



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA FÍSICA

**“CUANTIFICACIÓN DE YODO-131 Y POTASIO-40 EN FRUTAS
CULTIVADA EN EL ORIENTE ECUATORIANO”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

FÍSICO

AUTOR: DARWIN MIGUEL VELARDE GUAMÁN

DIRECTORA: Dra. JHENY DEL CARMEN ORBE ORDOÑEZ PhD.

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Darwin Miguel Velarde Guamán

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

Yo, Darwin Miguel Velarde Guamán, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 25 de mayo del 2023






Darwin Miguel Velarde Guamán

060411715-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA FÍSICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación, **CUANTIFICACIÓN DE YODO-131 Y POTASIO-40 EN FRUTAS CULTIVADAS EN EL ORIENTE ECUATORIANO**, realizado por el señor: **DARWIN MIGUEL VELARDE GUAMÁN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Biof. Azucena Nataly Bonilla García Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-05-25
Dra. Jheny del Carmen Orbe Ordoñez PhD. DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-05-25
Biof. Rosa Maricela Ormaza Hugo MsC. ASESORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-05-25

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia, por su apoyo incondicional, por cada consejo y confianza que me brindaron en cada momento, en especial a mi madre Martha Guamán, quien me enseñó valores y principios, por no dejarme rendirme. A mis hermanos Ángel, Vinicio Velarde por su apoyo fundamental para poder cumplir mi meta.

Darwin

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos los docentes y personal de la escuela, quienes me impartieron sus conocimientos semestre a semestre. Además, quisiera agradecer a la Dra. Jheny Orbe, la tutora de mi tesis, quien me dio confianza para poder realizar el trabajo de titulación, también a la Biof. Rosa Ormaza, Miembro de mi trabajo de grado en la institución y docente de diversas disciplinas, quienes me han guiado de la mejor manera por muchos años, el camino como estudiante y en este trabajo.

Darwin

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
SUMMARY.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	2
1.1. Radiactividad en alimentos.....	2
1.2. Radionucleidos.....	2
1.3. Actividad específica.....	3
1.4. Período de semidesintegración.....	3
1.5. Yodo-131.....	3
1.5.1.1. Cadena de desintegración del Yodo-131.....	3
1.5.1.2. Afectación a la salud del Yodo-131.....	4
1.6. Potasio-40.....	5
1.6.1. Cadena de desintegración del Potasio-40.....	5
1.6.2. Afectación a la salud del Potasio-40.....	6
1.7. Espectrometría gamma.....	7
1.8. Detectores centelladores.....	7
1.8.1. Centellador de NaI (TI).....	8
1.8.2. Interacción de la radiación gamma con el centellador.....	9
1.9. Bases legales.....	10
1.9.1. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN-CODEX 193:2013.....	10
1.10. Diversidad frutal en el Oriente Ecuatoriano.....	11
1.10.1. Piña (<i>ananas comosus</i>).....	11
1.10.2. Guayaba (<i>psidium guajava</i>).....	11
1.10.3. Plátano (<i>musa acuminata</i>).....	11
1.10.4. Papaya (<i>carica papaya</i>).....	11
1.10.5. Pitahaya (<i>cereus sp</i>).....	12
1.10.6. Toronja (<i>citrus paradisi</i>).....	12
1.10.7. Aguacate (<i>Parsea americana</i>).....	12

1.10.8.	<i>Naranjilla (Solanum Quitoense)</i>	13
1.10.9.	<i>Limón meyer (Citrus Meyeri)</i>	13
1.10.10.	<i>Chontaduro (Bactris Gasipaes)</i>	13

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	14
2.1.	Tipo y Diseño de investigación	14
2.2.	Método de muestreo	14
2.3.	Localización del estudio	14
2.4.	Procedimiento de preparación de las muestras	15
2.5.	Recolección y tratamiento de muestra de suelos del área de cultivo	19
2.6.	Instrumentación utilizada para el análisis de radiación gamma	20
2.7.	Procedimiento de medición de la concentración de la actividad específica de Yodo-131 y Potasio-40 en las muestras	24

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
3.1.	Concentración de la actividad específica en fruta y suelo de cultivo	27
3.2.	Discusión	33

	CONCLUSIONES	35
--	---------------------------	----

	RECOMENDACIÓN	36
--	----------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3:	Concentración de la actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en la piña y el suelo de cultivo.....	27
Tabla 2-3:	Concentración de actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en la guayaba y el suelo de cultivo	28
Tabla 3-3:	Concentración de actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en el plátano y el suelo de cultivo.....	28
Tabla 4-3:	Concentración de actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en la papaya y el suelo de cultivo	29
Tabla 5-3:	Concentración de actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en la pitahaya y el suelo de cultivo	29
Tabla 6-3:	Concentración de actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en la toronja y el suelo de cultivo	30
Tabla 7-3:	Concentración de actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en el aguacate y el suelo de cultivo.....	30
Tabla 8-3:	Concentración de actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en la naranjilla y el suelo de cultivo.....	31
Tabla 9-3:	Concentración de actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en el limón meyer y el suelo de cultivo	31
Tabla 10-3:	Concentración de actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en el chontaduro y el suelo de cultivo	32

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1:	Decaimiento beta de Yodo-131	4
Ilustración 2-1:	Decaimiento beta de Potasio-40.....	6
Ilustración 3-1:	Estructura de bandas de energía de un cristal centellador activado con impurezas	8
Ilustración 4-1:	Esquema de la estructura de un fotomultiplicador y sus componentes.....	10
Ilustración 1-2:	Mapa de la provincia de Pastaza.....	15
Ilustración 2-2:	Recolección de frutas en la zona de cultivo.....	16
Ilustración 3-2:	Pelado y corte de la fruta	17
Ilustración 4-2:	Deshidratación de las muestras	17
Ilustración 5-2:	Trituración de muestras deshidratadas.....	18
Ilustración 6-2:	Tamizaje granulometría de 500 micrones.....	18
Ilustración 7-2:	Recolección de la muestra de suelo del área de cultivo.....	19
Ilustración 8-2:	Radiómetro ADANI Rug 91-2.....	20
Ilustración 9-2:	Esquema general del radiómetro Rug 91-2.....	21
Ilustración 10-2:	Interfaz gráfica del Rug 91-2.....	23
Ilustración 11-2:	Análisis de muestras en el.....	26
Ilustración 1-3:	Actividad específica de Potasio-40 en diez frutas del Oriente Ecuatoriano .	32
Ilustración 2-3:	Poder de absorción de Potasio-40 en diez muestras planta-suelo	33

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE PIÑA
- ANEXO B:** RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE PLÁTANO
- ANEXO C:** RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE LIMÓN MEYER
- ANEXO D:** RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE CHONTADURO
- ANEXO E:** RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE GUAYABA
- ANEXO F:** RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE PAPAYA
- ANEXO G:** RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO DE CULTIVO DE PIÑA
- ANEXO H:** RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO DE CULTIVO DE GUAYABA
- ANEXO I:** RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO DE CULTIVO DE PLÁTANO
- ANEXO J:** RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL RADIÓMETRO ADANI RUG 91-2 DE UNA MUESTRA FRUTAL
- ANEXO K:** RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL RADIÓMETRO RUG 91-2 DE UNA MUESTRA DE SUELO DE CULTIVO

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar la concentración de la actividad específica de Yodo-131 y Potasio-40 en diez frutas y suelos de cultivo del Oriente Ecuatoriano mediante espectrometría gamma. Las muestras se prepararon en cinco fases: recolección, pelado, deshidratación, trituración y tamizaje. El análisis se realizó en el laboratorio de Técnicas Nucleares de la ESPOCH, utilizando el radiómetro Rug 91-2, con un tiempo de adquisición de 4 horas, con tres repeticiones por muestra. Los resultados de las mediciones mostraron que el Yodo-131 no se encuentra presente en ninguna de las diez frutas estudiadas, mientras que, la concentración de la actividad específica más alta de Potasio-40 se observó en la pitahaya (626 Bq/Kg), y el valor más bajo en el chontaduro (304,65 Bq/Kg). La capacidad de absorción de Potasio-40 de las plantas frutales, es variable, el limón meyer, la toronja, la guayaba y el chontaduro presentaron porcentajes de absorción mayores a 90%, el aguacate, la piña y el plátano mostraron porcentajes de absorción mayores a 80%, la pitahaya, la naranjilla y la papaya porcentajes de absorción mayores a 70%. Se recomienda ampliar la base de datos sobre la presencia de Yodo-131 y Potasio-40 en otros alimentos como vegetales, legumbres, entre otros, con un análisis complementario de los suelos de cultivo.

Palabras clave: < INVESTIGACIÓN >, < CONCENTRACIÓN >, < YODO-131 >, < POTASIO-40 >, < ESPECTROMETRÍA GAMMA >, < FRUTAS >, < SUELOS DE CULTIVO >, < AMAZONIA (REGIÓN) >.



1197-DBRA-UPT-2023

SUMMARY

The objective of this research was to determine the concentration of the specific activity of Iodine-131 and Potassium-40 in ten fruits and cultivated soils from Eastern Ecuador by gamma spectrometry. The samples were prepared in five stages: collection, peeling, dehydration, crushing and sieving. The analysis was carried out in the ESPOCH Nuclear Techniques laboratory, using the Rug 91-2 radiometer, with an acquisition time of 4 hours, with three repetitions per sample. The results of the measurements showed that Iodine-131 is not present in any of the ten fruits studied, while the highest specific activity concentration of Potassium-40 was observed in the pitahaya (626 Bq/kg), and the lowest value in the chontaduro (304.65 Bq/kg). The absorption capacity of potassium-40 of fruit plants is variable, with meyer lemon, grapefruit, guava and chontaduro showing absorption percentages higher than 90%, avocado, pineapple and banana showing absorption percentages higher than 80%, and pitahaya, naranjilla and papaya showing absorption percentages higher than 70%. It is recommended to expand the database on the presence of Iodine-131 and Potassium-40 in other foods such as vegetables, legumes, among others, with a complementary analysis of the cultivated soils.

Keywords: < RESEARCH>, <CONCENTRATION>, <IODINE-131>, <POTASSIUM-40>, <GAMMA SPECTROMETRY>, <FRUITS>, <CROP SOILS>, <AMAZONIA (REGION)>.



Dra. Carmita Eulalia Rojas Castro Mgs.

