos mediante la ingesta de alimentos con una dosis efectiva recibida de 0,2 mSv/a.

Basados en un estudio realizado por la Agencia Internacional de Energía Atómica se encontró que la actividad del radioisótopo K-40 presente en el cuerpo varía significativamente de acuerdo al desarrollo muscular del individuo, afectando principalmente a varones en relación a las mujeres (Linch et al., 2004, p.319).

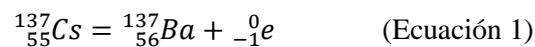
#### 1.2.4. Cesio-137

El Cesio-137 es un isótopo radiactivo inestable del elemento químico Cesio, que se produce por la fisión nuclear del Uranio-235, se encuentra en el ambiente debido a exposiciones nucleares atmosféricas y su precipitación radiactiva en suelos por vía húmeda o seca. Se caracteriza por ser un sólido volátil de alta solubilidad en el agua (Soto et al., 2002, p.74). El Cesio-137 es considerado como un desecho radiactivo de alta actividad (Badillo & Pérez, 2004, p.68).

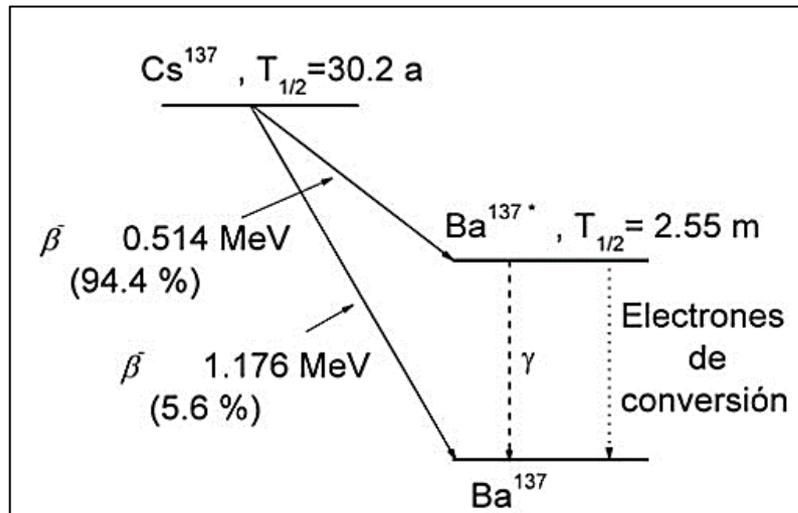
#### 1.2.5. Desintegración del Cesio-137

El decaimiento radiactivo es un proceso de desintegración de un núcleo atómico inestable que ocurre de manera espontánea al emitir partículas y/o radiación, transformándose en una configuración más estable (DiGregorio, 2020, pp.1-3).

El Cesio-137 es un isótopo que experimenta una desintegración por emisión de partículas beta ( $\beta^-$ ), en Bario-137 metaestable (94.6%) y se estabiliza emitiendo radiación gamma formando Bario-137 estable (5.4%), en un tiempo de vida media de 30.2 años (Aguayo, 2008, p.24; ATSDR, 2004, p.2).



La desintegración  $\beta^-$  ocasiona que el número atómico ( $Z$ ) del reactivo Cesio-137 aumente de 55 a 56 (Ecuación 1), dando paso a la conversión de un neutrón ( ${}_{0}^1n$ ) en un protón ( ${}_{1}^1p$ ) y así permitiendo el flujo de partículas beta en forma de electrones ( ${}_{-1}^0e$ ) de alta velocidad emitidos por el núcleo inestable del Cesio 137 para formar Bario-137 estable (Ecuación 2) (Brown et al., 2014, p.878).



**Figura 2-1.** Decaimientos Beta de Cesio-137

Fuente: Scoccola, 2004, p.20.

### 1.2.6. Fuentes de radiación de Cesio-137

La presencia de Cesio 137 en el medio ambiente se debe principalmente a las pruebas nucleares realizadas entre los años 40 y 60 en países como Estados Unidos y Rusia, además de otros accidentes nucleares como los ocurridos en Argentina 1968, Three Mile Island 1979, Chernóbil 1986, Fukushima 2011 y Brasil, Goiânia. 1987 (Carregado & Trujillo, 2001, pp.39-41).

Debido a sus aplicaciones, la presencia de Cesio-137 en nuestro entorno es más común de lo imaginado, debido a que es utilizado en el área médica, industrial e investigativo. Cuando estas fuentes de radiación no son manejadas de manera correcta también ocasionan contaminación radiactiva:

- **Fuentes de radiación en medicina:** El isótopo Cs-137 es utilizado en la medicina para el tratamiento de enfermedades en dosis muy bajas, o en equipos para exámenes radiológicos como en braquiterapia, tele-terapia y la esterilización de material quirúrgico.
- **Fuentes de radiación en la industria:** El sector industrial es el área de mayor uso de radio nucleótidos como el Cs-137, utilizado en diagráfia de pozos, uso de diferentes tipos de sondas industriales, esterilización y conservación de alimentos y en instalaciones de calibración.
- **Fuentes de radiación en la investigación:** Dentro del ámbito investigativo el Cs-137 es utilizado tanto en instalaciones de calibración como en el manejo de irradiadores (Bergman & Petterson, 1994, p.37).

### **1.2.7. Afectaciones a la salud**

El Cesio-137 al ser un radionúclido altamente soluble en agua, ingresa al organismo del ser humano por ingesta o inhalación para ser rápidamente absorbido por el intestino y transportado a través del torrente sanguíneo hasta introducirse en las células provocando un crecimiento celular acelerado y el posible desarrollo de diversos tipos de cáncer. Cuando existe una exposición a Cesio-137 de manera cutánea, este puede ingresar al organismo mediante la presencia de heridas abiertas.

El Cesio-137 una vez que ingresa al cuerpo se almacena en lugares donde se encuentran elementos estables análogos que cumplen una función fisiológica específica en el organismo por lo cual se almacena con mayor facilidad en las células musculares y nerviosas donde se llevan a cabo intercambio de cargas eléctricas entre el interior y el exterior de las células.

El exceso de Cesio es expulsado del cuerpo en la orina y en menor proporción en las heces, otra cantidad es absorbida en los músculos del cuerpo humano, manteniéndose por tiempos prolongados debido al tiempo de vida media del 30.2 años (Aguayo, 2008, p.25).

La exposición a altas dosis de radiación de Cesio-137 provoca problemas de salud como náuseas, vómito, diarreas, hemorragias, coma e inclusive la muerte (ATSDR, 2004, p.4).

Si una mujer en estado de gestación se expone a altas dosis de radiación puede causar daños en el desarrollo del sistema nervioso del feto y consecuentemente daño cerebral o baja capacidad intelectual. Los niños expuestos a Cs-137, se ven afectados en menor porcentaje en comparación a un adulto debido a la biocinética del Cs-137 en el organismo y al tener una menor masa en órganos y tejidos, reteniendo una tercera parte de concentración de Cs-137 de lo que lo haría un adulto (ONU, 1989, pp.45-55).

### **1.2.8. Diversidad frutal en el Ecuador**

Ecuador al ser un país biodiverso registra exportaciones de alrededor de 20 frutas entre las cuáles se destacan, además del banano; el orito, mango, pitahaya, papaya, granadilla, maracuyá, tomate de árbol, guayaba, kiwi y la uvilla (CORPEI, 2019, párr. 1).

#### **1.2.8.1. Orito (*Musa Acuminata* AA)**

Es un tipo de banano de la familia *Mucáceas*, denominado baby banana cuyo fruto es de tamaño pequeño de 12 cm aproximadamente, con puntas redondeadas que al llegar a la madurez toma un color amarillento, su pulpa es amarillenta de consistencia suave y dulce (INIAP, 2018, pp.1-5).

#### 1.2.8.2. Mango (*Mangifera indica* L.)

El mango es una fruta exótica de gran interés de exportación que se cultiva principalmente en el Guayas. Existen varios tipos de mangos que se producen dentro del país (Guerrero, 2018, pp.1-6).

- *Tomy Atkins*: Es una fruta de 13 cm de alto y un peso aproximado entre 450 y 750 gramos, tiene una forma ovoidal, su corteza es de color rojiza morada, es de cáscara gruesa, con carencia de fibra y de pulpa jugosa y de buen sabor.
- *Haden*: Es una fruta de aproximadamente 14 cm de alto con peso de 400 a 600 gramos, de pulpa jugosa y sabor ligeramente ácido.
- *Kent*: De la variedad Broks, se caracteriza por ser grande de peso promedio 680 gramos, de forma redondeada, su corteza es de color verde amarillenta con un sobre color rojo oscuro, de excelente calidad y pulpa jugosa.
- *Keitt*: Fruta de largo promedio 12 cm, con peso de 600 a 700 gramos, de color verde amarillento y sabor dulce (Guerrero, 2018, pp.1-6).

#### 1.2.8.3. Granadilla (*Passiflora ligularis* L.)

Más conocida como la fruta de la pasión, de la familia Passifloraceae, género *Passiflora*, es una fruta que crece en climas fríos, con temperaturas entre 15 a 20°C que se cultivan en provincias de Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Azuay y Loja (Gaona et al., 2020, p.1).

#### 1.2.8.4. Tomate de árbol (*Solanum betaceum*, Cav.)

Planta de la familia Solanaceae nativa del Ecuador cultivadas y comercializadas a gran escala, del género *Solanum*. Se caracteriza por su crecimiento en climas fríos y templados de las zonas andinas del Ecuador.

#### 1.2.8.5. Uvilla (*Physalis peruviana*, L.)

La uvilla es una especie vegetal nativa de los Andes cuyo fruto cultivado principalmente en Ambato cultivada del Ecotipo *Golden Keniana* (Brito et al., 2008, p.23). Se caracteriza porque su fruto es redondo de piel lustrosa, delgada de color amarillo cuando se encuentra maduro, tiene un diámetro entre 1 a 2.5 cm y un peso de 4 a 10 gramos (Cuichan, 2013, p.2).

#### 1.2.8.6. *Papaya (Carica papaya, L.)*

Es la fruta de la especie *Carica Papaya L*, de la familia *Caricaceae*, nativas de la Costa ecuatoriana y zonas amazónicas como Shushufindi y la Joya de los Sachas, cultivando las variables Tainung, Mardol, Criolla y Hawaiana (Solo, Sunrie, Gram, Betty) (Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones, 2015, pp.3-5). Dependiendo de la variedad el fruto puede pesar desde 0,2 hasta 2.6 Kg, su color va desde verde amarillento a rojo anaranjado, de sabor dulce y consistencia pulposa (Huachi et al., 2015, pp.1-7).

#### 1.2.8.7. *Pitahaya (Cereus SP.)*

Es una fruta (baya) tropical considerada como exótica que en Ecuador y es cultiva en provincias como Pichincha, Morona Santiago y Loja, crece en un clima sub cálido húmedo, con una humedad relativa superior al 50% como la presente en bosques húmedos. La especie *Stenocereus queretaroensis* de la familia *Cereus sp* del género *Cactácea* es nativa del país, descubierta en el cantón Palora, provincia de Morona Santiago. Esta especie se caracteriza por ser una baya ovoide de color amarillo con un largo de 10 a 12 cm y un ancho de 7 cm, su pulpa es blanca y jugosa y presenta gran cantidad de semillas aproximadamente 650 semillas por fruto (Le Bellet et al., 2006, p.13; Huachi et al., 2015, pp.1-7).

#### 1.2.8.8. *Maracuyá (Passiflora edulis f. flavicarpa Deg)*

Es una fruta exótica cultivada en países de clima tropical o subtropical de apariencia ovalada y color amarillo brillante, de sabor y olor agridulce, rica en nutrientes al poseer vitaminas A, B y C, hierro y calcio. En Ecuador, la maracuyá se cultiva en las provincias del litoral Ecuatoriano: Santo Domingo de los Tsáchilas, Manabí, Esmeraldas, Guayas y Santa Elena, se estima que el 97% de la producción de maracuyá es exportado a mercados internacionales (Arias et al., 2019, p.2).

#### 1.2.8.9. *Kiwi (Actinidia chinensis)*

El kiwi es una fruta de forma ovoidal que crece en clima cálido húmedo de 6 a 7 cm de longitud, característico por presentar una pulpa verde esmeralda de sabor agridulce, Se caracteriza por ser una fuente rica en vitamina B, C y E, consiguiendo ser una fruta exótica de interés comercial en mercados extranjeros en su principal variedad Haiward. Ecuador en el año 2017 exportó 5,2 toneladas a mercados como Japón (Cabrera, 2013, pp.4-8).

#### 1.2.8.10. *Guayaba (Psidium guajava L)*

Es una baya redondeada cuya epidermis es de color amarillenta y de pulpa cambia según su tipo de variedad resaltando la guayaba fresa cuya pulpa es de color rosáceo. La *Psidium guajava L* se cultiva en climas tropicales en temperaturas que oscilan a los 23-30°C. Ecuador exportó en el año 2017 cerca de 11.2 toneladas a mercados extranjeros (Corpei, 2019, p.1).

#### 1.2.9. *Contaminación radiactiva en frutas*

Los radionucleidos se presentan naturalmente en el ambiente provenientes de la erosión y desgaste de rocas y minerales, así como en el paso del Cesio radiactivo es liberado al ambiente por medio de la operación de plantas de energía nuclear, etc. Los compuestos de Cesio llegan a moverse a largas distancias en el aire antes de llegar a ser depositados en el suelo, consecuencia de ello el Cesio no ingresa fácilmente a la planta por medio de la raíz, de hecho, el Cesio ingresa a la planta por medio de las hojas y así lograr la contaminación del fruto (ATSDR, 2004, p.3).

#### 1.2.10. *Método de deshidratación de las frutas*

La deshidratación o el desecado es una técnica para conservación de alimentos, así la deshidratación es un método barato y específicamente apto para sectores que no posean instrumentos de conservación ya que la deshidratación es la eliminación de agua mediante el tratamiento originado por calor artificial (aire previamente calentado, superficies calientes, etc.) (Michelis & Ohaco, 2015, p.1).

La desecación es un sistema muy antiguo de conservación de alimentos. La retirada del agua contenida en sus tejidos y células resulta un método muy eficaz para evitar la putrefacción y pérdida de los mismos. Reducir la cantidad de agua libre en los alimentos se consigue de diferentes maneras: por deshidratación o desecación, por la adición de solutos a los alimentos como: sales o azúcares, por congelación (Martin, 2017, p.5).

##### 1.2.10.1. *Técnicas de deshidratación*

- *Prensado*

La técnica de prensado es comúnmente llamada compresión, es aquella operación que consiste en separar un líquido de dos fases (sólido y líquido), comprimiendo la muestra permitiendo que fluya el líquido mientras queda la muestra retenida entre las compresoras.

- *Centrifugación*

Una muestra con presencia de líquido sometida a una fuerza elevada de centrifuga, el líquido contenido en la muestra es desplazado en la dirección de la fuerza aplicada de la centrifuga provocando la separación del líquido con el sólido.

- *Evaporación superficial*

La aplicación de una muestra que es sometida a la acción de una corriente de aire caliente donde el líquido contenido en la muestra es arrastrado por la acción de la temperatura evaporándolo produciendo una desecación.

- *Osmosis*

Un alimento se sumerge en una disolución de sal o azúcar, donde se produce un flujo de agua desde la parte interna de la célula de la muestra hacia la disolución concentrada por medio de una membrana semipermeable.

- *Liofilización*

La muestra de alimento es previamente congelada, separando el producto por sublimación donde es necesario aplicar en condiciones de vacío.

- *Congelación*

Un alimento que contiene líquido se congela separando gradualmente en forma sólida provocando una concentración del material que contenía disuelto o cuando se encuentra en proporciones pequeñas desecando la muestra.

- *Adsorción*

El líquido de muestra de alimento es eliminado mediante la aplicación de adsorbentes como el gel de sílice.

De todas las técnicas proporcionadas las más utilizadas para la deshidratación de alimentos es la técnica de evaporación superficial (secado por corriente de aire caliente), la deshidratación

osmótica (vacío o por pulsos de vacío) y la liofilización (congelación previa y condiciones de vacío) (Maupoey et al., 2001, p.10).

### **1.2.11. Espectrometría gamma**

La espectrometría gamma es aquella que mide la intensidad de luz (energía radiante o radiación electromagnética así, los resultados de un análisis de un radionucleido por medio de un detector gamma refleja el espectro de energía de los fotones que llegan a golpear el detector. Los métodos de espectrometría de fotones gamma de una alta energía se agrupan en dos grupos: técnica de dispersión de energía, que permite conservar y registrar la cantidad de energía de los fotones, y la técnica de dispersión de la longitud de onda que cuantifica la magnitud para el fotón incidente mostrando su espectro (Dunn & McGregor, 2012, pp.431-432).

Las propiedades que se desean obtener en la espectrometría gamma ideal conforman una energía de banda ancha, densidad atómica elevada, extenso tiempo de vida de carga, alto número atómico Z, alta resistividad, altas movilidades de electrones y agujeros, y una pequeña energía de ionización.

- La energía de banda ancha y resistividad elevada permitirán el correcto funcionamiento a temperatura ambiente evitando así la refrigeración criogénica con el fin de reducir el ruido electrónico
- El alto número atómico Z y la densidad atómica permiten la interacción con los rayos gamma.
- El extenso tiempo de vida de carga y altas movilidades de electrones incrementan la eficiencia de la recogida de carga llegando a obtener mejores resultados espectroscópicos.
- La pequeña energía de ionización provoca que incremente el valor de portadores de cargas excitados

La espectrometría gamma es un sistema que permite la detección donde varia: el tipo, la geometría y el tamaño, permitiendo encontrar la energía gamma para identificar un radionucleido, se debe elegir el detector semiconductor apropiado para la aplicación deseada (McGregor, 2021, p.473).

### **1.2.12. Detectores de Centelladores**

Los centelladores son detectores que permiten la interacción de la radiación gamma con la materia causando la ionización y excitación de los átomos que conforman la materia con la liberación de una fracción de energía en forma de luz visible denominada centelleo que se define como “pequeños destellos de luz que se originan en ciertos materiales bajo el efecto de radiación ionizante” (Prokhorov, 1998 citado en Martínez, 2021, p.18).

Los detectores de centelleo se componen principalmente de un material centellador o material de centelleo, el tubo fotomultiplicador y el analizador multicanal.

#### *1.2.12.1. Material de centelleo*

Es un material de origen orgánico e inorgánico que permite la conversión de la energía cinética de las partículas incidentes en luz detectable con eficiencia (luminiscencia inducida) proporcional a la energía cinética depositada producto del centelleo. Esta luminiscencia inducida de corto lapso es registrada en forma de pulsos de señal en el sistema electrónico del detector de centelleo. El material de centelleo requiere un índice de refracción similar al del tubo fotomultiplicador y el fotocátodo para evitar la pérdida en la medición de la radiactividad (Knoll, 2017, p.223). Los materiales inorgánicos son utilizados principalmente en la espectroscopía de radiación gamma debido a sus cualidades que permiten una mejor salida de la luz, linealidad, y su alto número atómico permite una mayor probabilidad que los rayos gamma interactúen con la materia generando luminiscencia en el centelleo (Knoll, 2017, p.223).

#### *1.2.12.2. Centellador de NaI (Tl)*

El Yoduro de sodio es un compuesto químico inorgánico de color blanco y de estructura cristalina utilizado como material de centelleo para la detección de radiación gamma cuyo principio se basa en la ecuación de Shrödinger en la red cristalina y la teoría de bandas para la conducción de eléctrica (Birks, 1965, p.69).

Para mejorar la probabilidad de emisión de luz del fotón y la creación de movimiento de corriente eléctrica se utilizan impurezas de metales pesados como el Talio (Tl) denominados activadores, que al poseer menor energía de ionización que el cristal, se ven ionizados por los huecos de la banda de conducción, los electrones libres migran por el cristal hasta encontrarse con un activador ionizado.

El rendimiento de luz de cristales de NaI (Tl) por rayos gamma es de aproximadamente 38 000 fotones por cada MeV de deposición de energía, con un tiempo de pulso de centelleo de 230 ns (Knoll, 2017, pp.237-239), Estas características lo hacen un buen detector estándar para espectrometría gamma.

### **1.3. Bases conceptuales**

#### **1.3.1. Cesio-137**

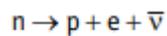
El Cesio-137 es un isótopo artificial inestable con un tiempo de vida media de 30,2 años siendo considerado un contaminante radiactivo de alta actividad ocasionando contaminación de suelos y plantas con altas concentraciones de Cs-137 al exceder los 100 Bq/Kg, siendo este el límite permisible según las Normativas Internacionales de China, Japón y México.

#### **1.3.2. Radiación Gamma**

La radiación Gamma son fotones que poseen alta energía de ionización que atraviesan fácilmente la materia viva y pueden provocar daño en el funcionamiento celular dependiendo de la dosis efectiva absorbida según la distancia de la fuente de radiación (Stalter & Howarth, 2012, p.43).

#### **1.3.3. Radiación Beta**

Es propia del núcleo que posee muchos nucleones donde el electrón emitido no está en el interior del núcleo, llegando a producir la desintegración de un neutrón del núcleo de un protón, un electrón y un antineutrino de acuerdo al siguiente proceso



Así la desintegración produce la emisión de partículas beta por un núcleo donde origina otro cuyo número masico no se altera y su número atómico es una unidad superior (Burcham, 2003, pp.286-288).

#### **1.3.4. Actividad específica**

La actividad específica es el número de núcleos que se desintegran por unidad de tiempo cuya magnitud mide la radiactividad en unidades de Bequerels por kilogramo de materia (Bq/Kg) (Roglá, 2004, p.52).

#### **1.3.5. Dosis efectiva**

La dosis efectiva es la suma de las dosis equivalentes ponderadas en los tejidos por los distintos tipos de radiación, ocasionando daños en varios órganos y tejidos dependiendo de la sensibilidad a la radiación, la dosis efectiva se mide en Sievert (Sv) (Berzewski & Pajonk, 2012, p.12).

### **1.3.6. Radioisótopos**

Los radioisótopos son átomos presentes de forma natural o artificial que poseen un núcleo inestable a causa de un exceso de energía liberando radiación alfa, beta o gama. Los radioisótopos artificiales se originan por el bombardeo de blancos con neutrones en reactores nucleares y aceleradores producto de la fisión nuclear (López, 2020, p.33).

### **1.3.7. Frutas del Ecuador**

Ecuador es un país rico en biodiversidad frutal por lo cual es motivo de investigación tomando como muestra 10 tipos de frutas (orito, mango, pitahaya, papaya, granadilla, maracuyá, tomate de árbol, guayaba, kiwi y uvilla) por su interés como productos de comercialización y exportación (CORPEI, 2019, párr.1). Las frutas son la parte comestible de las plantas de cultivo o silvestres, crudas o mínimamente elaboradas que excluye legumbres, vegetales, raíces y tubérculos amiláceos (FAO, 2020, pp.3-4).

## **1.4. Bases Legales**

### **1.4.1. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-CODEX 193:2013**

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-CODEX 193-2013, establece una norma general para contaminantes y toxinas en los alimentos.

Los niveles de referencia para contaminantes radionucleidos destinados al consumo humano se definen en dos categorías: alimentos para lactantes y otros alimentos. Esto debido a la sensibilidad de los lactantes a varios radionucleidos. En referencia al radionucleido Cesio-137 los valores son los mismos en alimentos de lactantes y otros alimentos manteniendo un nivel de referencia de 1000 Bq/Kg.

Los niveles de referencia se han tomado de las “Normas básicas internacionales de seguridad” OIEA (1996, pp.23-45) que establece que: cuando los niveles de los radionucleidos en los alimentos no superan los niveles de orientación correspondientes, deben considerarse inocuos para el consumo humano. Mientras si se exceden los niveles de orientación, los gobiernos nacionales decidirán la distribución de los alimentos contaminados (INEN, 2013, pp.35-36).

***1.4.2. Norma Oficial Mexicana, China y Japón para alimentos de consumo masivo importados con contaminación por radionucleidos. Límites máximos permisibles***

El Gobierno Autónomo de México, al igual que otros países como Japón y Corea han desarrollado una modificación en las Normas básicas de Seguridad Alimentaria OIEA, 1996, en la que se establece como límite máximo permisible de Cesio-137 en 100 Bq/Kg (NOM-041-SSA1, 1998, p.3).

Este cambio se realiza con el fin de establecer parámetros de calidad en los productos que son exportados a estos países, este valor referencial se aplica para todos los productos que ingresan a estos países de cualquier origen desde el 9 de septiembre del 2013 (OMC, 2018, p.61).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Estudio Técnico de la Investigación

##### 2.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación se desarrolla mediante el método de investigación cuantitativa, según el objetivo aplicada, según el nivel de profundización en objeto de estudio explicativa, según la manipulación de variables cuasiexperimental, según el tipo de inferencia deductiva, según el periodo temporal transversal.

##### 2.1.2. Población de estudio

La población de estudio en la investigación son las frutas del Ecuador, comercializadas en el mercado Mayorista de la ciudad de Riobamba, provincia Chimborazo.

##### 2.1.3. Localización del estudio

El presente trabajo de investigación se desarrolla en los Laboratorios de Técnicas Nucleares, Laboratorio de Bioquímica y Laboratorio de Química General e Inorgánica de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ubicada en la Panamericana Sur km 1 1/2 del Cantón Riobamba, provincia Chimborazo.

##### 2.1.4. Tamaño de muestra

La investigación se llevará a cabo con una muestra de 10 tipos de frutas (orito, pitahaya, mango, papaya, granadilla, maracuyá, kiwi, uvilla, tomate de árbol, guayaba), considerando el listado de frutas exóticas ecuatorianas en mercados internacionales (CORPEI, 2019, párr.1).

##### 2.1.5. Método de muestro

La presente investigación utiliza un método de muestreo aleatorio simple al azar, para la selección de las diez frutas.

### 2.1.6. Técnicas de recolección de datos

En la Tabla (1-2) se detalla la metodología de recolección de datos utilizados en la presente investigación.

**Tabla 1-2:** Metodología de recolección de datos

<b>Método / técnica</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Interpretación</b>
Recolección de datos básicos	Selección de materia prima	Selección de materia prima adecuada para evitar el deterioro e interferencia en los análisis.
Recolección de información	Diálogo entablado	Dirigido a los comerciantes de frutas de los mercados de Riobamba con la finalidad de obtener respuesta del lugar donde se producen las frutas y la variedad de las mismas.
Fase de ensayos	Radiómetro Rug 91-2	Análisis de muestras con el fin de determinar la concentración de la actividad de Cesio-137 presente en diez frutas del Ecuador.
Análisis de datos y presentación de informes	Tablas numéricas y gráficas	La información recolectada es analizada mediante tablas de valores obtenidos

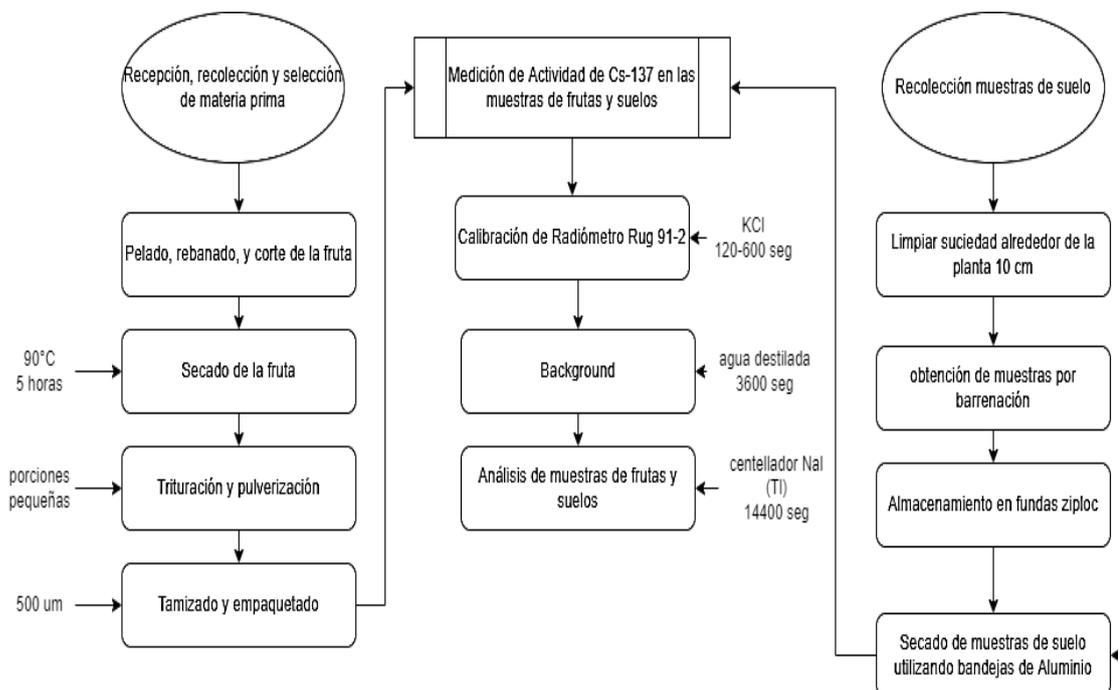
**Realizado por:** Revelo, Sergio; Ugenio, Mélida, (GIDAC), 2022.