060289046-9

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), busca garantizar y proteger la inocuidad alimentaria para así resguardar la salud de las personas, esta entidad controla cuidadosamente la calidad de los alimentos ante riesgos microbiológicos, residuos de plaguicidas, contaminantes químicos y contaminantes radiactivos como el Yodo-131 y Potasio-40, ambos son radiactivos. El Potasio-40 se encuentra de forma natural y altas cantidades en el suelo y desde allí pasa a los cultivos por las raíces hasta a la planta y finalmente al fruto, es el radionucleido más frecuente en las frutas además se encuentra en pequeñas cantidades en el cuerpo humano ya que es esencial para el funcionamiento normal del mismo y no representa un riesgo para salud (ACSA-UAB, 2019, p27). A lo contrario el Yodo-131 en altos niveles de radiación en frutas a corto plazo pueden originar efectos agudos tales como caída de cabello, quemaduras, enrojecimiento de la piel, síndrome de irradiación aguda, a largo plazo dañan las células, órganos y tejidos. Todos estos efectos son peligrosos ya que pueden causar cáncer e inclusive la muerte del consumidor (OIRSA, 2018, p.8).

En la actualidad se ha confirmado la presencia de elementos radiactivos en los alimentos, estos radionucleidos fueron resultantes de accidentes nucleares y otras fuentes radiactivas. Su transporte a algunas partes del planeta se facilitó por las corrientes de aire, agua y lluvia, así provocando la contaminación de suelos y posteriormente absorbidas por las plantas y sus frutos (Publitec S.A., 2022, p.13).

En Oriente Ecuatoriano existe una gran diversidad frutal gracias a su clima tropical, sin embargo, no se han realizados investigaciones acerca de la contaminación radiactiva en frutas. En base a esta problemática la actual investigación tiene el propósito de determinar la concentración de la actividad específica de Yodo-131 y Potasio-40 en diez frutas del Oriente Ecuatoriano y en el suelo donde fueron cultivadas. El equipo utilizado para la determinación de la concentración de la actividad específica de Yodo-131 y Potasio-40, es el radiómetro gamma ADANI Rug 91-2, disponible en el laboratorio de Técnicas Nucleares de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). 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).

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Radiactividad en alimentos

La radiactividad en los alimentos puede ser causada por la contaminación radiactiva en el aire, el suelo o el agua utilizada en la agricultura, también puede ser el resultado de actividades humanas como la minería, la generación de energía nuclear, accidentes nucleares. Los alimentos pueden emitir radiactividad de manera natural al incorporar elementos radionucleidos provenientes de la tierra, a los cuales se los conoce como radionucleidos y los más frecuentes en alimentos son: Potasio-40, Carbono-14, Radón-226 y Uranio-238, estos elementos ingresan al cuerpo con la dieta diaria (ATSDR, 1999, p.11).

Hay otros radionucleidos que son perjudiciales para la salud humana como el Yodo-131, Cesio-134, Cesio-137, estos pueden causar daño celular, cáncer y otros problemas. Aunque la dosis ingerida sea muy baja, la contaminación radiactiva tiene alto interés toxicológico debido a que el cuerpo humano no tiene mecanismos de descontaminación. Además, algunos radionucleidos poseen afinidad por ciertos tejidos por lo que se acumulan gradualmente en ellos (International Atomic Energy Agency , 2016, p.3).

Es importante tener en cuenta que no todos los alimentos contienen niveles peligrosos de radiación. Los organismos reguladores de cada país establecen límites seguros para la radiación en los alimentos y realizan pruebas para garantizar que los alimentos no excedan estos límites (Agencia española de seguridad alimentaria y nutrición, 2020, p.11)

1.2. Radionucleidos

Los radionucleidos también conocidos como isótopos radiactivos son elementos que emiten radiación. Se clasifican principalmente por el tipo de radiación que emite (partículas alfa, partículas beta, rayos gamma, neutrones) (LANENT, 2010, p.22).

Hay radionucleidos naturales y artificiales, los naturales provienen de la corteza terrestre o son producidos por los rayos cósmicos que interactúan con la atmósfera terrestre, mientras que los artificiales son producidos principalmente en reactores nucleares o aceleradores de partículas (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2023, p.9).

1.3. Actividad específica

Conocida como la concentración de actividad específica se refiere a la cantidad de actividad emitida por una determinada cantidad de átomos de un radionucleido en particular cuya magnitud mide la radiactividad en unidades de Bequereles por kilogramo de materia (Bq/ kg) (Roglá, 2004, pp.47-60).

1.4. Período de semidesintegración

El período de semidesintegración o periodo $T_{1/2}$, que es el tiempo necesario para que un número N_0 , de átomos radiactivos iniciales puedan desintegrarse, reduciéndose a la mitad (María del Pilar, Vanesa Calvino & Antonio López, 2018, pp.57-59), teniendo así la ecuación:

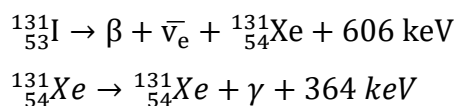
$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\lambda}{\ln(2)}$$

1.5. Yodo-131

El Yodo-131 es un isótopo radiactivo no se encuentra de forma natural, se produce a partir de la fisión nuclear, utilizado para tratamiento del cáncer de tiroides, así como en el diagnóstico y tratamiento de otras condiciones como el hipertiroidismo, se monitorea su presencia como indicador de la contaminación alimentaria en caso de accidentes nucleares o radiológicos (Berezia, 2008, p.1). Su presencia en las frutas es muy poco probable, si las frutas están expuestas niveles elevados a este radionucleido en breve plazo puede aumentar el riesgo de cáncer y otros problemas de salud (D. K. Teherani, 1987, pp.409-414).

1.5.1.1. Cadena de desintegración del Yodo-131

El Yodo-131 se desintegra por emisión beta negativa y gamma con una vida media de 8,02 días y desaparece en pocas semanas. Este nucleido de Yodo tiene 78 neutrones en su núcleo, en comparación con los 74 neutrones del único nucleido estable, el Yodo-127. Cuando el Yodo-131 decae, la mayor parte del tiempo convierte su energía de decaimiento de 971 keV en Xenón-131 estable en dos pasos, con el gamma decayendo rápidamente después del decaimiento beta:



La desintegración del Yodo-131 emite principalmente rayos gamma de diferentes energías, siendo las de mayor probabilidad las de 364 y 637 keV (2.1) y emisor de partículas beta con diferentes energías, siendo la máxima de 606 keV (1.1) (Guijarro, 2015, p.55). La desintegración beta también produce antineutrino, que transportan cantidades variables de energía de desintegración beta. Los electrones penetran en los tejidos biológicos de 0,6 a 2 mm debido a su alta energía promedio (190 keV, con un espectro típico de desintegración beta) (Barredo, 2010, pp.23-24). El esquema de desintegración se muestra en la ilustración 1-1.

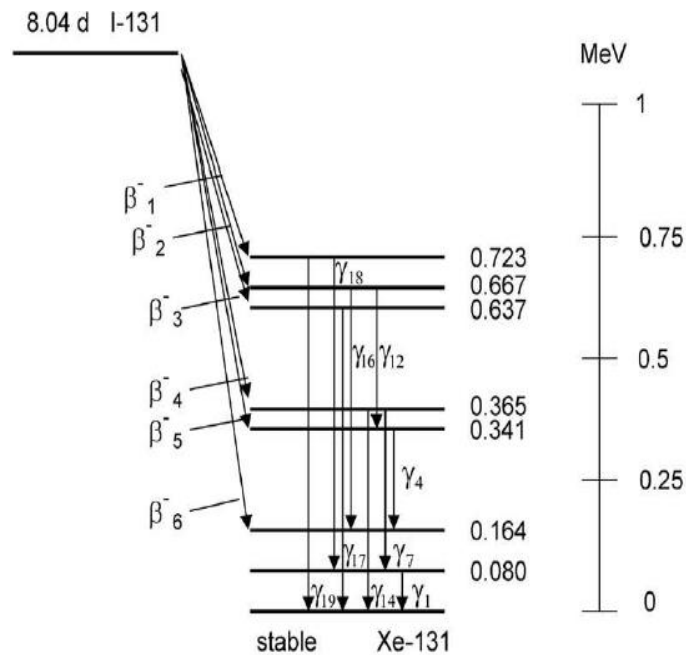


Ilustración 1-1: Decaimiento beta de yodo-131

Fuente: (Barredo, 2010)

1.5.1.2. Afectación a la salud del Yodo-131

La exposición al Yodo-131 puede causar daño a la salud humana debido a su capacidad para ionizar las células y causar daño celular. Puede afectar negativamente la glándula tiroides y aumentar el riesgo de cáncer de tiroides, especialmente en niños y adolescentes. Además, puede tener efectos a largo plazo en la fertilidad, tejidos y otros órganos del cuerpo, incluyendo el sistema nervioso, el sistema cardiovascular y el sistema reproductivo. Debe evitarse en la medida de lo posible estar expuesto al Yodo-131 para no sufrir alteraciones que puedan afectar a todo el cuerpo, especialmente en grupos de mayor riesgo como niños y mujeres embarazadas (ATSDR, 2004, pp.4-5). Según la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) la dosis coincidiera como límite reglamentario es de 1 mSv/año.

1.6. Potasio-40

El Potasio-40 es la principal fuente de radiación que produce el cuerpo humano a través de la ingesta de alimento, se encuentra de manera natural en la corteza terrestre, se encuentra en concentraciones relativamente altas en el suelo representa el 0.012% de todo el Potasio existente en la naturaleza.

La cantidad de Potasio-40 presente en las frutas varía según la especie y la región de cultivo, el plátano contiene una cantidad relativamente alta de este isótopo en comparación con otras frutas, pero generalmente es bastante baja y no representa un riesgo significativo para la salud humana. De hecho, es necesario para el funcionamiento normal del cuerpo humano y se encuentra naturalmente en nuestros tejidos. Es importante tener en cuenta que el Potasio es un nutriente esencial para el cuerpo humano y es importante incluirlo en una dieta equilibrada (FAO, 1993, pp.7-8).

1.6.1. Cadena de desintegración del Potasio-40

El Potasio-40 es un radionucleido primordial, utilizado para la datación radiométrica para determinar la edad de rocas y minerales, tiene una vida media muy larga de 1.27×10^9 años, una vez que transcurre este período se desintegra en dos isótopos estables de forma ramificada, estos elementos radiactivos suelen denominarse radionucleidos de desintegración directa o discontinua (González & Bonzi, 2012, pp.185-188).

La forma natural del decaimiento del núcleo de Potasio-40 a Argón-40 estable, la desintegración se efectúa en dos modos: captura electrónica o por la emisión de una partícula β^+ (positrón) con una energía de 1460.8 KeV.

Debemos tener en cuenta que solo el 10,67% de los átomos de Potasio-40 se desintegran a Argón-40, el restante 89,33% de los átomos de Potasio-40 sufren un decaimiento al radionucleido Calcio-40 mediante emisión β^- (Vollbert, 1992, p.12). En el esquema de la ilustración 2-1, se muestra el decaimiento radiactivo del Potasio-40.