## 2.2. Parte Experimental

Uno de los parámetros principales para la determinación de Cesio-137 en diez frutas del Ecuador dentro de la presente investigación, se basa en una comparación con la concentración de la actividad de Potasio-40 encontrado en las muestras de frutas y suelos, debido a que, en base a datos bibliográficos se conoce que el K-40 se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre y en el suelo por lo que la radiación se transfiere con facilidad a las plantas para almacenarse en sus frutos. Este dato nos permite realizar una comparación en los rangos de absorción de los diferentes radionucleótidos utilizando al K-40 como un radioisótopo de referencia para evaluar la presencia de Cs-137.

A demás se busca determinar la concentración media de la actividad de Cesio-137 en diez frutas del Ecuador (orito, papaya, mango, kiwi, maracuyá, granadilla, guayaba, tomate de árbol, pitahaya y uvilla), para lo cual se llevó a cabo la recolección de frutas en el mercado Mayorista de la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, las mismas que fueron sometidas a un pretratamiento de secado por deshidratación. Adicional se logró la recolección del suelo donde fueron cultivadas 3 de las frutas analizadas: tomate de árbol, uvilla y mango, que permitió identificar los porcentajes de absorción de Cesio-137 y Potasio-40 de las frutas en comparación al suelo donde fueron cultivadas.

### 2.2.1. Diagrama del proceso de determinación de Cesio-137 en diez frutas del Ecuador



**Gráfico 1-2.** Diagrama del proceso de determinación de Cesio-137 en diez frutas del Ecuador

Realizado por: Revelo, Sergio; Ugenio, Mélida, (GIDAC), 2022.

### 2.2.2. Proceso de preparación de muestras

La determinación de la concentración de la actividad de Cesio-137 en el equipo de espectrometría gamma Rug 91-2 de la marca ADANI requiere un pretratamiento de las muestras que se detalla a continuación:

- Fase 1: Recolección y selección de materia prima

Las frutas fueron adquiridas en el mercado Mayorista de la ciudad de Riobamba, provincia Chimborazo. Se seleccionaron aleatoriamente las frutas con un punto óptimo de madurez, que se encuentren sanas, libres de plagas y enfermedades.



**Figura 1-2.** Recolección de frutas en el mercado Mayorista de la Ciudad de Riobamba

**Realizado por:** Revelo, Sergio; Ugenio, Mérida, (GIDAC), 2022.

Se recogió información a los comerciantes expendedores de frutas acerca de lugar de origen y variedad frutal, los mismos que se detallan en la Tabla (2-2).

**Tabla 2-2:** Datos de selección de frutas

Tipo de fruta	Nombre científico	Variedad	Lugar de origen
Pitahaya	( <i>Cereus SP.</i> )	pitahaya nacional (amarilla)	Palora (Morona Santiago)
Papaya	( <i>Carica papaya, L.</i> )	papaya nacional (maradol roja)	Santo Domingo de los Tsáchilas
Guayaba	( <i>Psidium guajava L</i> )	Guayaba fresa	Shushufindi (Sucumbíos)

Orito	( <i>Musa Acuminata AA</i> )	baby banana	La Maná (Cotopaxi)
Granadilla	( <i>Passiflora ligularis L.</i> )	granadilla Nacional	Tandapi (Sto. Domingo)
Tomate de árbol	( <i>Solanum betaceum, Cav.</i> )	Tomate Nacional	San Vicente de Yaruquies (Chimborazo)
Kiwi	( <i>Actinidia chinensis</i> )	Hayward	Salcedo (Cotopaxi)
Uvilla	( <i>Physalis peruviana, L.</i> )	Ambateño	Ambato (Tungurahua)
Mango	( <i>Mangifera indica L.</i> )	Tommy atkins	Daule (Guayas)
Maracuyá	( <i>Passiflora edulis f. flavicarpa Deg</i> )	maracuyá amarillo	Santo Domingo de los Tsáchilas

Realizado por: Revelo, Sergio; Ugenio, Mérida, (GIDAC), 2022.

- Fase 2: Pelado, corte y rebanado de la fruta

Cada fruta fue pelada, cortada y rebanada mediante el uso de un cuchillo de acero inoxidable con el fin de obtener rodajas de 7 mm, a excepción de frutas que no lo requiera (maracuyá y granadilla), estas frutas no requieren ser rebanadas debido a que el epicarpio (pulpa) posee mayor concentración de líquidos.



**Figura 2-2.** Pelado, corte y rebanado de frutas

Realizado por: Revelo, Sergio; Ugenio, Mérida, (GIDAC), 2022.

- Fase 3: Secado de la fruta

Se realizó un deshidratado mediante el uso de estufas de secado disponibles en el laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Ciencias, a una temperatura de 90°C durante 5 horas, en donde la fruta fue colocada sobre bandejas de acero inoxidable recubiertas de papel manteca o en recipientes de Aluminio, para evitar la adherencia de la fruta.

Una vez culminado el tiempo de secado se coloca la fruta deshidratada en un desecador por 1 hora para proteger las muestras de la humedad presente en el ambiente.



**Figura 3-2.** Secado de muestra mediante evaporación superficial

**Realizado por:** Revelo, Sergio; Ugenio, Mérida, (GIDAC), 2022.

- Fase 4: Trituración y pulverización

Las muestras deshidratadas se colocaron en una trituradora eléctrica de alimentos durante 3 minutos, en pequeñas porciones para precautelar la eficiencia del equipo.



**Figura 4-2.** Trituración de muestras deshidratadas

**Realizado por:** Revelo, Sergio; Ugenio, Mélida, (GIDAC), 2022.

- Fase 5: Tamizado y empaquetado

Finalizado el proceso de trituración las muestras de frutas se tamizaron a una granulometría de 500 micrones. Posteriormente se codificaron y almacenaron en fundas ziploc herméticamente selladas para su posterior análisis en el Laboratorio de Técnicas Nucleares de la ESPOCH, usando el espectrómetro gamma ADANI Rug 91-2.



**Figura 5-2.** Tamizaje granulometría de 500 micrones

**Realizado por:** Revelo, Sergio; Ugenio, Mélica, (GIDAC), 2022.



**Figura 6-2.** Empaquetado de muestras de Frutas

**Realizado por:** Revelo, Sergio; Ugenio, Mélica, (GIDAC), 2022.

### ***2.2.3. Recolección y pretratamiento de muestras de suelos donde 3 de las frutas estudiadas (tomate de árbol, uvilla y mango) fueron cultivadas***

Complementario a la recolección de las frutas, se logró obtener el suelo donde fueron sembradas y cultivadas 3 diferentes frutas correspondientes a la uvilla, tomate de árbol y mango, las mismas que fueron analizadas en relación suelo-fruta para la determinación de la concentración de la actividad de Cesio-137 y Potasio-40.

Se utilizó la técnica de Barrenación (equipo Barreno) que se detalla a continuación:

- Se limpia la zona del suelo alrededor de la planta frutal aproximadamente 10 cm de profundidad para eliminar suciedad y residuos de la planta.
- Se introduce el Barreno y se ejerce presión hasta llegar a la profundidad requerida del muestreo (capa Horizonte A) del suelo.
- Retirar el Barreno y remover la base del suelo para almacenar la parte intermedia de los primeros 30 cm de la muestra.
- Una vez recolectado el suelo se almacenan en fundas ziploc cerradas herméticamente con fin de proteger la muestra de la humedad.
- Llevar las muestras de suelo a su posterior secado esparciéndolas sobre una bandeja de Aluminio formando una capa de 5 cm.
- Ingresar las bandejas con la muestra de suelo a una estufa a una temperatura de 105°C durante 24 horas.
- Una vez transcurriendo el tiempo de secado retirar la muestra de suelo y colocar en un desecador por alrededor de 1 hora para proteger las muestras de la humedad presente en el ambiente.
- Almacenar en fundas ziploc herméticamente cerradas para su pulverización usando un tamiz con granulometría de 500 micrones. Posteriormente se codificó y almacenó en fundas ziploc herméticamente selladas para su respectivo análisis en el Laboratorio de Técnicas Nucleares de la ESPOCH, usando el espectrómetro gamma ADANI Rug 91-2.



**Figura 7-2.** Recolección de la muestra de suelo

**Realizado por:** Revelo, Sergio; Ugenio, Mérida, (GIDAC), 2022.

#### 2.2.4. Instrumentación utilizada para el análisis de la actividad de radiación gamma

##### Radiómetro ADANI Rug 91-2

El sistema de espectrometría gamma utilizado en el laboratorio de Técnicas Nucleares de la ESPOCH es un radiómetro modelo Rug 91-2 de la marca ADANI, que mide la actividad específica de emisión gamma de los radionucleidos de Cs-134, Cs-137 y K-40 en muestras de productos vegetales, animales y suelos contaminados con estos radioisótopos. El material de detección que usa es un centellador de yoduro de sodio activado con talio, acoplado a un tubo fotomultiplicador y un microcontrolador como principales elementos del equipo. El tiempo de ajuste del modo de operación es de 5 minutos y el de funcionamiento continuo es de hasta 24 horas. Su peso fuera del contenedor es de aproximadamente 52 Kg y de 62 Kg. Su capacidad es de 0.5 L (ADANI, 2013, pp.7-8).



**Figura 8-2.** Espectrómetro ADANI Rug 91-2

1. Carcasa 2. Estructura de transporte 3. Cubierta giratoria 4. Panel frontal 5. Módulos electrónicos.

Fuente: ADANI, 2020, p.92.

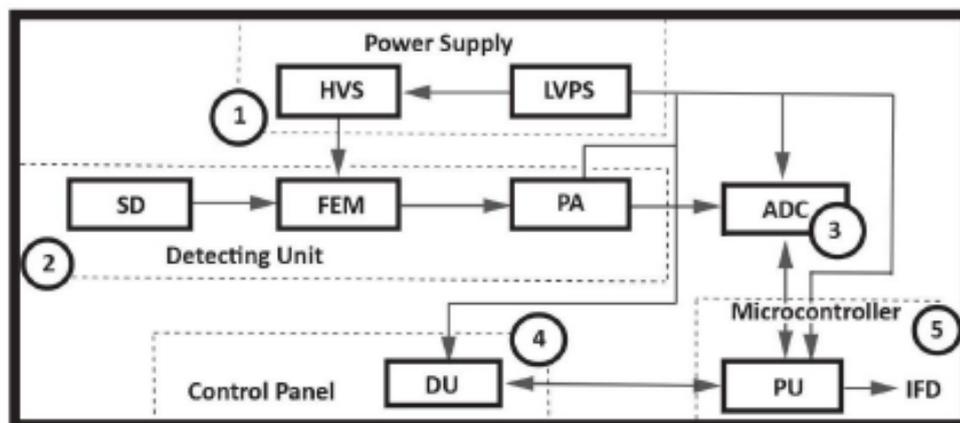
El espectrómetro gamma Rug 91-2, también denominado radiómetro, cuenta con las siguientes dimensiones:

- Largo: 255 mm
- Ancho: 360 mm
- Largo: 300 mm

El espectrómetro presenta 6 partes o elementos principales:

1. Carcasa: Es una cubierta de Plomo que recubre y protege tanto el espacio donde ingresa el marinelli que contiene la muestra a analizar, así como en el orificio central del detector cilíndrico de NaI (TI).
2. Estructura de transporte: Permite el traslado seguro del equipo.
3. Cubierta giratoria: Tapa giratoria que recubre la muestra contenida en el marinelli, se encuentra recubierta de Plomo para proteger al investigador de la radiación.
4. Panel frontal: Sistema operativo del equipo que consta de una pantalla y teclado que permiten la manipulación del equipo y la observación de los resultados de los análisis.
5. Módulos electrónicos: Unidad de procesamiento de datos analizados en el software
6. Marinelli: Es un contenedor donde se deposita la muestra con una capacidad de 0.5 Litros, el peso del envase es de 85 gramos (ADANI, 2013, p.7).

El sistema se compone principalmente cinco unidades como se identifica en la Figura (9-2), en el transcurso de medición se analiza la información de un pulso eléctrico, el sistema de procesos no detecta otro fotoelectrón durante el análisis de muestra.



**Figura 9-2.** Esquema general del espectrómetro Rug 91-2

Fuente: ADANI, 2020, p.92.

Las funciones específicas de los componentes del radiómetro son:

- Unidad de fuente de alimentación: posee una fuente de alimentación de baja tensión (LVPS) esta rectifica, filtra y regula el voltaje requerido para la ejecución de los componentes del radiómetro, además de una fuente de alto voltaje (HVS) usado para emplear energía al tubo fotomultiplicador

- Unidad de detección: Es donde se localiza el detector de centelleo (CD) que se requiere aplicar según el análisis, donde transforma los cuantos, de rayos gamma en fotones de luz visible para ser llevado a la FEM como impulsos de corriente, además posee un amplificador preliminar (PA) que transforma los impulsos de corriente producidos por el fotomultiplicador en impulsos de voltaje.
- Conversor analógico digital (ADC): transforma los impulsos de voltaje en códigos digitales.
- Panel de control: conformado en un monitor y teclas utilizado para los ajustes de modo de operación del radiómetro.
- Microcontrolador: posee una unidad de procesamiento (PU) utilizada en la recepción, almacenamiento y envío de datos. Además, posee la interfaz del dispositivo (IFD) para intercambiar datos obtenidos con equipos externos.

El funcionamiento del equipo ejecuta el registro y los análisis de distribución de amplitud de pulsos de fotones producidos por el detector, para mejorar el registro se coloca la probeta marinelli de 0.5 litros ingresada en las paredes de plomo. En el centellador se producen destellos de luz que ingresan al fotocátodo del fotomultiplicador y se convierten en pulsos eléctricos amplificados, así entrando en el convertidor analógico-digital y distribuir pulsos eléctricos en 1024 canales, donde se analiza la distribución de amplitudes y se calcula la actividad del radionucleido, donde los resultados se ven reflejando los resultados en tiempo real de la medición en proceso.

En el caso del Cesio-137, la distribución de energía forma picos a los 662 KeV, siendo detectable entre los canales (200 al 240) del fotomultiplicador mientras el pico de K-40 se produce a los 1461 KeV en los canales dispuestos en el equipo de detección para el K-40 (canales 420 a 520). En el monitor se refleja la tasa de conteo de rayos gamma, la temperatura del fotomultiplicador, el tiempo del fotomultiplicador, datos de la actividad específica en unidades de Bq/Kg y su error asociado de la medición.

En la operación del equipo (radiómetro) se procura que el lugar donde se encuentre instalado posee una temperatura mayor a 10°C, en caso de que la temperatura será menor a 10°C la habitación debe ser calentada, cabe mencionar para mejorar la precisión de medición indicada el recipiente marinelli de 0.5 litros debe estar completamente lleno, en caso de que la muestra a medir sea homogénea el equipo requiere de un análisis de inexactitud de homogeneidad y de una medición de masa menor al 2%, y una calibración con una muestra de KCl proporcionada por el fabricante con actividad de al menos 16 KBq.

La medida del Background solo es necesaria si presentan cambios significativos de condiciones de medición de la actividad específica de las muestras o de la temperatura del radiómetro, se debe procurar usar una muestra no radiactiva para su análisis (agua destilada) y un tiempo de medición del Background de al menos 1200 segundos, pero lo recomendable son 3600 segundos para su análisis.

La medición del Background permite probar la estabilidad del sistema de detección y de la electrónica asociada, siendo así esta radiación de fondo se utiliza como un indicador de evaluación del funcionamiento del equipo (L'Annunziata, 2003, p.897).

El análisis de medición de muestras se puede efectuar mediante el Software Rug 91-2 en el ordenador, algunos requisitos técnicos que debe poseer el ordenador se especifican en la Tabla (3-2).

**Tabla 3-2:** Requisitos mínimos del ordenador

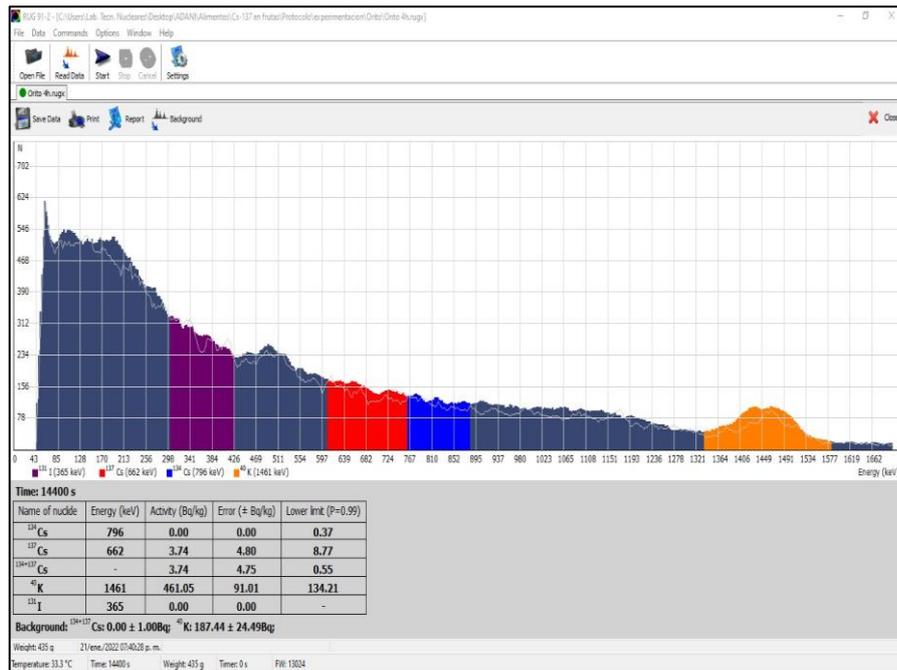
Procesador	Al menos Pentium 4.1GHz
Monitor	Al menos 1024 x 600
Sistema operativo	Windows XP (32 bit) o Windows 7 (64bit)
Disco duro	Al menos 4GB
Browser	Internet explorer 7.0 o más
RAM	Al menos de 512MB
Tarjeta gráfica	Al menos 32MB
USB	Puerto USB 2.0

**Fuente:** ADANI, 2013, p.91.

**Realizado por:** Revelo, Sergio; Ugenio, Mérida, (GIDAC), 2022.

La información completa se encuentra en los manuales de usuario del equipo proporcionada por el fabricante del equipo.

En la interfaz del software del equipo se puede encontrar el menú principal en el que se pueden ingresar los parámetros de medición requeridos para el análisis, que reflejaran los resultados medidos de la muestra, en la Figura (10-2) se observa la interfaz gráfica del software Rug 91-2 en ejecución



**Figura 10-2.** Interfaz gráfica del Rug 91-2

Fuente: ADANI, 2013, p.91.

Los resultados obtenidos de la medición de la concentración de actividad específica de la muestra pueden ser guardados en tres extensiones:

- 1) *.rugx*. Permite la visualización de la interfaz del software donde se tiene la información específica de la muestra analizada como un espectro gamma, tabla de concentración de actividad de los radionucleidos detectados, masa, tiempo de adquisición de datos, entre otros. Ver Figura (10-2).
- 2) *.txt*, muestra un reporte detallado del análisis, en él se puede observar datos particulares del background como la tasa de conteo de cada radioisótopo, además de una tabla de resultados similar a la observada en la extensión anterior.
- 3) *.dat*, otorga una visualización en un archivo en formato de cálculo donde se encuentra el resultado del estudio dado en función de los canales y sus correspondientes pulsos en la primera y segunda columna respectivamente.

### 2.2.5. Procedimiento de medición de actividad específica de Cesio-137 en las muestras

El proceso para determinar la concentración de la actividad específica del Cs-137 tanto en las muestras de fruta, como de suelo, se desarrolla en tres etapas: 1) Calibración, 2) Background y 3) Análisis de muestra, mediante el software Rug 91-2 proporcionado por el fabricante previamente instalado en el sistema operativo, donde el equipo ADANI se debe encontrar conectado al computador vía USB e instalados los drivers para el control total del programa.

#### **a) Calibración del equipo ADANI Rug 91-2**

1. Abrir la cubierta giratoria del radiómetro.
2. Colocar el recipiente marinelli con la muestra de cloruro de potasio (KCl) proporcionada por el fabricante dentro del espectrómetro y asegurar la cubierta giratoria del equipo
3. Presionar MENU, ubicado en el teclado del panel frontal del equipo.
4. Elegir la opción CALIBRATION y esperar que en la pantalla del panel frontal se indique el mensaje CALIBRATION COMPLETE.
5. Terminada la calibración del equipo, retirar la muestra cloruro de potasio de KCl del espectrómetro.

El procedimiento de calibración es automático y puede tardar entre 120 a 600 segundos según los parámetros del fabricante.

Nota: Si la temperatura de la habitación donde está instalado el radiómetro está por debajo de 10°C, se debe calentar la habitación para elevar la temperatura y la estación del radiómetro por no menos de 4 horas. La muestra de KCl debe poseer actividad específica de al menos 16 KBq.

#### **b) Background**

El background es una forma de radiación electromagnética de fondo que permite la estabilización del sistema de detección y el buen funcionamiento del sistema electrónico ante la presencia de agentes contaminantes por lo cual actúa como un indicador del buen desempeño del equipo. Este proceso se debe llevar a cabo cada 24 horas antes del análisis de la actividad específica de las muestras, se utilizó un tiempo de corrida de 3600 segundos y una masa de agua destilada de (459,6 ± 1) g siguiendo los pasos que se describen a continuación:

1. Verter agua destilada hasta llenar el recipiente denominado marinelli de 0.5 L de capacidad.
2. Cerrar correctamente el recipiente marinelli para evitar fugas.
3. Insertar el recipiente marinelli completamente seco y limpio dentro del espectrómetro y cerrar la cubierta giratoria.
4. Presionar MENU desde el panel frontal.
5. Elegir la opción TIME y programar el tiempo de medición en segundos de Background con un tiempo de 3600 segundos.
6. Seleccionar WEIGHT y escribir su peso en gramos de agua destilada del marinelli.
7. Elegir la opción BACKGROUND y presionar OK para iniciar el análisis.
8. Finalizado el procedimiento retirar el marinelli con la muestra de agua destilada

**c) Análisis de la concentración de la actividad de Cesio-137 en muestra de frutas**

1. Previo al análisis tamizar la muestra con un tamiz de 500um
2. Llenar el recipiente marinelli con la muestra a analizar, cerrar y pesar.
3. Colocar el marinelli dentro del espectrómetro completamente limpio, seco y asegurar la cubierta giratoria.
4. Presionar el botón MENU en el panel frontal.
5. Elegir la opción TIME usando los botones de navegación y programar el tiempo de medición en segundos de 14400 segundos.
6. Presionar el botón MENU en el panel frontal.
7. Seleccionar WEIGHT usando los botones de navegación e insertar su peso en gramos.
8. Seleccionar la opción START para iniciar el procedimiento de análisis.
9. Finalizado el procedimiento retirar el marinelli con la muestra.



**Figura 11-2.** Análisis de la muestra en el equipo Rug 91-2

**Realizado por:** Revelo, Sergio; Ugenio, Mérida, (GIDAC), 2022.

El equipo ADANI Rug 91-2 también permite su manejo a través del software Rug 91-2 en donde se introducen los datos del peso de la muestra y el tiempo de corrida del análisis. Tanto el método manual, como el método electrónico del software nos posibilitan el análisis de actividad específica de radioisótopos radiactivos. La ventaja del método electrónico bajo el uso del software es la facilidad de guardar los datos en diferentes formatos de tipo de archivo (rugx, txt, dat).

En la presente investigación se ocupó un tiempo de adquisición de datos de 14400 segundos y para la obtención de las masas de las distintas muestras se utilizó una balanza digital con sensibilidad de 1 gramo que se expone a continuación en la Tabla (4-2).

**Tabla 4-2:** Masas en gramos de las muestras de frutas y suelo analizadas

<b>Muestra analizada</b>	<b>Masas (g)</b>
Pitahaya	352 ± 1
Mango	448 ± 1
Orito	435 ± 1
Kiwi	367 ± 1
Maracuyá	334 ± 1
Papaya	366 ± 1
Granadilla	384 ± 1
Tomate de árbol	379 ± 1
Uvilla	334 ± 1
Guayaba	369 ± 1
Suelo de cultivo de uvilla	738 ± 1
Suelo de cultivo de mango	696 ± 1
Suelo de cultivo de tomate de árbol	626 ± 1

**Realizado por:** Revelo, Sergio; Ugenio, Mérida, (GIDAC), 2022.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 3.1. Niveles de concentración media de actividad específica de K-40 en diez frutas del Ecuador

En la Tabla (1-3) se presentan los resultados de la concentración media de la actividad específica del K-40 en 10 tipos de frutas del Ecuador obtenidas en el espectrómetro ADANI Rug 91-2. Se llevaron a cabo 10 repeticiones independientes que permitieron el cálculo de los valores medios, las respectivas desviaciones estándar y el error relativo.

**Tabla 1-3:** Concentración media de K-40 en diez tipos de frutas del Ecuador

<b>Tipo de fruta</b>	<b>Media de la actividad específica de K-40 (Bq/Kg)</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Error relativo %</b>
Pitahaya	344,37	9,81	3
Kiwi	565,73	12,5	2
Papaya	566,23	15,71	3
Orito	461,05	20,5	4
Granadilla	785,63	31,45	4
Mango	340,91	17,34	5
Guayaba	585,19	22,56	4
Maracuyá	560,35	42,63	8
Uvilla	446,43	42,72	10
Tomate de árbol	962,23	30,85	3

**Realizado por:** Revelo, Sergio; Ugenio, Mérida, (GIDAC), 2022.

Los resultados de la actividad específica media para el tomate de árbol fueron de (962,23 Bq/Kg), seguida de la granadilla (785.63 Bq/Kg), guayaba (585,19 Bq/Kg), papaya (566,23 Bq/Kg), kiwi (565,73 Bq/Kg), maracuyá (560,35 Bq/Kg), orito (461,05 Bq/Kg) y uvilla (446,43 Bq/Kg). Todos los valores encontrados son superiores al promedio de radiactividad para el k-40 (400 Bq/Kg) en frutas. (Camacho & Pucha, 2018, p:59), a excepción de la pitahaya (344,37 Bq/Kg) y el mango (344,37 Bq/Kg), que presentan valores más bajos que el nivel de referencia.

### 3.2. Medidas de radiactividad de Cesio-137 en muestras de diez frutas del Ecuador con el espectrómetro Rug 91-2

En la Tabla (2-3) se presentan los datos obtenidos en el espectrómetro ADANI Rug 91-2 en donde se evidencia la concentración media de la actividad específica de Cesio-137 en las frutas estudiadas. Se llevaron a cabo 10 repeticiones que permitieron el cálculo de las medias de las concentraciones y la respectiva desviación estándar. En la última columna se puede observar que las mediciones se reportan con un error relativo de máximo el 20%.

**Tabla 2-3:** Datos de la concentración media de Cs-137 en diez tipos de frutas del Ecuador

Clima donde se cultivan las frutas	Tipo de fruta	Media de la concentración de la actividad de Cs-137 (Bq/Kg)	Desviación estándar	Error relativo %
Cálido	Pitahaya	10,96	0,62	5
	Kiwi	0,58*	0,11	19
	Papaya	0,47*	0,04	8
Subtropical	Orito	4,01*	0,64	16
	Granadilla	0*	-	-
Tropical	Mango	9,04	0,71	8
	Guayaba	0*	-	-
	Maracuyá	0,06*	0,007	11
Templado-frío	Uvilla	0,04*	0,008	20
	Tomate de árbol	0*	-	-

\*: Menor al valor mínimo detectable del espectrómetro

**Realizado por:** Revelo, Sergio; Ugenio, Mélida, (GIDAC), 2022.

De acuerdo a los resultados de la Tabla (2-3) la pitahaya sobresale al poseer una actividad específica media de Cs-137 igual a 10,96 Bq/Kg, seguida del mango con 9,04 Bq/Kg y el orito con 4,01 Bq/Kg. El kiwi (0,58 Bq/Kg), la papaya (0,47 Bq/Kg), maracuyá (0,06 Bq/Kg), uvilla (0,04 Bq/Kg), tomate de árbol (0,00 Bq/Kg), granadilla (0,00 Bq/Kg) y guayaba (0,00 Bq/Kg), presentan niveles de actividad específica media de Cs-137 se encuentran por debajo del valor mínimo detectable del espectrómetro para la medición del radionucleido en el equipo Rug 91-2 (5 Bq/Kg).