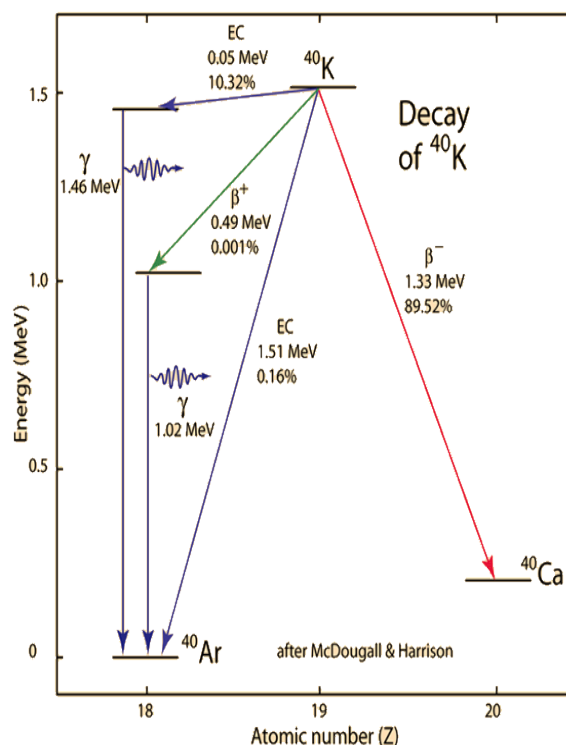


Ilustración 2-1: Decaimiento beta de potasio-40

Fuente: (McDougall & Harrison, 1989)

1.6.2. Afectación a la salud del Potasio-40

La exposición al Potasio-40 no es riesgo para la salud humana porque es considerado como despreciable, ya que la exposición a niveles muy bajos de radiación y no se la conoce por causar efectos perjudiciales a la salud humana. Sin embargo, la exposición a niveles altos a este isótopo puede aumentar el riesgo de cáncer, pero los efectos son muy difíciles de medir debido a la radiación natural. Se encuentra en todos los organismos vivos, ya que es un elemento esencial para la vida, está presente en suelos, aguas, alimentos y vegetales, por lo que es imposible evitar completamente la exposición (Ishikawa, T. Long, 2000, pp.420-433).

La concentración de Potasio-40 en el cuerpo humano se basa estrictamente en el principio homeostático, se distribuye en el cuerpo especialmente en los tejidos blandos después de la ingesta de alimentos. El Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) estima regularmente las dosis debidas a las fuentes naturales y da un valor mundial medio de 2.4 mSv/año para persona adulta. Según un estudio realizado por la Agencia Internacional de Energía Atómica, se encontró que la actividad del radionucleido Potasio-40 en el cuerpo varía mucho dependiendo del desarrollo muscular de un individuo, lo que

afecta principalmente a los hombres en comparación con las mujeres (Lynch, Rivas & Garcia, 2004, p.319).

1.7. Espectrometría gamma

La espectrometría gamma consiste en el registro de la radiactividad natural de un radionucleido obtenida por un detector gamma, da como resultado un espectro de la energía de todos los fotones que golpean el detector, su análisis puede determinar cualitativamente un radionucleido específico u otra información cuantitativa sobre la muestra en estudio. Generalmente en espectrometría gamma se manifiestan como impulsos de ondas electromagnéticas, formadas por fotones muy excitados o de alta frecuencia. Este tipo de ondas electromagnéticas poseen mucha energía y son capaces atravesar materia sólida, y producir partículas cargadas llamadas iones a medida que se propagan, que se utilizan para atrapar o medir la radiactividad del material de interés. Los métodos de espectrometría de fotones de alta energía se pueden dividir en dos categorías grupos: la técnica por dispersión de energía, que buscan almacenar y registrar la mayor cantidad de energía de fotones, con métricas de deposición de energía incluyen emisión de luz, corriente eléctrica, cambios térmicos, entre otros, y por otro lado la técnica de dispersión de longitud de onda, que cuantifica esta magnitud para cada fotón incidente y muestra su espectro. Al hablar de espectrometría se debe tener en cuenta que se hace referencia a todo un sistema de detección que puede variar en tipo, geometría y tamaño, pero en última instancia se busca la energía gamma característica para identificar cada radionucleido (Knoll, 2017, pp.307-308).

1.8. Detectores centelladores

En el estudio se utilizó un detector de centelleo de Yoduro de sodio dopado con talio NaI (TI) que se encuentra en el Laboratorio de Técnicas Nuclear de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Los detectores de centelleo son dispositivos que detectan la radiación gamma y la convierten en luz visible. Estos equipos están compuestos principalmente por un material centellador, un tubo fotomultiplicador y un analizador multicanal. El material centellador debe ser eficiente en la conversión de energía cinética en luz, tener un corto tiempo de decaimiento, ser transparente y tener un índice de refracción similar al del tubo fotomultiplicador y el fotocátodo (Knoll, 2017, p.223).

No existe un material de centelleo que cumpla con todas estas características simultáneamente, la elección del material se hace según el propósito de uso e incluso se pueden usar en estado sólido, líquido o gaseoso. Los materiales centelleantes pueden ser orgánicos o inorgánicos. Los primeros se utilizan principalmente en la espectroscopía de partículas beta por su alto contenido de

hidrogeno, mientras que los inorgánicos se utilizan más en la espectrometría gamma debido a su alta salida de luz, linealidad y número atómico alto (Knoll, 2017, p.223).

1.8.1. Centellador de NaI (Tl)

El NaI (Tl) es un material inorgánico que centellea debido a su estructura cristalina, es más usado para realizar el estudio del espectro de radiación gamma de una muestra. Su mecanismo depende del estado de energía electrónica de los átomos dado por la ecuación de Schrödinger en la red cristalina, la teoría de la banda de energía es una herramienta importante para comprender el movimiento electrónico para la condición eléctrica en la electricidad.

En los cristales puros, la emisión de un fotón durante el retorno de un electrón a la banda de valencia es a menudo ineficiente debido a la brecha de energía del cristal, lo que significa que el fotón no suele caer en el rango visible. Para mejorar la probabilidad de emisión de luz durante este proceso, se agregan pequeñas cantidades de impurezas llamadas activadores a los centelladores inorgánicos (Knoll, 2000, pp.234-236).

Estos activadores crean espacios especiales en la banda prohibida, lo que a su vez crea nuevos niveles de luminiscencia en la brecha de energía. Estos nuevos niveles, conocidos como centros de luminiscencia, tienen valores energéticos más bajos que la brecha de energía total, lo que permite la emisión de fotones en el rango visible. Véase la ilustración 3-1.

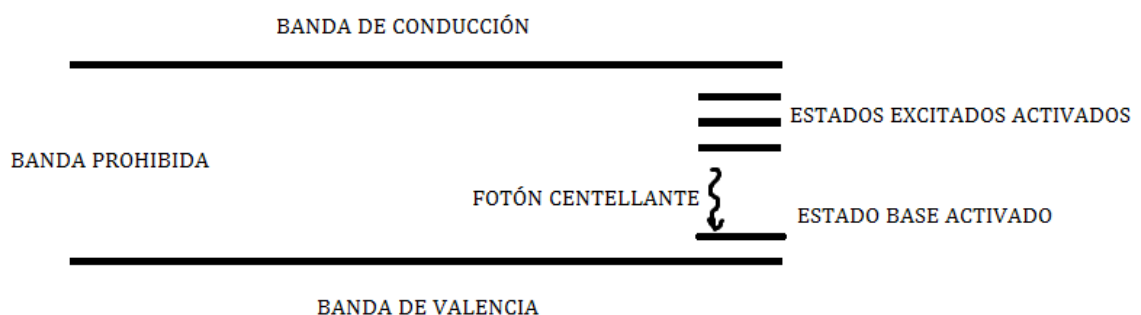


Ilustración 3-1: Estructura de bandas de energía de un cristal centellador activado con impurezas

Fuente: (Knoll, 2000)

Los activadores utilizados en los centelladores inorgánicos son comúnmente metales pesados como el Tl, que tienen una energía de ionización menor que la del cristal. Cuando estos metales pesados se ionizan debido a los huecos en la banda de conducción, los electrones libres se

desplazan a través del cristal hasta que encuentran un activador ionizado. Este proceso da lugar a una configuración neutra con su propio conjunto de estados de energía excitados, como se muestra en la ilustración 3-1.

Para crear un par electrón-hueco, se necesita una energía promedio de alrededor de 3 veces la energía de la banda prohibida, que en el caso del yoduro de sodio es de unos 20 eV. Por cada MeV de energía absorbida en el material, se generan aproximadamente 5×10^4 pares electrón-hueco. La eficiencia de conversión de energía a luz visible se estima en alrededor del 12%, lo que significa que se podría obtener un promedio de 12×10^5 eV de energía en forma de luz visible. El rendimiento de luz de los cristales de NaI (Tl) por rayos gamma es de alrededor de 38000 fotones por cada MeV de energía depositada, con un tiempo de pulso de centelleo de 230 ns (Knoll, 2000, pp. 234-236), todas estas características lo convierten en un detector estándar para espectrometría gamma.

1.8.2. Interacción de la radiación gamma con el centellador

Cuando la radiación gamma incide sobre un centellador de NAI (Tl), los fotones interactúan con los electrones de los átomos del cristal, produciendo excitaciones y ionizaciones. Los electrones excitados pueden volver a su estado original, emitiendo fotones de menor energía. Sin embargo, si la energía del fotón gamma incidente es suficientemente alta, se puede producir un proceso de fotodesintegración en el cual un fotón gamma interactúa con el núcleo atómico del cristal, lo que produce pares electrón-positrón (Uribe, 2015, pp.10-12).

Cuando se produce la interacción entre el fotón gamma y el centellador, los electrones y positrones producidos se mueven a través del material del cristal, perdiendo energía a medida que avanzan. En este proceso, los electrones y los positrones pueden transferir energía a los átomos del cristal, ionizando o excitando los electrones del átomo. Si el electrón excitado vuelve a su estado original, emite fotones de menor energía, lo que produce la luz visible (centelleo) característico del centellador de NAI (Tl). La cantidad de luz visible producida por el centellador es proporcional a la cantidad de energía depositada por la radiación gamma en el cristal. Los fotones de luz pueden ser detectados por un dispositivo fotosensible (como un fotomultiplicador) y convertidos en una señal eléctrica que se puede medir y analizar (Avelleira, 2015, p.15).