Los valores encontrados están por debajo de los niveles de referencia permisibles para el Cs-137 en alimentos de consumo masivo importados con contaminación de radionucleidos según se

especifica en las Normas Internacionales de China, Japón y México (100 Bq/Kg) (OMC, 2018, p.61), y en La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-CODEX 193-2013, con un máximo de 1000 Bq/Kg (INEN, 2013, pp.35-36), por lo cual se concluye que los valores obtenidos en este estudio son aceptables en frutas para su distribución y consumo seguro.

### 3.3. Comparación de radioisótopos Cesio-137 y Potasio-40 en diez frutas del Ecuador

En base a la metodología de la sección (2.2) presentamos los resultados de los niveles de concentración media de la actividad de Potasio-40 como referencia de las muestras radiactivas analizadas y su comparación con los niveles de concentración de la actividad de Cesio-137, que se detallan en la Tabla (3-3).

**Tabla 3-3:** Datos comparativos de Cs-137 y K-40 en diez frutas del Ecuador

Tipo de fruta	Cs-137 (Bq/Kg)	K-40 (Bq/Kg)	Desviación estándar	Relación proporcional %
Pitahaya	10,96	344,37	235,8	96,82
Kiwi	0,58*	565,73	399,62	99,90
Papaya	0,47*	566,23	400	99,92
Orito	4,01*	461,05	323,18	99,13
Granadilla	0*	785,63	555,52	100
Mango	9,04	340,91	234,67	97,35
Guayaba	0*	585,19	413,80	100
Maracuyá	0,06*	560,35	396,19	99,99
Uvilla	0,04*	446,43	485,80	99,99
Tomate de árbol	0*	962,23	680,40	100

\*: Menor al valor mínimo detectable del espectrómetro

**Realizado por:** Revelo, Sergio; Ugenio, Mélida, (GIDAC), 2022.

En la Tabla (3-3) se muestra una comparación entre las actividades específicas medias de Cs-137 y K-40 de las diez muestras de frutas analizadas medidas con el espectrómetro ADANI Rug 91-2. Se puede observar que los valores del K-40 son mucho más grandes que las concentraciones medias de Cs-137.

- En el caso de la pitahaya se obtuvo valores de la concentración media de la actividad específica de Cs-137 de 10,96 Bq/Kg, mientras que la actividad media de K-40 encontrada fue de 344 Bq/Kg lo que representa un 96,82 % más K-40 que Cs-137.

- El kiwi obtuvo una concentración media de la actividad específica de Cs-137 de 0,58 Bq/Kg, y de K-40 de 565,73 Bq/Kg lo que representa un 99,90 % más K-40 que Cs-137.
- La papaya con una concentración media de la actividad específica de Cs-137 de 0,47 Bq/Kg, y de K-40 de 566,23 Bq/Kg lo que representa un 99,92 % más K-40 que Cs-137.
- El orito obtuvo valores de la concentración media de la actividad específica de Cs-137 de 4,01 Bq/Kg, mientras que la actividad media de K-40 encontrada fue de 461,05 Bq/Kg lo que representa un 99,13 % más K-40 que Cs-137.
- La granadilla con una concentración media de la actividad específica de Cs-137 de 0 Bq/Kg, y de K-40 de 785,63 Bq/Kg lo que representa un 100 % más K-40 que Cs-137.
- El mango con una concentración media de la actividad específica de Cs-137 de 9,04 Bq/Kg, y de K-40 de 340,91 Bq/Kg lo que representa un 97,35 % más K-40 que Cs-137.
- La guayaba obtuvo una concentración media de la actividad específica de Cs-137 de 0 Bq/Kg, y de K-40 de 585,19 Bq/Kg lo que representa un 100 % más K-40 que Cs-137.
- El maracuyá con una concentración media de la actividad específica de Cs-137 de 0,06 Bq/Kg, y de K-40 de 560,35 Bq/Kg lo que representa un 99,99 % más K-40 que Cs-137.
- La uvilla obtuvo una concentración media de la actividad específica de Cs-137 de 0,04 Bq/Kg, y de K-40 de 446,43 Bq/Kg lo que representa un 99,99 % más K-40 que Cs-137.
- El tomate de árbol obtuvo valores de la concentración media de la actividad específica de Cs-137 de 0 Bq/Kg, mientras que la actividad media de K-40 encontrada fue de 962,23 Bq/Kg lo que representa un 100 % más K-40 que Cs-137.

#### **3.4. Capacidad de absorción del Cesio-137 y Potasio-40 desde el suelo donde se cultivan las frutas en estudio**

Se analizó tres tipos de suelos donde se cultivó uvilla, tomate de árbol y mango con el propósito de determinar la capacidad de absorción del Cesio-137 y Potasio-40 de la planta desde el suelo. El protocolo de preparación de la muestra se presentó en la sección (2.2.3) y el protocolo de medición fue el mismo que para las frutas (sección 2.2.5).

**Tabla 4-3:** Concentración media de Cs-137 y K-40 entre la uvilla y el suelo donde se cultivó

Muestra	Uvilla		Suelo	
	Cs-137	K-40	Cs-137	K-40
<b>Radioisótopo</b>	Cs-137	K-40	Cs-137	K-40
<b>Concentración media de la actividad específica</b>	0,04*	446,43	2,35*	674,17
<b>Desviación estándar</b>	0,008	42,72	0,36	11,60
<b>Error %</b>	20	10	15	2
<b>% de Absorción Cs-137</b>	<b>2%</b>			
<b>% de Absorción K-40</b>	<b>66%</b>			

Realizado por: Revelo, Sergio; Ugenio, Mérida, (GIDAC), 2022.

En la Tabla (4-3) se observa que existe mayor presencia de los radioisótopos K-40 y Cs-137 en el suelo que, en la uvilla, en donde un 2% de Cs-137 y un 66% de K-40 son absorbidos del suelo hacia la planta, por lo tanto, el K-40 se presenta en mayor concentración que el Cs-137.

**Tabla 5-3:** Concentración media de Cs-137 entre el tomate de árbol y el suelo donde se cultivó

Muestra	Tomate de árbol		Suelo	
	Cs-137	K-40	Cs-137	K-40
<b>Radioisótopo</b>	Cs-137	K-40	Cs-137	K-40
<b>Concentración media de la actividad específica</b>	0*	962,23	4,83*	968,25
<b>Desviación estándar</b>	-	30,85	0,39	17,42
<b>Error %</b>	-	3	8	2
<b>% de Absorción Cs-137</b>	<b>0%</b>			
<b>% de Absorción K-40</b>	<b>99%</b>			

\*: Bajo nivel de detección

Realizado por: Revelo, Sergio; Ugenio, Mérida, (GIDAC), 2022.

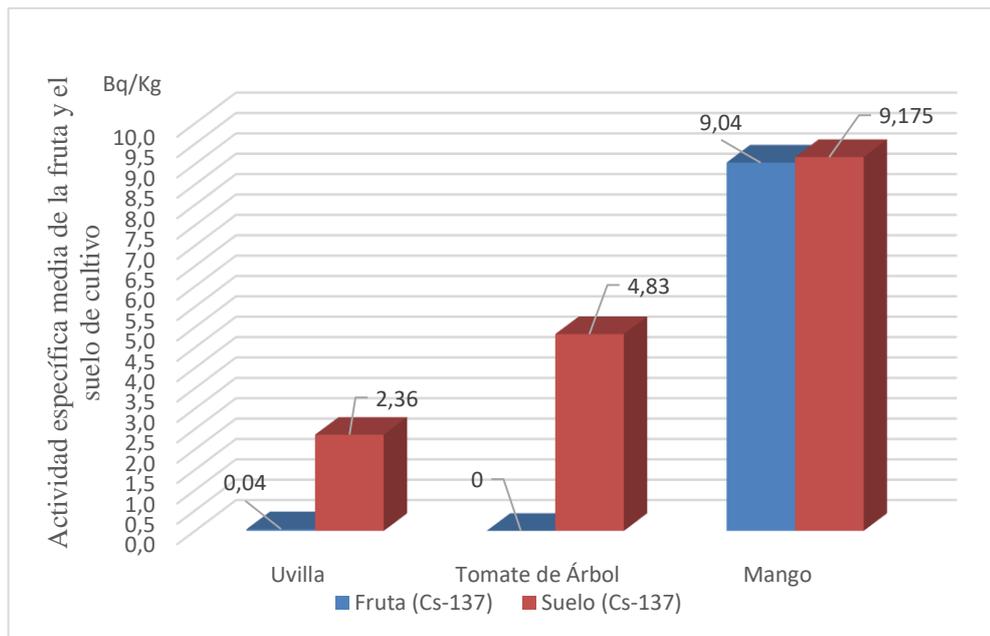
En la Tabla (5-3) se observa que existe mayor presencia de los radioisótopos K-40 y Cs-137 en el suelo que, en el tomate de árbol, en donde la fruta no absorbe Cs-137 dado a que no existe niveles detectables de radioisótopo en el tomate de árbol dado por la sensibilidad del equipo ADANI Rug 91-2, por el contrario, el 99% de K-40 es absorbido del suelo hacia la planta.

**Tabla 6-3:** Concentración media de Cs-137 entre el mango y el suelo donde se cultivó

Muestra	Mango		Suelo	
Radioisótopo	Cs-137	K-40	Cs-137	K-40
Concentración media de la actividad específica	9,04	340,91	9,175	448,39
Desviación estándar	0,71	17,34	0,129	19,12
Error %	8	5	1	4
% de Absorción Cs-137	<b>98,53%</b>			
% de Absorción K-40	<b>76 %</b>			

Realizado por: Revelo, Sergio; Ugenio, Mérida, (GIDAC), 2022.

La Tabla (6-3) se presenta la actividad de Cesio-137 y Potasio-40 del mango y el suelo donde se cultivó, se observa que existe mayor presencia de los radioisótopos K-40 y Cs-137 en el suelo que, en el mango, en donde el 98.53 % de Cs-137 y el 76% de K-40 son absorbidos del suelo hacia la planta, por lo tanto, el Cs-137 se presenta en mayor porcentaje de absorción que el K-40.

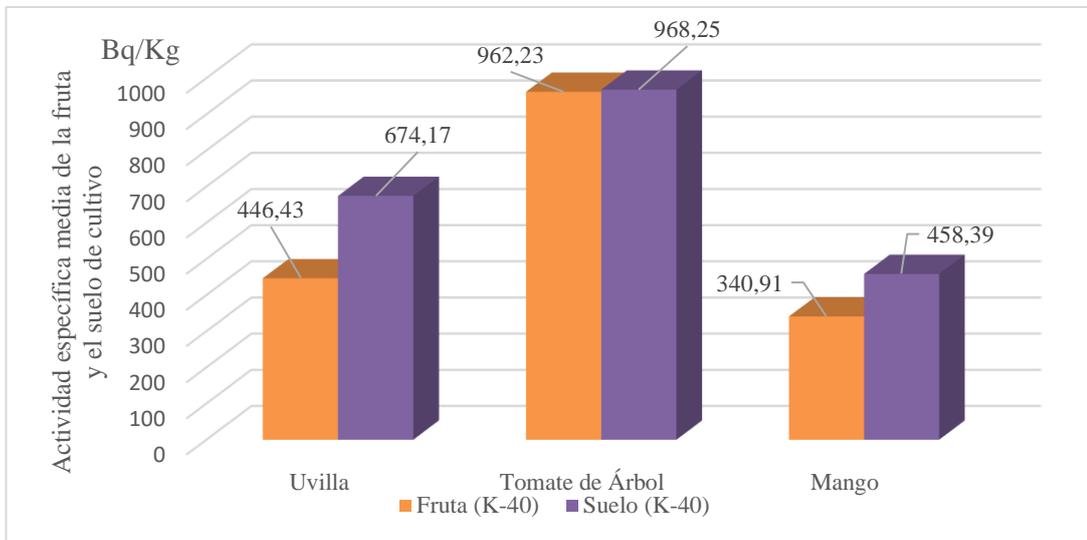


**Gráfico 1-3.** Concentración media de la actividad de Cs-137 en frutas (barras azules) y del suelo de cultivo (barras rojas)

Realizado por: Revelo, Sergio; Ugenio, Mérida, (GIDAC), 2022.

En el Gráfico (1-3) se puede observar la relación entre los niveles de actividad específica de Cesio-137 de las frutas mango, tomate de árbol y uvilla con respecto al suelo donde fueron cultivadas, evidenciando que la uvilla y el tomate de árbol poseen bajos niveles de absorción de

Cesio-137 desde el suelo, por otra parte, el mango absorbe casi en su totalidad la radiación de Cs-137.



**Gráfico 2-3.** Capacidad de absorción de la fruta (barras naranjas) con el suelo de cultivo (barras moradas) de K-40

**Realizado por:** Revelo, Sergio; Ugenio, Mérida, (GIDAC), 2022.

En el Gráfico (2-3) se puede observar la relación entre los niveles de actividad específica de Potasio-40 de las frutas mango, tomate de árbol y uvilla con respecto al suelo donde fueron cultivadas, evidenciando el caso particular del tomate de árbol que absorbe casi en su totalidad la radiación de K-40 del suelo, de la misma forma se halló que gran porcentaje del K-40 del suelo es absorbido por las plantas de uvilla y mango.

## CONCLUSIONES

- Mediante Espectrometría Gamma, utilizando el radiómetro ADANI Rug 91-2, se determinó que las concentraciones de la actividad de Cesio-137 en el orito, mango, pitahaya, papaya, granadilla, tomate de árbol, kiwi, maracuyá, uvilla y guayaba, cultivadas en Ecuador, están por debajo de los límites máximos permisibles según las Normas Internacionales de México, Japón y China para alimentos de consumo masivo importados con contaminación de radionucleidos (100 Bq/Kg).
- Se comprobó que el radioisótopo K-40 está presente en las frutas estudiadas, con un alto nivel de concentración de la actividad, de las cuales 8 frutas presentan valores superiores al valor promedio de 400 Bq/Kg de K-40, y tan solo la Pitahaya (344,37 Bq/Kg) y el Mango (340,91Bq/Kg) presentan valores menores a los promedios de referencia.
- La comparación de los niveles de Cesio-137 y Potasio-40 en las frutas (orito, mango, pitahaya, papaya, granadilla, tomate de árbol, kiwi, maracuyá, uvilla y guayaba) cuantificados con el radiómetro ADANI Rug 91-2, evidenció que mientras los niveles de K-40 son superiores a 300 Bq/kg, los niveles de Cesio-137 estuvieron bajo el nivel de detección de la técnica.
- Con el presente estudio se pudo comprobar que no todas las frutas absorben de igual manera el Cesio-137 y el Potasio-40 presente en el suelo de cultivo, destacando el mango que absorbe el 98,53% de Cesio-137 mientras que el tomate de árbol absorbe casi en su totalidad la radiación de K-40 (99%) desde el suelo.

## RECOMENDACIONES

- Los resultados obtenidos sobre la actividad de Cesio-137 en los suelos de cultivo de frutas pueden ser aplicados como base de datos exploratorios para el desarrollo de nuevas investigaciones relacionados a la calidad de suelos en el cultivo de frutas como el mango por su capacidad de absorber Cs-137 y otros radioisótopos como el K-40, además de ser utilizado como punto de partida para cambiar los procesos de política pública de venta y exportación de frutas con análisis de elementos radiactivos resguardando la salud del consumidor y así actualizar las normativas ecuatorianas sobre los límites máximos permisibles a cerca de los radioisótopos presentes en los alimentos.
- Realizar investigaciones con otras frutas o alimentos de interés comercial o productos de exportación como el cacao, camarones, plátanos etc.
- Al conocer los bajos niveles de radiación de Cs-137 en las frutas deshidratadas, se puede implementar en trabajos experimentales impulsando el emprendimiento para la creación de suplementos alimenticios naturales.

## GLOSARIO

**Fisión nuclear:** Es la reacción nuclear en la que los núcleos pesados son bombardeados por neutrones para dividirlos dando lugar a núcleos intermedios más ligeros y la formación de dos o tres neutrones, creando una reacción en cadena en donde la energía liberada aumenta de manera descontrolada. Este es el principio utilizado para el funcionamiento de bombas y reactores nucleares (Burcham, 2003, p.293).

**Bequereles:** El Bequerel (Bq) es la unidad de medida de la actividad o velocidad de desintegración utilizada en el Sistema Internacional (SI) de unidades, equivalente a 1 desintegración/segundo (Burcham, 2003, p. 289).

**Vida media de desintegración:** La vida media de un radioisótopo se define como aquel tiempo en el que la actividad del radioisótopo disminuye a la mitad de la actividad inicial, es decir, el tiempo que transcurre para que el número de radionucleidos decaiga a la mitad del número inicial (Alavi et al., 2018, pp.49-55).

**Decaimiento radioactivo:** Fenómeno de radiactividad que se produce en los núcleos radiactivos naturales, que por su composición inestable se convierte o decae espontáneamente al emitir partículas y/o radiación gamma transformándose en una configuración más estable. Los núcleos generados artificialmente también pueden descomponerse por fisión espontánea, emisión de neutrones e incluso emisión de protones y iones pesados. Ambos procesos de descomposición están sujetos a la misma ley básica (DiGregorio, 2020, pp.1-3).

## BIBLIOGRAFÍA

**ADANI.** *Operation Manual Rug 91-2*. Shenzhen-China: LINEV Group, 2013, pp. 91-92.

**AGUAYO, A.** *Evidencias de Cesio-137 en canales y chinampas de Xochimilco; Implicaciones ambientales* [en línea]. DF-México: Universidad Autónoma de México, 2008, p. 24. [Consulta: 14 octubre 2021]. Disponible en: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/76309>.

**ALAVI, S.; et al.** "Calculation of proton radioactivity half-lives". *Nuclear Physics* [en línea], 2018, (Irán) 977(1), pp. 49-55. [Consulta: 12 abril 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2018.06.001>

**ARIAS, Daniela; et al.** *Evaluación del potencial de uso de epicardio de maracuyá deshidratado (Passiflora edulis f. flavicarpa O. Deg.) en la formulación de yogurt* [en línea], 2019, (Bogotá-Colombia), p. 2. [Consulta: 17 noviembre 2021]. Disponible en: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1094782>

**ARIAS, Elizabeth; et al.** "Análisis de los Flujos Comerciales de Maracuyá (Fruta Fresca y derivados) con incidencia hacia los mercados de Europa y Estado Unidos". *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana* [en línea], 2019, (Guayaquil-Ecuador), pp. 1-14. [Consulta: 17 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/oel/2019/12/flujos-comerciales-maracuya.html>.

**ATSDR.** "Reseña Toxicológica del Cesio". *Agencia de Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades* [en línea], 2004, (Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.U), pp. 1-8. [Consulta: 3 diciembre 2021]. Disponible en: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs157.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs157.pdf).

**BADILLO, V. & PÉREZ, A.** *Los desechos nucleares: ¿de dónde vienen y hacia dónde van?* [en línea]. México: Ciencia, 2004. pp. 63-70. [Consulta: 12 diciembre 2021]. Disponible en: [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55\\_2/desechos\\_nucleares.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_2/desechos_nucleares.pdf).

**BERGMAN, C. & PETERSON, B.** "Aplicaciones de las radiaciones y gestión de desechos: Adopción de medidas definitivas". *Crónicas* [en línea], 1994, (Viena-Austria), pp. 36-40. [Consulta: 26 noviembre 2021]. Disponible en: [https://www.iaea.org/sites/default/files/36104683640\\_es.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/36104683640_es.pdf).

**BERZEWSKI, H. & PAJONK, F.** *Suicide-suicide attempts-suicidal ideation. Consejo de Seguridad Nuclear*, n° 325 (2012), (Madrid) pp. 5-20.

**BIRKS, B.** *The Theory and Practice of Scintillation Counting. Physics Today* [en línea]. Manchester-Inglaterra: Pergamon Press Ltd., 1965. p. 69. [Consulta: 15 enero 2022]. ISSN 0031-9228. DOI 10.1063/1.3047620. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=bNIgBQAAQBAJ&pg=PA16&hl=es&source=gbs\\_selected\\_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=bNIgBQAAQBAJ&pg=PA16&hl=es&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false)

**BRITO, Beatriz; et al.** "Uvilla (*Physalis peruviana* L.). Características físicas y nutricionales de la fruta importantes en la investigación y elaboración de pulpas, jugos, concentrados y postres". *INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Nutrición y Calidad* [en línea], 2008, (Quito-Ecuador), p. 3. [Consulta: 15 noviembre 2021]. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2623>

**BROWN, Theodore., et al.** *Química la ciencia central* [en línea]. México: Editorial Pearson Educación, Ed 11, 2014, p. 878. [Consulta: 11 mayo 2022]. Disponible en: [https://www.academia.edu/42767205/Qu%C3%ADmica\\_La\\_ciencia\\_central\\_Brown\\_11a\\_Edici%C3%B3n](https://www.academia.edu/42767205/Qu%C3%ADmica_La_ciencia_central_Brown_11a_Edici%C3%B3n).

**BURCHAM, W.** *Física nuclear* [en línea]. Barcelona, España: Reverté, 2013. pp: 223-337. [Consulta: 23 noviembre 2021]. ISBN 842914031X. Disponible en: <https://books.google.com/books?id=UCCqhTGyxJQC&pgis=1>.

**CABRERA, E.** *Proyecto de la Factibilidad para crear una empresa productora y exportadora de kiwi orgánico deshidratado para el mercado japonés, ubicado en el sector Salcedo en la provincia de Cotopaxi* [en línea] (Trabajo de Titulación). (Grado). Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Empresas, Comercio Exterior. (Quito-Ecuador). 2013. pp. 4-8. [Consulta: 15 noviembre 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4993>

**CANOBA, A.; et al.** *Determinación del fallout atmosférico en la República Argentina.* [en línea]. Argentina: Autoridad Regulatoria Nuclear Argentina, 1998. pp.1-4 [Consulta: 30 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/662957>

**CAMACHO NINABANDA, Alex., & PUCHA AMANCHA, Gilson.** *Caracterización de radionucleidos presentes en el suelo de la provincia de Chimborazo.* [en línea], 2018, (Riobamba-Ecuador: ESPOCH), p. 59. [Consulta: 3 de junio 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/8970>.

**CARREGADO, M. & TRUJILLO CERDA, L.** *Accidentes e Incidentes en el Area Nuclear ocurridos en América Latina y el Caribe. Recopilación Bibliográfica.* [en línea]. Buenos Aires, Argentina: CNEA, 2001. pp. 39-41. [Consulta: 3 de marzo 2022]. ISBN 987-97059-7-1. Disponible en: <https://www.foroiberam.org/documents/193375/199940/Accidents+and+incidents+in+the+nuclear+area+occurred+in+Latin+American+and+Caribbean++Bibliographical+compilation+Accidentes+e+incidentes+en+el+area+nuclear+ocurridos+en+America+Latina+y+el+Caribe++Recop> i.

**CUICHAN, A.** *Elaboración de néctar de uvilla (*Physalis peruviana* L.) con adición de L-Carnitina y análisis de su estabilidad como producto comercial* [en línea] (Trabajo de Investigación). (Grado). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Químicas. (Quito-Ecuador). 2013. p. 2 [Consulta: 15 noviembre 2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2137>

**CORPEI.** *Frutas Exóticas Ecuatorianas en Mercados Internacionales* [blog]. Guayaquil-Ecuador, 2019 [Consulta: 30 enero 2021]. Disponible en: <https://corpei.org/2019/01/02/frutas-exoticas-ecuatorianas-en-mercados-internacionales/#:~:text=Adem%C3%A1s%20del%20banano%2C%20Ecuador%20registra,%2C%20tomate%20de%20C%20A1rbo%20guan%C3%A1bana>.

**DIGREGORIO, D.** *Discovery of Radioactivity. In Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences* [en línea], 2020, (Buenos Aires-Argentina) pp. 1-3. [Consulta: 15 abril 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12168-2>.

**DUNN, L. & MCGREGOR, S.** "Gamma-Ray Detectors". *Springer-Verlag Berlin Heidelberg* [en línea], 2012, (Manhattan-United States), pp. 422-440. [Consulta: 25 enero 2022]. Disponible en: ISBN: 978-3-642-13270-4

**FAO.** "Frutas y verduras – esenciales en tu dieta Año Internacional". *Food and Agriculture Organization of The United Nations* [en línea], 2020, (Roma) pp. 2-4. [Consulta: 20 de enero 2022]. ISBN 9789251337134. Disponible en: <https://doi.org/10.4060/cb2395es>.

**GUERRERO, G.** *La producción del mango ecuatoriano* [en línea], 2018, (Ecuador), pp. 1-6. [Consulta: 15 noviembre 2021]. Disponible en: [https://perspectiva.ide.edu.ec/investiga/wp-content/uploads/2018/06/Perspectiva-Junio-2018\\_1-P.pdf](https://perspectiva.ide.edu.ec/investiga/wp-content/uploads/2018/06/Perspectiva-Junio-2018_1-P.pdf)

**GAONA, Pablo et al.** *Respuesta del cultivo de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) cultivar “Colombiana” al suministro de nitrógeno y potasio por fertirriego* [en línea], 2020, (Quito-Ecuador), p. 1. [Consulta: 16 noviembre 2021]. Disponible en: <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/149/265>

**GONZALES, E., & BONZI, E.** *Determinación de K-40 en alimentos por espectrometría gamma con un detector de NaI(Tl) y simulaciones Monte Carlo* [en línea], 2012, (Cordoba-Argentina), p. 185. [Consulta: 25 mayo 2022]. Disponible en: <https://anales.fisica.org.ar/journal/index.php/analesafa/article/view/1029/933>

**HUACHI, Laura; et al.** *Desarrollo de la pitahaya (*Cereus SP.*) en Ecuador* [en línea], 2015, (Quito-Ecuador), pp: 1-7. [Consulta: 16 noviembre 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es>

**INIAP.** *Alternativas tecnológicas para la producción agropecuaria sostenible en la amazonia Ecuatoriana* [en línea], 2018, (Orellana-Ecuador), pp. 1-5. [Consulta: 10 noviembre 2021]. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5339/3/iniapca01.pdf>.

**NTE INEN-CODEX 193:2013.** *Norma general para los contaminantes y toxinas en alimentos según la Norma Técnica Ecuatoriana* [en línea], p. 46. [Consulta: 28 noviembre 2021]. Disponible en: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_codex\\_193.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_codex_193.pdf).

**INSTITUTO DE PROMOCIÓN DE EXPORTACIONES E INVERSIONES.** *Análisis sensorial de papaya en Pro Ecuador* [en línea], 2015, (Quito-Ecuador), pp: 3-5. [Consulta: 16 noviembre 2021]. Disponible en: <https://xdoc.mx/preview/papaya-2015-pro-ecuador-5c9a8741c9ab>

**ISHIKAWA, T. Long.** “Term changes in body potassium concentration and dose from 40K for a Japanese adult male group”. *Health Phys*, vol. 78. pp. 420- 433. 2000.

**KNOLL, G.F.** *Radiation Detection and Measurement* [en línea], 2017, (Michigan-United States of America: John Wiley & Son, Inc), 4a ed., p. 223. [Consulta: 15 febrero 2022]. Disponible en: ISBN 9780470131480, pp. 223-416.

**L'ANNUNZIATA, M.** "Solid scintillation analysis". *Elsevier Inc* [en línea], 2003, (California-United States of America), p. 897. [Consulta: 15 marzo 2022]. Disponible en: ISBN 9780080495057 DOI 10.1016/B978-012436603-9/50016-8.

**LE BELLET, A.** *Jornadas de ciencia hortícolas* [en línea], 2006, (Quito-Ecuador), pp: 13. [Consulta: 14 noviembre 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v10n1/v10n1a1.pdf>

**LÓPEZ, M.** "Isótopos y radioisótopos". *Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 4* [en línea], 2020, (Hidalgo-México) 8 (16), pp. 33-36. [Consulta: 14 noviembre 2021]. DOI 2007-4905. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/article/view/6132>.

**LYNCH, T.; et al.** "Estimated potassium content in Hanford workers". *Radiat. Prot. Dosim.* [en línea], 2004, (Rusia) 111. pp. 319. [Consulta: 15 noviembre 2021]. DOI 10.1093/rpd/nch345. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15266079/>

**MARTINEZ LÓPEZ, Marlon., & PUERMAN FUENTES, Carmen.** *Determinación de índices alfa y gamma de granitos comunmente usados como materiales de construcción en la ciudad de Riobamba* [en línea], 2021, (Riobamba-Ecuador), pp. 3-48. [Consulta: 4 febrero 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15049>

**MARTIN, F.** *Los distintos métodos de conservación de los alimentos: por desecación o deshidratación* [en línea], 2017, (España), p. 5. [Consulta: 12 diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.restauracioncolectiva.com/n/metodos-de-conservacion-de-los-alimentos-por-desecacion-parte-iii>

**MAUPOEY, F. et al.** *Introducción al secado de alimentos por aire caliente* [en línea], 2001, (Valencia-España), p. 10 [Consulta: 20 noviembre 2021]. Disponible en: ISBN 8497050258.