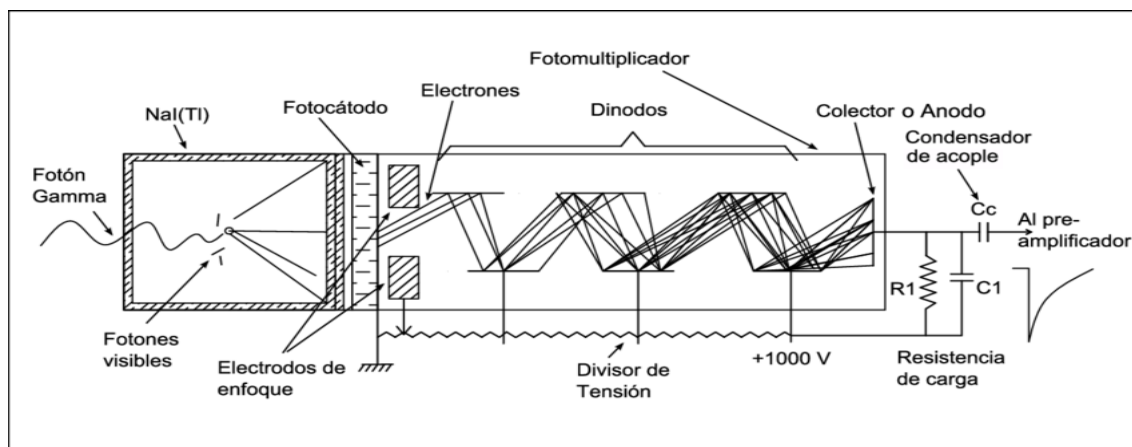


Ilustración 4-1: Esquema de la estructura de un fotomultiplicador y sus componentes

Fuente: (Avelleira, 2015)

1.9. Bases legales

1.9.1. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN-CODEX 193:2013

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-CODEX 193:2013 para contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos; establece como norma general lo siguiente:

Los niveles de referencia para contaminantes radionucleidos destinados al consumo humano se dividen en dos categorías: alimentos para lactantes y otros alimentos, ya que los lactantes son más sensibles a ciertos contaminantes radiactivos. Estos son valores de referencia para los siguientes radionucleidos: Estroncio-90, Rutenio-106 y Yodo-129 es de (100 Bq/Kg), Cobalto-60, Estroncio-89, Rutenio-103, Cesio-134, Cesio-137 y Cerio-144 es de (1000 Bq/Kg). Los valores de referencia para el Yodo-131 son iguales en ambos tipos de alimentos, estableciéndose en (100 Bq/Kg) y para el Potasio-40 la normativa no menciona los valores de referencia (Codez Standard, 2013, p.39).

Estos niveles de referencia se han obtenido de las "Normas Básicas Internacionales de Seguridad", publicadas por la Agencia Internacional de Energía Atómica OIEA (1996, pp.134-138) cuando los niveles de radionucleidos en los alimentos no superan los niveles de orientación correspondientes, deben considerarse inocuos para el consumo humano. Sin embargo, si los niveles de orientación son superados, los gobiernos nacionales deben tomar decisiones sobre la distribución de los alimentos contaminados.

1.10. Diversidad frutal en el Oriente Ecuatoriano

El Oriente Ecuatoriano es una región con mega diversidad frutal y situación geográfica debido a su variedad de climas y suelos. Las frutas más comunes de esta región son: la piña, el plátano, la guayaba, la papaya, la toronja, la pitahaya, el aguacate, la naranjilla, el limón meyer, el chontaduro, el arazá, la guanábana, la uva de monte y muchas más. Además, es una fuente importante de alimento y nutrición para la población, sino también una fuente importante de ingresos para los agricultores y un atractivo turístico para la región. La producción de frutas en el Oriente Ecuatoriano es un sector importante para la economía local y nacional (Ortega, 2022, p.23).

1.10.1. Piña (*ananas comosus*)

Es una fruta grande y dulce con una pulpa jugosa y fibrosa y un sabor único y delicioso, su cáscara exterior es gruesa y dura, y es normalmente de color verde o amarillo cuando la fruta está madura. Es típica de las zonas con clima tropical y subtropical a temperaturas entre 23 y 30°C. La piña contiene una enzima digestiva llamada bromelina que se utiliza comúnmente en la industria alimentaria y farmacéutica (Cortéz, 2018, p.18).

1.10.2. Guayaba (*psidium guajava*)

Es una baya redonda con leve acidez y buen sabor, su cáscara es de tono amarillo verdoso y la pulpa varía según el tipo de variedad, destacando la guayaba fresa con pulpa rosada. *Psidium guajava* se cultiva ampliamente en regiones tropical y subtropicales con temperaturas entre 23 y 30°C (Rai, Asthana & Jaiswal, 2010, pp.1-12).

1.10.3. Plátano (*musa acuminata*)

Los plátanos se cultivan principalmente en zonas con clima tropical y subtropical, esta fruta pesa un promedio de 100 a 150 gramos y se compone de 75% de agua y 25% de materia seca. Los frutos de *Musa acuminata* tienen una forma similar a los plátanos comerciales y provienen de una variedad diferente, pero contienen muchas semillas duras (Rodríguez, De Oliveira & Lucca, 2006, pp.139-144).

1.10.4. Papaya (*carica papaya*)

Es el fruto de la variedad *Carica papaya* L., perteneciente a la familia Caricaceae, originaria de la costa ecuatoriana y regiones amazónicas como Shushufindi y La Joya de los Sachas, donde

existen variedades como Tainung, Mardol, Criolla y Hawaiian (Solo, Sunrie, Gram, Betty), de forma ovalada o no porosa, de 10 a 20 cm de largo y suele pesar entre 500 y 1000 gramos pudiendo llegar a un máximo de 5 kg. Es una baya de piel fina que es de color amarillo verdoso a naranja, la pulpa es de color rojo anaranjado o amarillo, dulce y jugosa (Luis Rincón, 2002, p.96).

1.10.5. Pitahaya (cereus sp)

Es una fruta tropical exótica que contiene una alta concentración de ácidos grasos, además de fibra, minerales y vitaminas, en Ecuador se cultiva en las provincias de Pichincha, Morona Santiago y Loja. Crece en un clima subtropical húmedo, con una humedad relativa superior al 50%. La especie *Stenocereus queretaroensis* de la familia *Cereus sp* del género *Cactácea* es originario del país y se presenta en el cantón de Palora, provincia de Morona Santiago. La variedad se caracteriza por bayas amarillas en forma de huevo, de 10-12 cm de largo y 7 cm de ancho, con pulpa blanca jugosa y una gran cantidad de semillas, unas 650 semillas por baya (Huachi, Yugsi & Paredes, 2015, pp.50-51).

1.10.6. Toronja (citrus paradisi)

Es un fruto cítrico se dividen por el color de la pulpa, van desde el amarillo, rojo, rosa, pasando hasta por el anaranjado (pigmentadas), mientras más sea el contenido de estos pigmentos, mayor es la tonalidad de la pulpa, independientemente al color de la cáscara. Las variedades mayormente conocidas de toronja de carne blanca, son la Duncan y Marsh; para las de especie de carne rosada o roja se encuentran la Star Ruby, Red Blush y Río Redes, son cultivadas en zonas de climas tropicales y subtropicales (Hernández, et al., 2016, pp.22-35).

1.10.7. Aguacate (persea americana)

El aguacate (*Persea americana*) es una baya subtropical de forma ovalada o de pera, según la variedad, de varios tamaños (de 7 a 33 cm de largo y hasta 15 cm de ancho), con una cáscara de color verde a morado oscuro que puede ser fina, gruesa, lisa o ligeramente arrugado a veces con una apariencia similar al cuero. Pulpa firme de un color que varía desde amarillo al verde claro, tiene una semilla grande (5 a 6,4 cm) dura, pesada, redonda o puntiaguda y de color marfil. Este fruto es rico en grasas saludables monoinsaturadas, fibras, vitaminas y minerales. Las principales zonas de cultivo en el Ecuador se ubican en la provincia de Pichincha, Imbabura, Tungurahua y Morona Santiago (Gutiérrez, 2015, pp.129-132).

1.10.8. Naranjilla (solanum quitoense)

La naranjilla (*Solanum quitoense*) es una planta arbustiva que produce frutos de pulpa de color verde, rico en minerales y vitamina C. El jugo sabe agrídulce, la pulpa se puede comer fresco o bien en helados, mermeladas, conservas regulares y varios postres y dulces, es una de las frutas exóticas las principales zonas de cultivo en el Ecuador se ubican en las estribaciones externas de la cordillera y llanura amazónica: Baños, Baeza, valle del río Quijos, Reventador, Puyo, Archidona, Loreto, Lago Agrio, Sucúa, Zamora (Cuvi, 2015, pp.215-220).

1.10.9. Limón meyer (citrus meyeri)

El limón meyer (*Citrus Meyeri*) es un fruto redondo de color amarillo, su cáscara es fragante y fina, de color amarillo profundo con un ligero tinte anaranjado cuando está madura. Tiene un sabor dulce y no muy ácido como el limón común, la pulpa es de un color amarillo oscuro y contiene hasta 10 semillas por fruto, con un peso medio de 80 a 120 gramos. Se cultivan en zonas de climas tropicales y subtropicales (Flora, 2010, p.21).

1.10.10. Chontaduro (Bactris Gasipaes)

Es una fruta de palma que se encuentra comúnmente en Sudamérica, en particular en regiones como la cuenca del Amazonas. Esta fruta es un alimento básico en muchas comunidades locales de la Amazonia Ecuatoriana y es conocida por su alto valor nutricional, ya que es rica en carbohidratos, fibra y vitaminas. A menudo se prepara por hervor o asado y se puede servir como acompañamiento, en sopas o como ingrediente en otros platos. Chontaduro también se utiliza ampliamente en la medicina tradicional, debido a sus supuestos beneficios para la salud, como sus propiedades antiinflamatorias y antidiabéticas (Tanchiva F.E., 1994, p.18).

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo y Diseño de investigación

Esta investigación es de tipo transversal, ya que se recolectaron las muestras y obtuvimos la información en un periodo temporal concreto, el enfoque de la investigación es cuantitativo, porque las variables a evaluar son medibles como la concentración de Yodo-131 y Potasio-40 en las frutas, además se analizó el poder de absorción en relación planta-suelo.

2.2. Método de muestreo

Las frutas se seleccionaron mediante un método de muestro aleatorio simple al azar, a partir de la población constituida por todas las frutas que se cultivan en la provincia de Pastaza.

2.3. Localización del estudio

Este estudio se realizó en la provincia de Pastaza en el Oriente Ecuatoriano, esta provincia está constituida por 4 cantones (Arajuno, Mera, Pastaza y Santa Clara) con sus respectivas parroquias urbanas y rurales. Las muestras se recolectaron en el Puyo (Ver ilustración 1-2), ciudad cabecera cantonal del Cantón Pastaza y capital de la Provincia de Pastaza, así como la urbe más grande y poblada de la misma con una superficie de 87.67 km², se encuentra a 930 m.s.n.m. a una latitud de 1° 29' 25" S y a una longitud de 78° 00' 08" O.

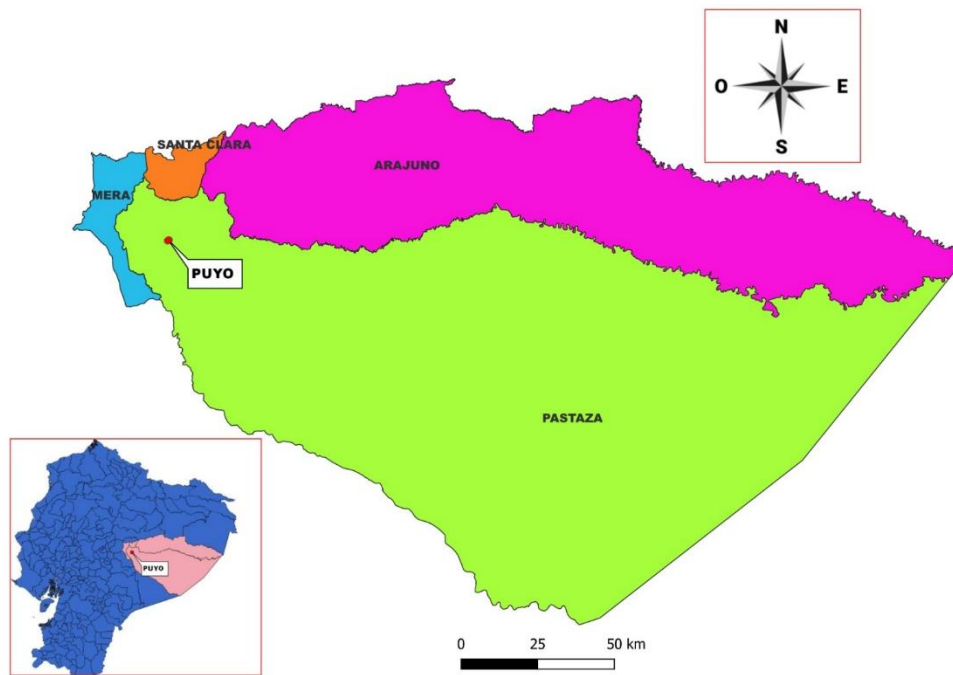


Ilustración 1-2: Mapa de la provincia de Pastaza

Realizado por: Velarde D., 2023.

Las actividades económicas en la Provincia de Pastaza corresponden al sector de la Agricultura, la ganadería, la silvicultura, la pesca, el comercio y el turismo. En esta provincia de la región amazónica tiene una gran variedad de frutas como cacao, banano, caña, guayaba, limón meyer, chontaduro, piña, pitahaya, achiote, uva de monte, toronja, plátano, papaya, aguacate, naranjilla, arazá que se exportan a nivel nacional e internacional (Agricultura Pastaza, 2022, p.11), de las cuales se seleccionaron 10 frutas y sus suelos de cultivo para este estudio. La preparación y el análisis de las muestras se desarrolló en los Laboratorios de Técnicas Nucleares, Calidad de Agua y Biotecnología Industrial de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

2.4. Procedimiento de preparación de las muestras

Para determinar la contracción de la actividad específica de Yodo-131 y Potasio-40 usando el radiómetro gamma ADANI Rug 91-2, fue necesario realizar un tratamiento de las muestras que se especifican a continuación.

Fase 1: Recolección de las frutas

Las frutas se recolectaron en el área de cultivo (haciendas y fincas). Se seleccionaron las frutas con punto óptimo de madurez, libres de plagas y enfermedades.



Ilustración 2-2: Recolección de frutas en la zona de cultivo

Realizado por: Velarde D., 2023.

Fase 2: Pelado, corte de la fruta

Se peló y se cortó la fruta mediante el uso de un cuchillo de acero inoxidable con fin de obtener rodajas de un espesor no superior a 15 mm.



Ilustración 3-2: Pelado y corte de la fruta

Realizado por: Velarde D., 2023.

Fase 3: Deshidratación de la fruta

Se realizó una deshidratación mediante el uso de estufas de secado disponibles en los laboratorios de Calidad de Agua y de Biotecnología industrial de la Facultad de Ciencias, a una temperatura de 80 °C durante 48 horas, en donde la fruta fue colocada sobre bandejas de aluminio para evitar la adherencia.



Ilustración 4-2: Deshidratación de las muestras

Realizado por: Velarde D., 2023.

Fase 4: Triturado y pulverización

Las muestras deshidratadas se colocaron en una trituradora eléctrica de alimentos durante 20 minutos, en pequeñas porciones para una mejor eficiencia del equipo.



Ilustración 5-2: Trituración de muestras deshidratadas

Realizado por: Velarde D., 2023.

Fase 5: Tamizado y empaquetado

Finalizado el proceso de trituración las muestras de frutas se tamizaron a una granulometría de 500 micrones. Posteriormente se etiquetaron y almacenaron en fundas plásticas herméticas para su análisis en el Laboratorio de Técnicas Nucleares en la Facultad de Ciencias ESPOCH, usando el radiómetro gamma ADANI Rug 91-2.



Ilustración 6-2: Tamizaje granulometría de 500 micrones

Realizado por: Velarde D., 2023.

2.5. Recolección y tratamiento de muestra de suelos del área de cultivo de las frutas

Se recolectó dos kilogramos de tierra directamente de la zona de cultivo de la planta frutal usando un barreno, la técnica de recolección se detalla a continuación:

Limpiar la zona del suelo de residuos alrededor de la planta frutal aproximadamente 10 cm, introducir el Barreno hasta llegar a una profundidad de 30 cm para la recogida de la muestra. Una vez recolectado el suelo se almacenan en fundas plásticas herméticas con fin de protegerla de la humedad.

Llevar las muestras de suelo a su posterior secado, extenderla sobre una bandeja de Aluminio formando una capa de 10 cm, luego ingresar las bandejas con la muestra de suelo a una estufa de secado a una temperatura de 105°C durante 48 horas, una vez transcurriendo el tiempo de secado retirar las muestras.

Por último, almacenar las muestras de suelo en fundas plásticas herméticas selladas para ser tamizadas a una granulometría de 500 micrones. Posteriormente se etiquetó y almacenó para su respectivo análisis en el Laboratorio de Técnicas Nucleares de la ESPOCH, usando el radiómetro gamma ADANI Rug 91-2.



Ilustración 7-2: Recolección de la muestra de suelo del área de cultivo

Realizado por: Velarde D., 2023.

2.6. Instrumentación utilizada para el análisis de la actividad de radiación gamma

- Radiómetro ADANI Rug 91-2

El Laboratorio de Técnicas Nuclear de la ESPOCH cuenta con un radiómetro llamado ADANI Rug 91-2, diseñado para medir la concentración de la actividad específica de radiación gamma de los radionucleidos Cesio-134, Cesio-137, Yodo-131 y Potasio-40 en muestras de suelos, vegetales y animales que estén contaminados con estos radionucleidos. La detección se realiza con un centellador de yoduro de sodio activado con talio, que está conectado a un tubo fotomultiplicador y un microcontrolador, que son las partes clave del dispositivo. El rango de medición de Potasio-40 en muestras con una densidad de 1 g cm^{-3} es de 50 a 20,000 Bq/Kg, con un margen de error máximo permitido de $\pm 20\%$. El dispositivo es capaz de registrar energía en un rango definido de 50 a 3000 KeV, acumulada y medida en 1024 canales, y el análisis se lleva a cabo a partir del canal 17. Toma alrededor de 5 minutos para configurar el modo de trabajo y la operación continua puede durar hasta 24 horas. El peso total del contenedor es de aproximadamente 52 kg, incluyendo el peso interno de alrededor de 62 kg. Su capacidad es de 0.5 L (ADANI, 2013, pp.7-8).



Ilustración 8-2: Radiómetro ADANI Rug 91-2

Fuente: (ADANI, 2013)

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

El radiómetro mide 255 mm de largo, 360 mm de ancho y 300 mm de alto y contiene varios elementos. Ver ilustración 8-2:

- Carcasa protectora recubierta de plomo, en su interior hay un espacio para insertar el marinelli para la muestra que se va analizar, y en el centro del orificio hay un detector de centelleo cilíndrico NaI (Tl) de 40 mm de diámetro y altura;
- Estructuras de transporte de equipos móviles;
- La tapa giratoria, forrada de plomo, es el elemento que gira para abrir la tapa protectora e introducir el marinelli;
- El panel frontal, que consta de una pantalla y un teclado, se utiliza para operar el dispositivo y mostrar los resultados del análisis; y
- Módulos electrónicos, que son unidades de procesamiento de datos para recibir, almacenar y enviar a software.

Además, el sistema consta de cinco unidades principales que se muestran en la ilustración (9-2), analizando la información del pulso eléctrico, el sistema de procesamiento no detectará otro fotoelectrón.

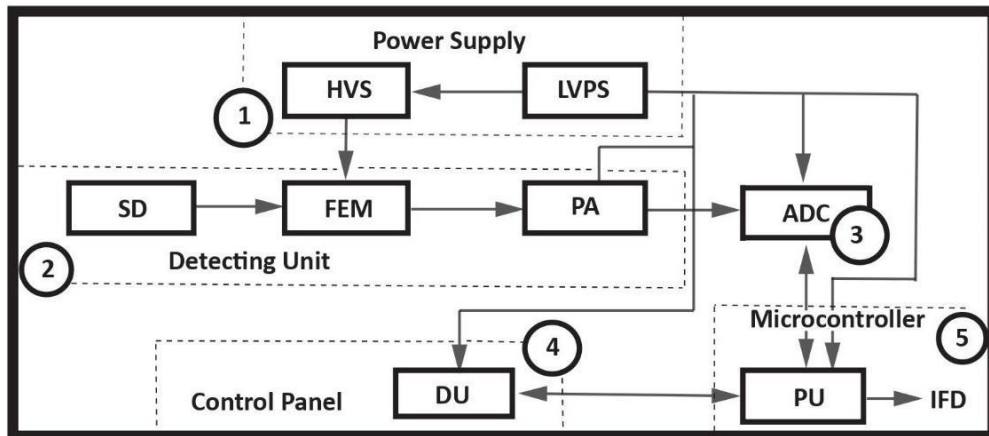


Ilustración 9-2: Esquema general del radiómetro Rug 91-2.

Fuente: (ADANI, 2013).

Las funciones específicas de las unidades del radiómetro son las siguientes:

- La unidad de fuente de alimentación: está compuesta por una fuente de alimentación de baja tensión (LVPS) que se utiliza para rectificar, filtrar y regular el voltaje necesario para el

funcionamiento de los componentes del radiómetro, y una fuente de alto voltaje (HVS) que se utiliza para proporcionar energía al tubo fotomultiplicador (FEM).

- La unidad de detección: es el lugar donde se encuentra el detector de centelleo (CD), que convierte los cuantos de rayos gamma en fotones de luz visible para ser llevados a la FEM como impulsos de corriente. También se encuentra un amplificador preliminar (PA) que convierte los impulsos de corriente generados por el fotomultiplicador en impulsos de voltaje.
- Conversor analógico digital (ADC): convierte los impulsos de voltaje en un código digital.
- Panel de control: consiste en un monitor y teclas usado para los ajustes del modo de operación del radiómetro.
- Microcontrolador: consta de una unidad de procesamiento (PU) usada para recibir, almacenar y enviar datos. Además de la interfaz del dispositivo (IFD) para intercambiar datos con equipos externos.