**MICHELIS, A. & OHACO, E.** *Deshidratación y desecado de frutas, hortalizas y hongos. Procedimientos hogareños y comerciales de pequeña escala* [en línea], 2015, (Argentina), pp.4-42 [Consulta: 12 diciembre 2021]. Disponible en [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_cartilla\\_secado.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_cartilla_secado.pdf)

**MCGREGOR, S.** *Semiconductor radiation detectors* [en línea], 2021, (United States: Springer, Cham), p. 473. [Consulta: 15 de enero 2022]. Disponible en: ISBN 978-3-319-93784-7.

**NOM-041-SSA1-1993.** *Normas Oficiales Mexicanas SSA1.* Diario Oficial de la Federación, 1998, pp. 1-21.

**OMC.** "Prohibiciones de importación, y prescripciones en materia de pruebas y certificación relativas a los radionúclidos". *Organización Mundial del congreso*, 2018 (Corea), p. 63.

**ONU.** "Niveles de Intervención derivados para radionucleidos en los alimentos". *Normas aplicables en caso de contaminación radiactiva accidente nuclear grave*, (1989), (Ginebra, Suiza) pp. 45-55.

**REGIGI, N.** *Gamma Ray Spectrometry. Practical Information* [en línea], 2006, (Tunisia-Túnez), p. 22. [Consulta: 15 diciembre 2021], Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/259533588\\_Gamma\\_Ray\\_Spectrometry](https://www.researchgate.net/publication/259533588_Gamma_Ray_Spectrometry).

**RIZZOTTO, Marcos; et al.** "Distribución de Cs-137 y K-40 en árboles de frutas". *Mecánica Computacional* [en línea], 2008, (San Luis- Argentina) XXVII, pp. 2419-2427. [Consulta: 21 febrero 2021]. DOI 2591-3522. Disponible en: <http://venus.santafe-conicet.gov.ar/ojs/index.php/mc/article/view/1568/1533>.

**ROGLÁ, R.** "La radiactividad". *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza*, n° 59 (2004), (España) pp. 47-60. DOI 0370-3207

**SCHELENZ, R. & ABDEL-RASSOUL, A.** *Informe desde Seibersdorf: Mediciones radiológicas tras el accidente de Chernobil. Datos del laboratorio del Organismo en Austria* [en línea], 1986, (Austria: OIEA) pp. 1-4. [Consulta: 30 noviembre 2021]. Disponible en: [https://www.iaea.org/sites/default/files/28306082326\\_es.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/28306082326_es.pdf)

**SCOCCOLA, N.** "Decaimientos Nucleares". *Fisión Nuclear* [en línea], 2004, (Buenos Aires- Argentina): Gerencia de Investigación y Aplicaciones laboratorio Tandam, 7, pp. 1-23. [Consulta: 19 febrero 2022]. Disponible en: <http://www.tandar.cnea.gov.ar/~scoccola/teaching/nuclear/cap7.pdf>.

**STALTER, Richard. & HOWARTH, Dianella.** *Gamma Radiation.* [en línea], 2012, (New York), p. 43. [Consulta: 9 mayo 2022]. DOI 10.5772/34856. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/221929415>.

**SOTO, J.; et al.** "Evolución de los deslizamientos de ladera mediante su caracterización con Cs-137". *Cuaternario y Geomorfología* [en línea], 2002, (México), 16(1-4), pp. 73-81. [Consulta: 17 mayo 2022]. Disponible en: [http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol16/Cuaternario16\(1-4\)\\_08.pdf](http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol16/Cuaternario16(1-4)_08.pdf).

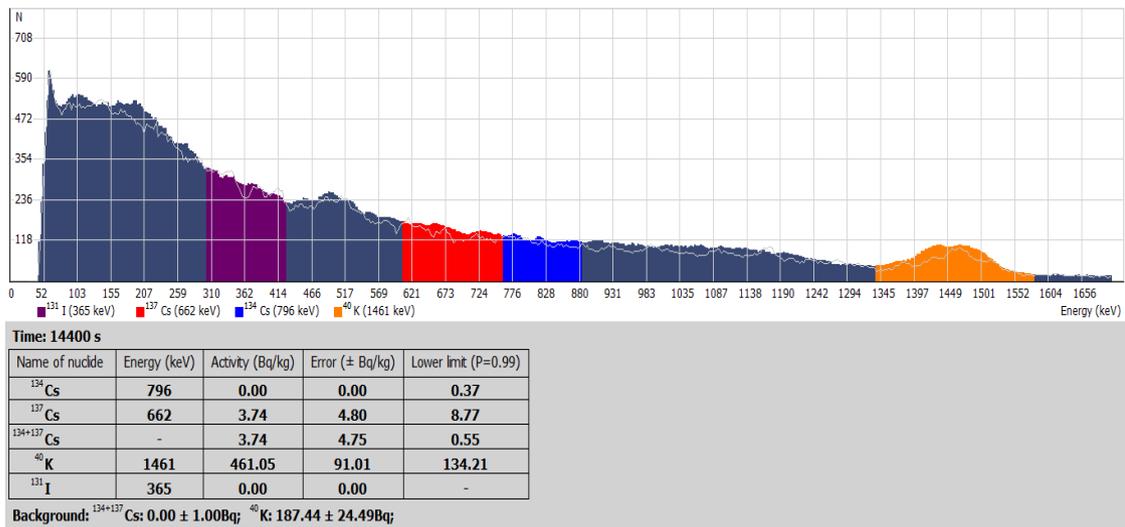
**YADAV, P.; et al.** "Estimation of Concentration of K-40 by Gamma Spectroscopy and Atomic Emission Spectroscopy in the Environmental Samples of Northern Kathmandu Valley". *Journal of Nepal Chemical Society* [en línea], 2013, (Kirtipur-Kathmandu: Nepal), 29(75-80), p. 40. [Consulta: 26 de mayo 2022]. Disponible: <https://doi.org/10.3126/jncs.v29i0.9255>



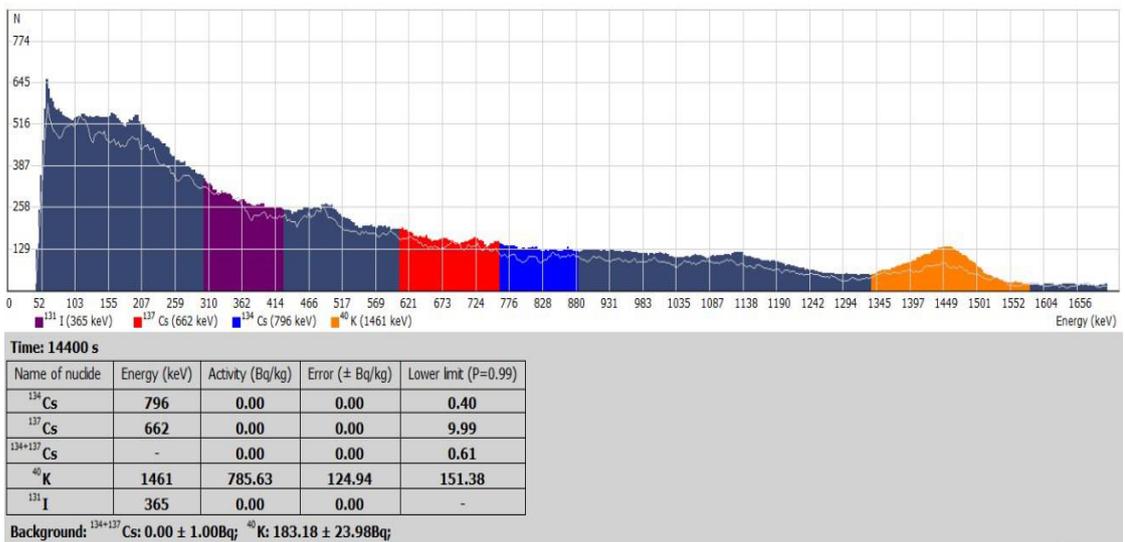
DIRECCION DE BIBLIOTECAS  
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE  
Y LA INVESTIGACION  
 Ing. Jhonatan Ferrero Uquillas MBA  
LIBRARIANO ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

## ANEXOS

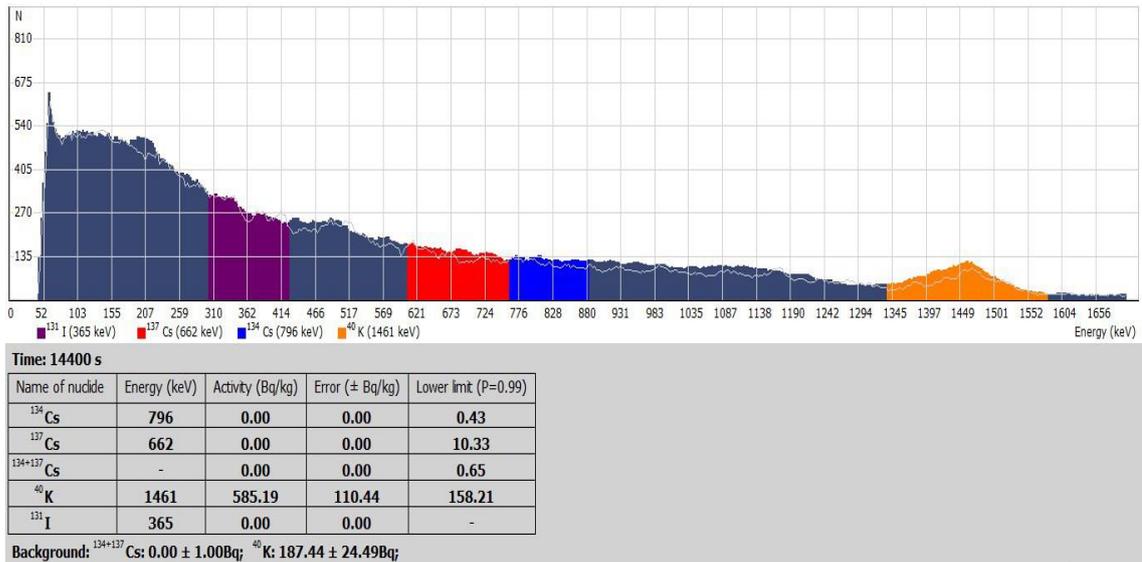
### ANEXO A: RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE ORITO



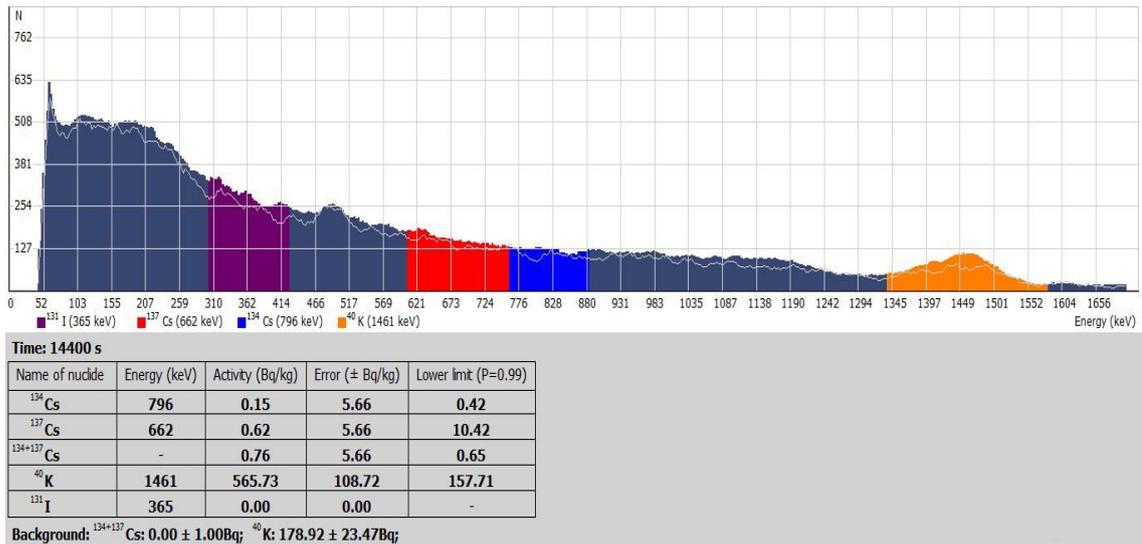
### ANEXO B: RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE GRANADILLA



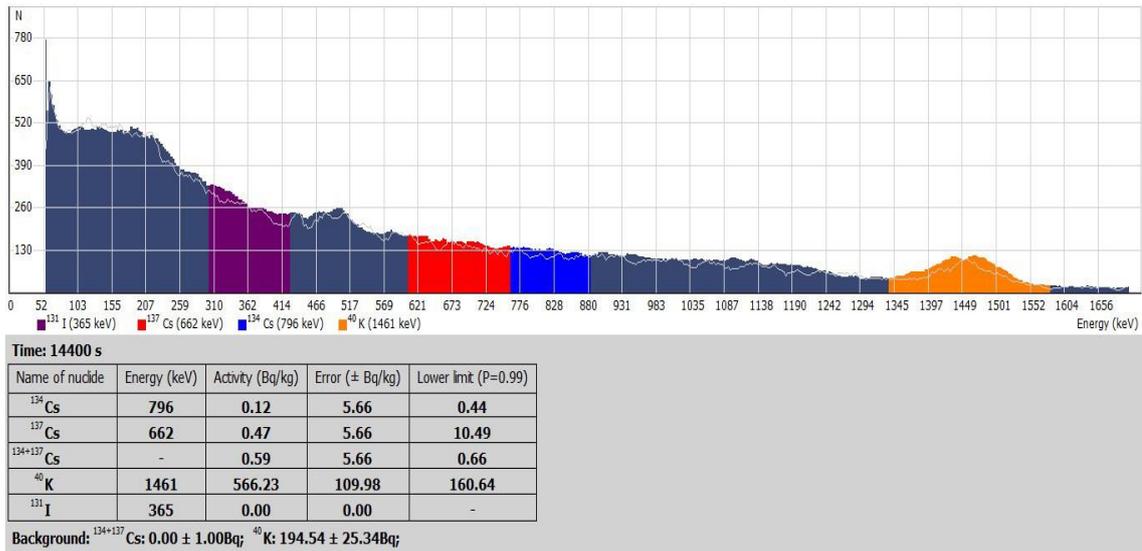
## ANEXO C: RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE GUAYABA