El radiómetro funciona mediante el registro y análisis de la distribución de amplitudes de los pulsos de luz generados en el detector de centelleo. Para una mejor medición, se coloca una probeta Marinelli de 0.5 litros dentro de las paredes de plomo. Los destellos producidos en el centellador se convierten en impulsos eléctricos al pasar por el fotocátodo del fotomultiplicador, los cuales son amplificados y luego transformados en datos digitales. La unidad de procesamiento analiza la distribución de amplitudes y calcula la actividad del radionucleido. Los resultados se muestran en tiempo real en el panel de control, incluyendo la tasa de conteo de rayos gamma, la temperatura del fotomultiplicador, el tiempo actual y la concentración de la actividad específica en Bq/Kg con su margen de error asociado.

En la utilización del radiómetro, se asegura que el lugar donde está instalado tenga una temperatura de al menos 10°C. Si la temperatura es menor, se debe calentar la habitación. Además, para mejorar la precisión de las mediciones, se recomienda que el recipiente Marinelli de 0.5 litros esté lleno y que la muestra a medir sea homogénea, requiriendo así un análisis de inexactitud de homogeneidad y una medición de masa menor al 2%, también es necesario realizar una calibración con una muestra de KCl proporcionada por el fabricante con una actividad mínima de 16 KBq.

La medida del background solo es necesaria si se presentan cambios significativos en las condiciones de medición de la concentración de la actividad específica de las muestras o de la temperatura del radiómetro para su análisis, se debe utilizar una muestra no radiactiva, como agua destilada, y se recomienda un tiempo de medición de background de al menos 1200 segundos,

aunque 3600 es lo recomendable. Uno de los objetivos de medir el background es probar la estabilidad del sistema de detección y de la electrónica asociada, es decir que esta radiación de fondo sirve como un indicador de evaluación del desempeño del equipo (Annunziata, 2003, p.897).

El proceso de medición de muestras se realiza a través del software Rug 91-2 en un ordenador, los requerimientos técnicos esenciales para que el software del instrumento funcione correctamente se detalla a continuación: procesador Pentium a 4.1 GHz o superior, disco duro de 4 GB, RAM de al menos 512 MB, monitor de resolución de pantalla (1024 x 600), tarjeta gráfica de 32 MB o superior, sistema operativo Windows XP (32 bits) o Windows 7 (32 bits), browser internet explorer versión 7 o actualizada y puerto USB 2.0.

La interfaz del software Rug 91-2 incluye un menú principal desde el cual se pueden ingresar los parámetros de medición y seguir el procedimiento de medición de la concentración de la actividad específica de los radionucleidos. La ilustración 10-2, muestra una imagen de la interfaz gráfica del programa.

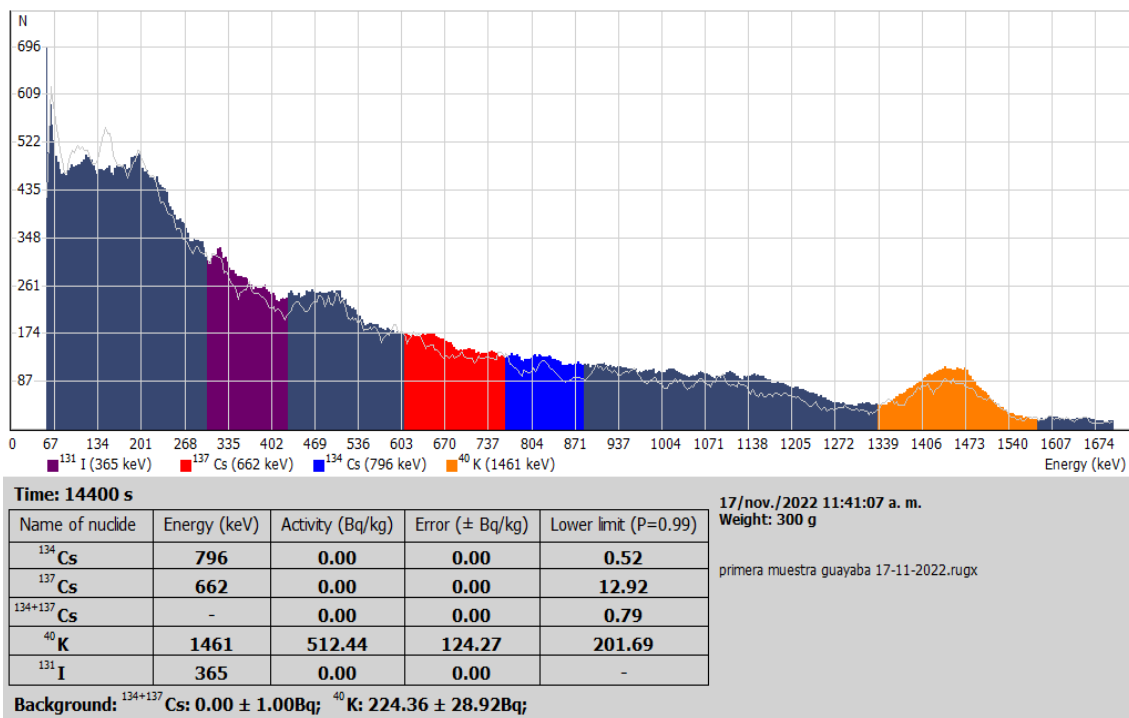


Ilustración 10-2: Interfaz gráfica del Rug 91-2.

Fuente: (ADANI, 2013).

Los resultados de la medición de la concentración de actividad pueden ser guardados en cuatro extensiones principalmente:

- *rugx*, Permite ver la representación gráfica del programa de software que contiene detalles específicos sobre la muestra evaluada, como el gráfico de la emisión gamma, la tabla de niveles de radiación de los radionucleidos identificados, la cantidad, y el período de tiempo en que se recopilaron los datos, entre otros aspectos. Ver ilustración (10-2).
- *gif*, permite visualizar la interfaz del software donde se tiene información específica de la muestra analizada como el espectro gamma, tabla de concentración de actividad específica de los radionucleidos detectados, masa, tiempo de adquisición de datos, en formato de imagen.
- *txt*, presenta un informe completo del análisis, en el cual se pueden ver datos específicos del background, como la frecuencia de medición de cada radionucleido, así como también una tabla de resultados semejante a la que se describió anteriormente.
- *dat*, provee una representación gráfica en un documento en formato de hoja de cálculo, donde se presenta el resultado de la investigación basado en los canales y sus respectivos pulsos, mostrados en las primer y segunda columna respectivamente.

2.7. Procedimiento de medición de la concentración de la actividad específica de Yodo-131 y Potasio-40 en las muestras

El proceso de medición de la concentración de la actividad específica de los radionucleidos en las muestras consta de tres fases: a) Calibración, b) Background y c) Análisis de muestra, mediante el software Rug91-2 suministrado por el fabricante previamente instalado en el sistema operativo Windows, el radiómetro se conecta al ordenador mediante un puerto USB e instalados los controladores para el control total del programa.

- Calibración

Abrir la cubierta giratoria, colocar la muestra de KCl proporcionada por el fabricante dentro del radiómetro y asegurarse de cerrar bien la cubierta giratoria.

Presionar MENU, ubicado en el teclado del panel frontal.

Elegir la opción CALIBRATION y esperar que en la pantalla del panel frontal se genere el mensaje de CALIBRATION COMPLET, además realiza un pitido de aviso.

Una vez terminado este procedimiento sacar la muestra de calibración del radiómetro, este procedimiento es automático y puede durar hasta 600 segundos.

- Background

El background es una forma de radiación electromagnética de fondo que ayuda a estabilizar el sistema de detección y a garantizar el correcto funcionamiento del sistema electrónico en presencia de contaminantes, lo que lo convierte en un indicador del buen rendimiento del equipo. Utilizando un tiempo de ejecución de 3600 segundos y una masa de agua destilada de $(459,6 \pm 1)$ gramos, y siguiendo los pasos descritos a continuación:

Llenar el marinelli con agua destilada y asegurarse de taparlo correctamente.

Insertar el marinelli dentro del radiómetro y cerrar la cubierta giratoria.

Ir a MENU desde el panel frontal, elegir la opción TIME y programar el tiempo de medición en segundos de Background y a continuación, seleccionamos la opción WEIGHT para rellenar los datos de la masa en gramos de agua destilada del marinelli.

Elegir la opción BACKGROUND, una vez transcurrido el tiempo programado extraer el marinelli con agua destilada.

- Análisis de muestras

Llenar el recipiente del marinelli en su totalidad con la muestra para analizar ya tamizada, cerrar y pesar.

Insertar el marinelli dentro del radiómetro y asegurar que cubierta giratoria está cerrada bien.

Presionar el botón MENU en el panel frontal, elegir la opción TIME para rellenar el tiempo de medición en segundos de 14400 segundos y seguidamente seleccionar WEIGHT para rellenar el parámetro del peso en gramos de forma manual, pero también se puede controlar mediante el software Rug 91-2.

Seleccionar la opción START para iniciar el procedimiento de análisis.

Una vez finalizado el análisis de los datos generados por el radiómetro se proceden a guardar en los formatos antes descritos.



Ilustración 11-2: Análisis de muestras en el radiómetro ADANI Rug 91-2

Realizado por: Velarde D., 2023.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Concentración de la actividad específica en fruta y suelo de cultivo

A continuación, se muestra en tablas la media, mediana, mínimo, máximo, desviaciones estándar y error relativo de tres medidas repetidas e independientes de la concentración de actividad específica de Potasio-40 y Yodo-131 en frutas y suelos de cultivo del Oriente Ecuatoriano, obtenidos con el radiómetro ADANI Rug 91-2. Además, se presenta la capacidad de absorción de la planta.

Tabla 1-3: Concentración de la actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en la piña y el suelo de cultivo.

Muestra	Piña		Suelo	
Masas (gramos)	335 ± 1		551 ± 1	
Radionucleido	Yodo-131	Potasio-40	Yodo-131	Potasio-40
Concentración media de la actividad específica (Bq/Kg)	0	318,34	0,36	381,54
Mediana (Bq/Kg)	-	322,82	0,39	380,5
Mínimo (Bq/Kg)	-	301,72	0,3	372,22
Máximo (Bq/Kg)	-	330,5	0,41	391,91
Desviación estándar	-	14,90	0,06	9,88
Error relativo %	-	5	16	3
% de Absorción Yodo-131	0 %			
% de Absorción Potasio-40	83,43 %			

Realizado por: Velarde D., 2023.

En todas las muestras de las frutas analizadas no se observó niveles detectables de Yodo-131. En la piña (Ananas Comosus) se evidenció la presencia de Potasio-40 y un poder de absorción de 83,43% desde el suelo a la planta.

Tabla 2-3: Concentración de actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en la guayaba y el suelo de cultivo.

Muestra	Guayaba		Suelo	
Masas (gramos)	300 ± 1		654 ± 1	
Radionucleido	Yodo-131	Potasio-40	Yodo-131	Potasio-40
Concentración media de la actividad específica (Bq/Kg)	0	497,44	0,27	517,51
Mediana (Bq/Kg)	-	512,44	0,27	532,69
Mínimo (Bq/Kg)	-	453,99	0,26	482,03
Máximo (Bq/Kg)	-	525,90	0,28	537,81
Desviación estándar	-	38,23	0,01	30,83
Error relativo %	-	8	4	6
% de Absorción Yodo-131	0 %			
% de Absorción Potasio-40	96,12 %			

Realizado por: Velarde D., 2023.

Se observó la presencia de Potasio-40 en la guayaba (*Psidium Guajava*), con un poder de absorción de 96,12% desde el suelo a la planta.

Tabla 1-3: Concentración de actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en el plátano y el suelo de cultivo.

Muestra	Plátano		Suelo	
Masas (gramos)	375 ± 1		551 ± 1	
Radionucleido	Yodo-131	Potasio-40	Yodo-131	Potasio-40
Concentración media de la actividad específica (Bq/Kg)	0	358,13	0,35	429,54
Mediana (Bq/Kg)	-	350,85	0,35	422,54
Mínimo (Bq/Kg)	-	338,44	0,31	418,42
Máximo (Bq/Kg)	-	385,11	0,4	447,67
Desviación estándar	-	24,17	0,05	15,83
Error relativo %	-	7	13	4
% de Absorción Yodo-131	0 %			
% de Absorción Potasio-40	83,37 %			

Realizado por: Velarde D., 2023.

Se confirmó la presencia de Potasio-40 en el plátano (*Musa Acuminata*), con un poder de absorción de 83,37% desde el suelo a la planta.

Tabla 4-3: Concentración de actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en la papaya y el suelo de cultivo.

Muestra	Papaya		Suelo	
Masas (gramos)	325 ± 1		564 ± 1	
Radionucleido	Yodo-131	Potasio-40	Yodo-131	Potasio-40
Concentración media de la actividad específica (Bq/Kg)	0	515,80	0,30	712,81
Mediana (Bq/Kg)	-	532,69	0,28	705,18
Mínimo (Bq/Kg)	-	482,03	0,27	675,57
Máximo (Bq/Kg)	-	532,69	0,36	757,68
Desviación estándar	-	29,24	0,05	41,58
Error relativo %	-	6	16	6
% de Absorción Yodo-131	0 %			
% de Absorción Potasio-40	72,36 %			

Realizado por: Velarde D., 2023.

El potasio-40 está presente en la papaya (Carica Papaya), con un poder de absorción de 72,36% desde el suelo a la planta.

Tabla 5-3: Concentración de actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en la pitahaya y el suelo de cultivo.

Muestra	Pitahaya		Suelo	
Masas (gramos)	315 ± 1		510 ± 1	
Radionucleido	Yodo-131	Potasio-40	Yodo-131	Potasio-40
Concentración media de la actividad específica (Bq/Kg)	0	625,72	0,33	791,03
Mediana (Bq/Kg)	-	630,29	0,34	797,08
Mínimo (Bq/Kg)	-	595,14	0,32	742,82
Máximo (Bq/Kg)	-	651,74	0,35	833,19
Desviación estándar	-	28,58	0,02	45,49
Error relativo %	-	5	5	6
% de Absorción Yodo-131	0 %			
% de Absorción Potasio-40	79,10 %			

Realizado por: Velarde D., 2023.

La pitahaya (Cereus SP) contiene Potasio-40, con un poder de absorción de 79,10% desde el suelo a la planta.

Tabla 6-3: Concentración de actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en la toronja y el suelo de cultivo.

Muestra	Toronja		Suelo	
Masas (gramos)	225 ± 1		564 ± 1	
Radionucleido	Yodo-131	Potasio-40	Yodo-131	Potasio-40
Concentración media de la actividad específica (Bq/Kg)	0	517,51	0,29	533,62
Mediana (Bq/Kg)	-	532,69	0,28	541,43
Mínimo (Bq/Kg)	-	482,03	0,27	505,54
Máximo (Bq/Kg)	-	537,81	0,33	553,90
Desviación estándar	-	30,83	0,03	25,10
Error relativo %	-	6	11	5
% de Absorción Yodo-131	0 %			
% de Absorción Potasio-40	96,98 %			

Realizado por: Velarde D., 2023.

Se evidenció la existencia de Potasio-40 en la toronja (Citrus Paradisi), con un poder de absorción de 96,98% desde el suelo a la planta.

Tabla 7-3: Concentración de actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en el aguacate y el suelo de cultivo.

Muestra	Aguacate		Suelo	
Masas (gramos)	291 ± 1		560 ± 1	
Radionucleido	Yodo-131	Potasio-40	Yodo-131	Potasio-40
Concentración media de la actividad específica (Bq/Kg)	0	557,46	0,29	654,41
Mediana (Bq/Kg)	-	571,88	0,3	663,31
Mínimo (Bq/Kg)	-	522,78	0,26	627,51
Máximo (Bq/Kg)	-	577,73	0,31	672,43
Desviación estándar	-	30,17	0,03	23,74
Error relativo %	-	5	9	4
% de Absorción Yodo-131	0 %			
% de Absorción Potasio-40	85,18 %			

Realizado por: Velarde D., 2023.

En esta fruta se determinó la presencia de Potasio-40 en el aguacate (Parsea americana), con un poder de absorción de 85,18% desde el suelo a la planta.

Tabla 8-3: Concentración de actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en la naranjilla y el suelo de cultivo.

Muestra	Naranjilla		Suelo	
Masas (gramos)	335 ± 1		550 ± 1	
Radionucleido	Yodo-131	Potasio-40	Yodo-131	Potasio-40
Concentración media de la actividad específica (Bq/Kg)	0	571,66	0,26	748,57
Mediana (Bq/Kg)	-	574,25	0,26	746,37
Mínimo (Bq/Kg)	-	556,19	0,25	738,40
Máximo (Bq/Kg)	-	584,56	0,28	760,94
Desviación estándar	-	14,36	0,02	11,43
Error relativo %	-	3	6	2
% de Absorción Yodo-131	0 %			
% de Absorción Potasio-40	76,36 %			

Realizado por: Velarde D., 2023.

En la naranjilla (*Solanum Quitoense*) se evidenció la existencia de Potasio-40, con un poder de absorción de 76,36% desde el suelo a la planta.

Tabla 9-3: Concentración de actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en el limón meyer y el suelo de cultivo.

Muestra	Limón meyer		Suelo	
Masas (gramos)	266 ± 1		555 ± 1	
Radionucleido	Yodo-131	Potasio-40	Yodo-131	Potasio-40
Concentración media de la actividad específica (Bq/Kg)	0	545,92	0,28	550,69
Mediana (Bq/Kg)	-	555,10	0,28	538,63
Mínimo (Bq/Kg)	-	525,53	0,27	531,72
Máximo (Bq/Kg)	-	557,14	0,29	581,72
Desviación estándar	-	17,69	0,01	27,09
Error relativo %	-	4	4	5
% de Absorción Yodo-131	0 %			
% de Absorción Potasio-40	99,13 %			

Realizado por: Velarde D., 2023.

El potasio-40 también está presente en el limón meyer (*Citrus Meyeri*), con un poder de absorción de 99,13% desde el suelo a la planta.

Tabla 10-3: Concentración de actividad específica y capacidad de absorción de Yodo-131 y Potasio-40 en el chontaduro y el suelo de cultivo.

Muestra	Chontaduro		Suelo	
Masas (gramos)	342 ± 1		551 ± 1	
Radionucleido	Yodo-131	Potasio-40	Yodo-131	Potasio-40
Concentración media de la actividad específica (Bq/Kg)	0	304,65	0,36	338,01
Mediana (Bq/Kg)	-	300	0,39	340,5
Máximo (Bq/Kg)	-	320	0,41	350,72
Mínimo (Bq/Kg)	-	293,95	0,3	322,82
Desviación estándar	-	13,63	0,06	14,12
Error relativo %	-	4	16	4
% de Absorción Yodo-131	0 %			
% de Absorción Potasio-40	90,13 %			

Realizado por: Velarde D., 2023.

Con los resultados se determina que el chontaduro (*Bactris Gasipaes*) contiene Potasio-40, con un poder de absorción de 90,13% desde el suelo a la planta.

La ilustración 1-3, presenta una comparación de la concentración de la actividad específica de Potasio-40 de las diez frutas estudiadas, la pitahaya muestra el valor más alto de la actividad específica (626 Bq/Kg).

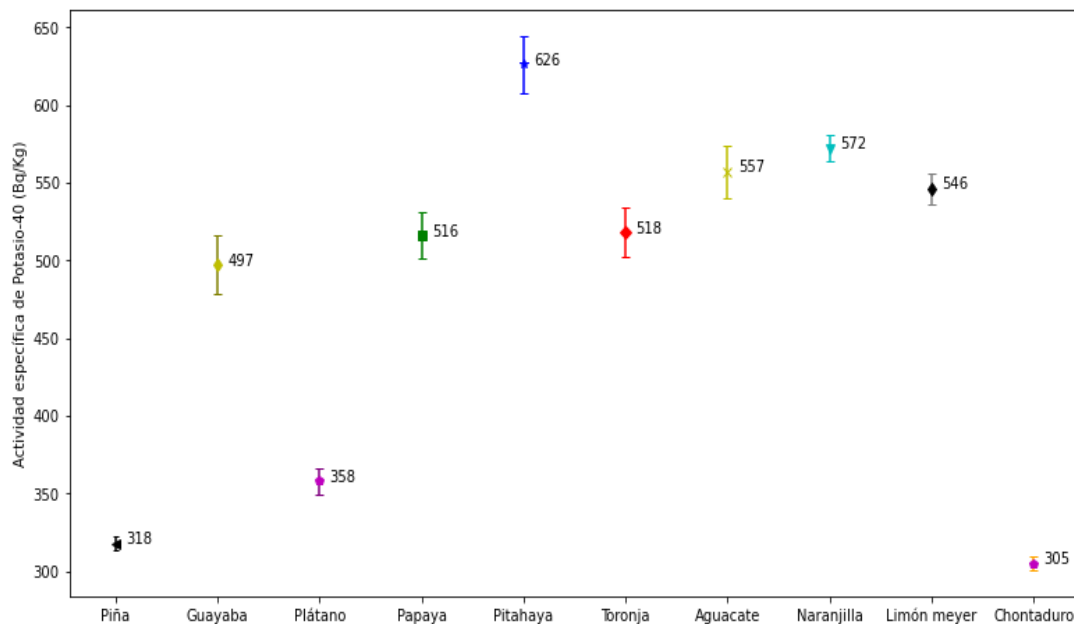


Ilustración 1-3: Actividad específica de Potasio-40 en diez frutas del Oriente Ecuatoriano

Realizado por: Velarde D., 2023.