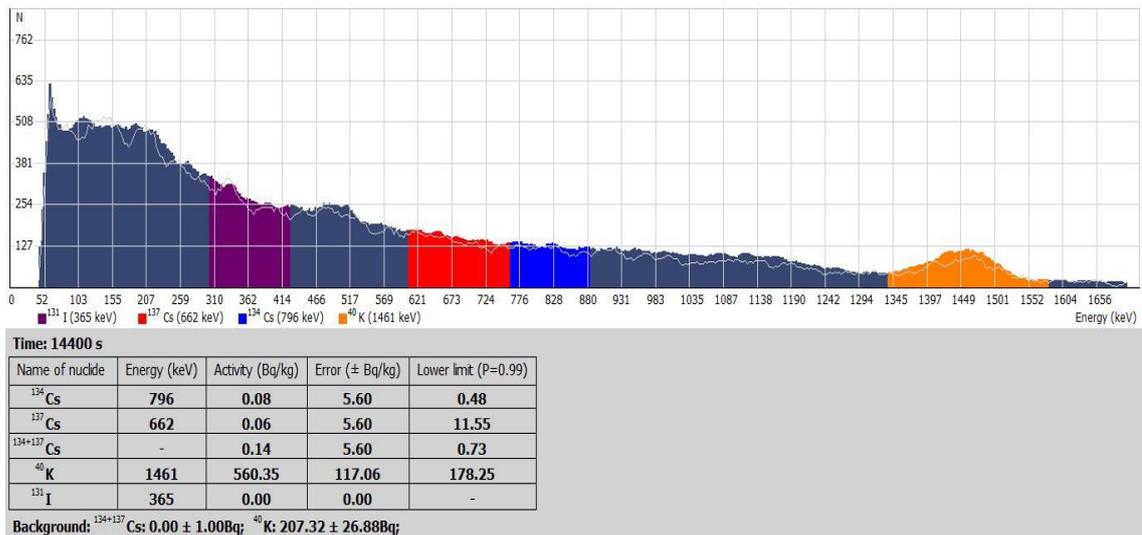
## ANEXO D: RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE KIWI



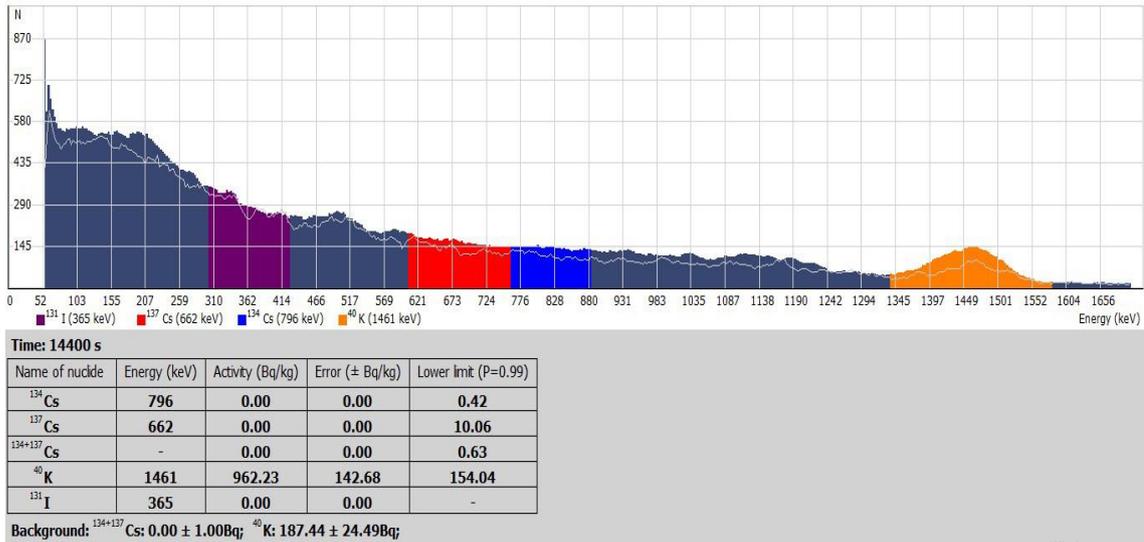
## ANEXO E: RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE PAPAYA



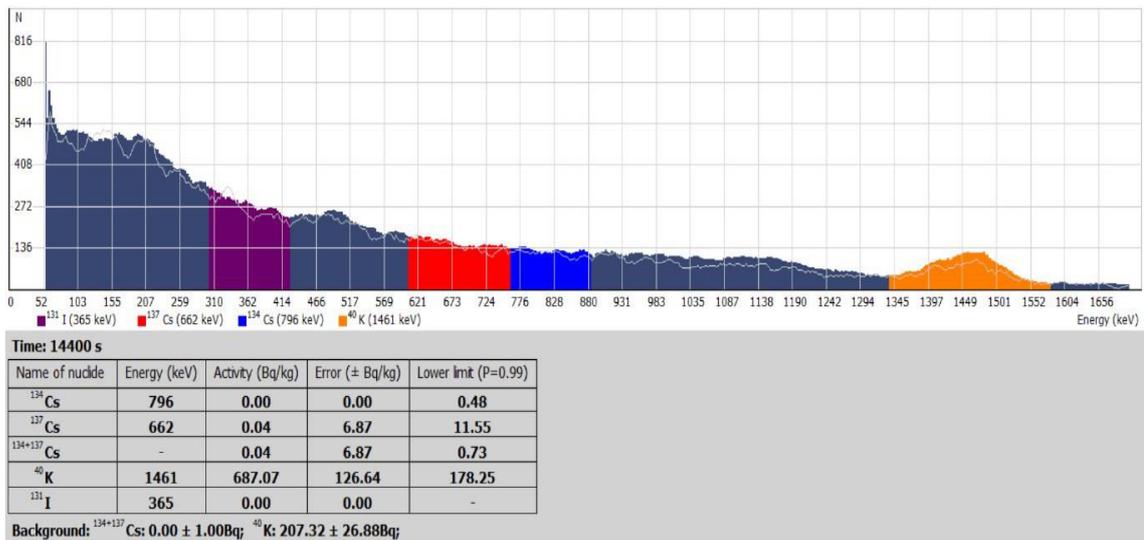
## ANEXO F: RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE MARACUYÁ



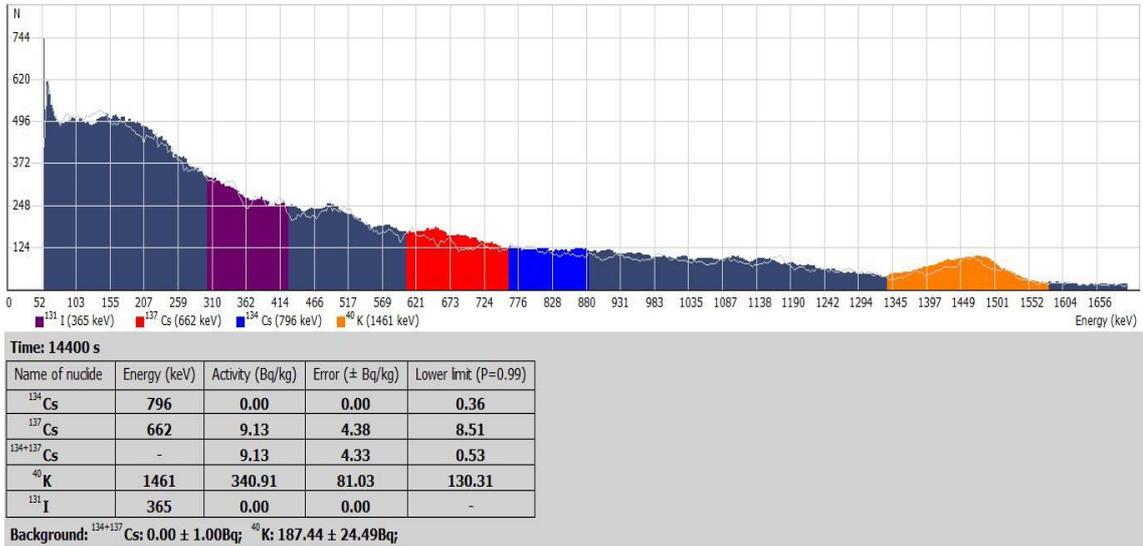
## ANEXO G: RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE TOMATE DE ÁRBOL



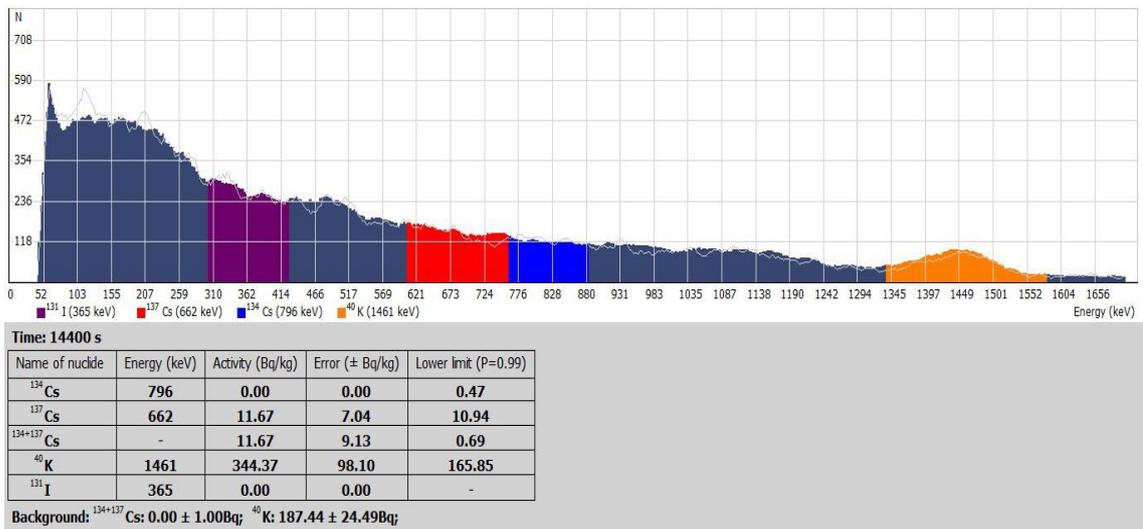
## ANEXO H: RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE UVILLA



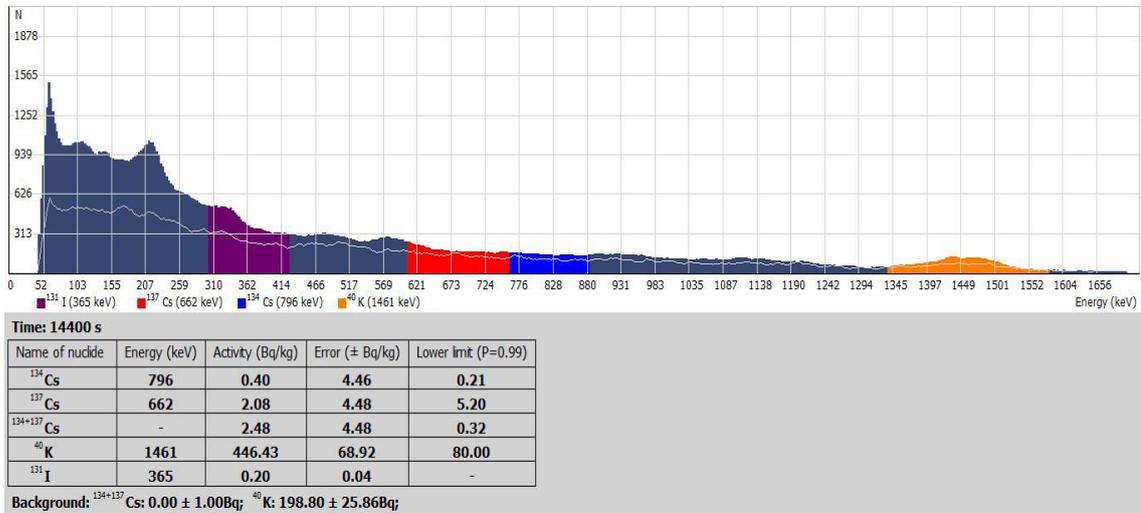
## ANEXO I: RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE MANGO



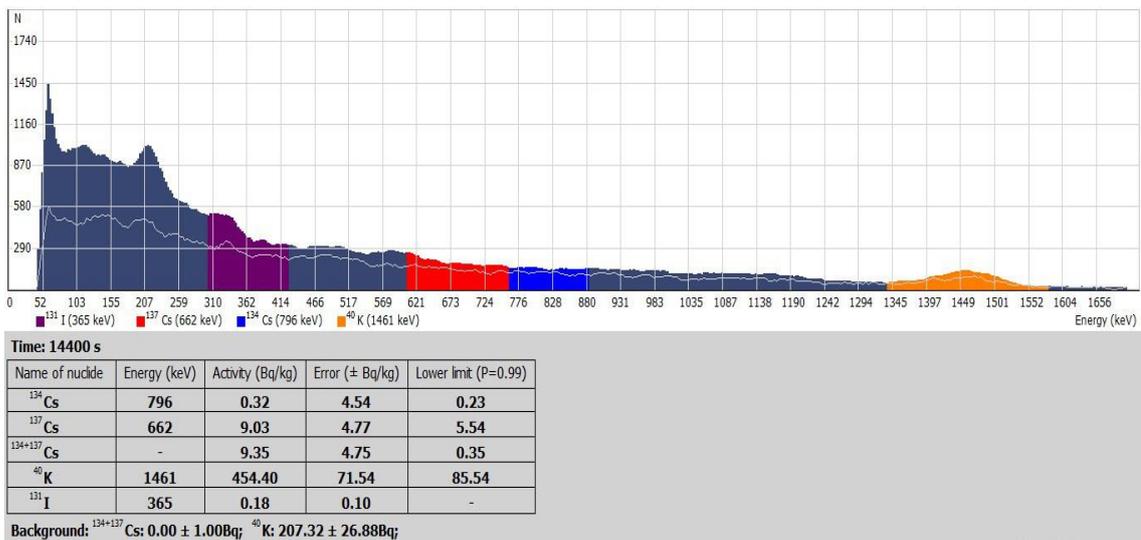
## ANEXO J: RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE PITAHAYA



## ANEXO K: RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE SUELO DE CULTIVO DE UVILLA



## ANEXO L: RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL ESPECTRÓMETRO RUG 91-2 DE LA MUESTRA DE SUELO DE CULTIVO DE MANGO





epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 08 / 07 / 2022

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Melida Yadira Ugenio Gavin  Sergio Javier Revelo Navarrete
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Química
<b>Título a optar:</b> Químico
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.

  
DIRECCION DE BIBLIOTECAS  
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE  
Y LA INVESTIGACION  
 Ing. Jonathan Barreno Cuyillos MBA  
ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

1442-DBRA-UTP-2022