En la ilustración 2-3, muestra el poder de absorción de Potasio-40 de la planta desde el suelo de cultivo, el limón meyer presentó el mayor porcentaje (99,13 %).

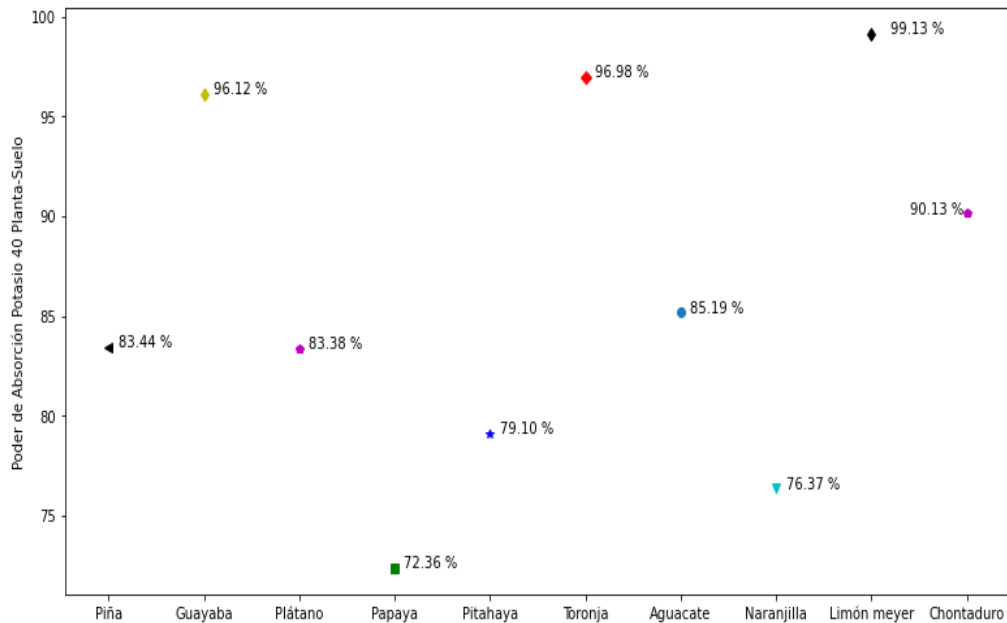


Ilustración 2-3: Poder de absorción de Potasio-40 en diez muestras planta-suelo

Realizado por: Velarde D., 2023.

3.2. Discusión

Se estudió desde el punto de vista radiactivo diez frutas (piña, guayaba, plátano, papaya, pitahaya, toronja, aguacate, naranjilla, limón meyer y chontaduro) y los suelos de cultivo del Oriente Ecuatoriano, usando el radiómetro gamma ADANI Rug 91-2, diseñado para medir la concentración de la actividad específica de los siguientes radionucleidos: Cesio-137, Cesio-134, Potasio-40, Yodo-131.

Los resultados obtenidos muestran que el Yodo-131 no está presente en las frutas. La concentración de la actividad específica de Potasio-40 más alta se determinó en la pitahaya (626 Bq/Kg), la naranjilla, el aguacate, el limón meyer, la toronja, la papaya, y la guayaba mostraron el mismo valor, dentro de las incertidumbres, seguido por el plátano y la piña (compatibles dentro de los errores) y finalmente el valor más bajo se observó en el chontaduro (304,65 Bq/Kg).

La capacidad de absorción de Potasio-40 de la planta desde el suelo de cultivo está en el intervalo 72–99 (%), se observó tres grupos de porcentajes que están conformados de la siguiente manera, el primer grupo con porcentajes de absorción mayores a 90% (limón meyer, toronja, guayaba y

chontaduro), el segundo grupo tiene porcentajes de absorción mayores a 80% (aguacate, piña y plátano) y el tercer grupo con porcentajes mayores a 70% (pitahaya, naranjilla y papaya).

Según el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR, 2008, pp. 233-234) el valor promedio mundial de la concentración de la actividad específica en suelos para el radionucleido Potasio-40 es (412 Bq/Kg), y los resultados obtenidos en este estudio son mayores al valor promedio a excepción del suelo de cultivo de la piña (381,54 Bq/Kg) y del suelo de cultivo de chontaduro (338,01 Bq/Kg). Para las frutas no se encontró niveles de referencia.

CONCLUSIONES

- Los resultados de las mediciones de Yodo-131 muestran este elemento que no está presente en las diez frutas estudiadas, la concentración de la actividad específica de Potasio-40 más alta se observó en la pitahaya (626 Bq/Kg) y el valor más bajo en el chontaduro (304,65 Bq/Kg). La naranjilla, el aguacate, el limón meyer, la toronja, la papaya, y la guayaba mostraron el mismo valor, dentro de las incertidumbres, así mismo el plátano y la piña son compatibles dentro de los errores experimentales.
- La concentración de la actividad específica de Potasio-40 en los suelos de cultivo está en el rango de 338-791 (Bq/Kg), mayores al valor promedio mundial a excepción del suelo de cultivo de la piña (381,54 Bq/Kg) y del suelo de cultivo de chontaduro (338,01 Bq/Kg). Yodo-131 en los suelos está bajo el nivel de detección del radiómetro ADANI Rug 91-2.
- La capacidad de absorción de Potasio-40 de las plantas frutales, cultivadas en suelos del Oriente Ecuatoriano, es variable, el limón meyer, la toronja, la guayaba y el chontaduro presentaron porcentajes de absorción mayores a 90%, el aguacate, la piña y el plátano mostraron porcentajes de absorción mayores a 80%, la pitahaya, la naranjilla y la papaya porcentajes de absorción mayores a 70%.

RECOMENDACIÓN

- Ampliar la base de datos sobre la presencia de Yodo-131 y Potasio-40 en otros alimentos, como vegetales, legumbres, entre otros, con un análisis complementario de los suelos de cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

IAEA. *Organismo Internacional de Energía Atómica.* [En línea], 2023. [Consulta: 25 de Enero de 2023]. Disponible en: <https://www.iaea.org/es/temas/radioisotopos>.

ACSA-UAB. *Mapaperills.* [En línea], 2019. [Consulta: 25 de Enero de 2023]. Disponible en: https://mapaperills.uab.cat/pdf/perills/502_Otros-Radioactividad_ES.pdf

AESAN. *Agencia española de seguridad alimentaria y nutrición.* [En línea], 2020. [Consulta: 25 de Enero de 2023]. Disponible en: https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetalle/contaminacion_radioactiva.htm

AGRICULTURA PASTAZA. *Grupofaro.* [En línea], 2021. [Consulta: 25 de Enero de 2023]. Disponible en: https://grupofaro.org/wp-content/uploads/2022/12/Pastaza-Desarrollo-economico_com.pdf

ALCARAZ, M. "Deteccion de radiacion ionizante". 2018, Manta: Santillan.

ANDRADE C. *Caracterización de la naranjilla (Solanum quitoense) común en tres estados de madurez.* 2015, Vol 16, pp. 215-221.

ANNUNZIATA, M. *Handbook of Radioactivity Analysis.* 2003.

ANON. *Evaluación de la calidad de pulpas de frutas congeladas.* 2002, Revista Do Instituto Adolfo Lutz.

ATSDR. *Resumen de salud pública : yodo.* Departamento de salud y servicios humanos de los EE.UU, 2004. pp. 4-11.

AVELLEIRA, S. *Datación de sedimentos y evaluación de la tasa de acumulación sedimentaria mediante el análisis de la radiactividad de Pb-210 y Cs-137.* 2015. Universidad de Cantabria.

BARREDO, F. *Determinacion y seguimiento de Y-131, Po-210 y otros radionucleidos en diferentes entornos laborales.* 2010. pp. 23-24.

BIRKS, L. *X-Ray Spectrochemical Analysis.* 1965. New York: Interscience.

BONZI, G. *Determinacion de k-40 en alimentos por espectrometria gamma con detector de nai (ti) y simulacion monte carlo.* 2012. p. 185.

BUSHONG, S. *Manual de radiología para técnicos: Física, biología y protección radiológica.* 11ª ed. 2018. Elsevier castellano.

CABRERA, F. *Detectores semiconductores.* [En línea], 2014. [Consulta: 25 de Enero de 2023]. Disponible en: https://fisica.usch.cl/sites/fisica/files/2014_cabrera_orellana_francisco_javier.pdf

CODEZ, S. *Normalización.* [En línea], 2013. [Consulta: 25 de Enero de 2023]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/CODEX-193.pdf>

CORTÉZ, C. "Efecto del tiempo y temperatura de pretratamiento de lavado y tipos de secado en la calidad de la fibra dietética obtenida a partir del bagazo de piña (ananas comosus)". *Scielo*, 2018. Vol 37, p. 18.

TEHERANI, D. *Determinación de yodo-131, cesio-134, cesio-137 en alimentos y pastos después del accidente de Chernóbil en Austria.* 1987. Salzburg: Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry.

HERNÁNDEZ, R. "Compuestos fenólicos bioactivos de la toronja (*Citrus paradisi*) y su importancia". 2016. 47(2), pp. 22-35.

DUNN & MCGREGOR. *Gamma-Ray Detectors.* 2012. Berlin: Handbook of Particle Detection and Imaging.

FAO. *La precipitación radiactiva sobre los suelos, los cultivos y los alimentos.* 1993. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación en colaboración con el Organismo Internacional de Energía Atómica.

FERNÁNDEZ, A & JOSÉ C. "Radiación natural en aire y suelos de las islas Canarias occidentales". *Universidad de La Laguna (Canary Islands, Spain) ProQuest Dissertations Publishing, 2022*, pp. 2-5.

FLORA, M. *Milazzoflora.* [En línea], 2010. [Consulta: 21 de Enero de 2023]. Disponible en: <https://www.milazzoflora.it/productos/citrus-limone-meyer/>

GLENN, F. *Radiation detection and measurement*. 3ª ed. Michigan: Library of Congress Cataloging. 2000.

CAÑAS, P. "Diversidad genética de cultivares de aguacate (persea americana) en antioquia, colombia". 2015. Vol 26, pp. 129-143.

GONZÁLEZ & BONZI. "Determinación de K-40 en alimentos por espectrometría gamma con un detector de NaI (TI) y simulacion monte Carlos". Montevideo: ANALES AFA. 2012.

GUIJARRO, J. "Desarrollo de un dispositivo portátil basado en un nuevo concepto de tratamiento y gestion de las excretas radiactivas procedentes de pacientes sometidos a terapoa metabólica con yodo-131". En: Málaga: Universidad de Málaga, 2015. p. 55.

HUACHI, Y & PAREDES. Desarrollo de la pitahaya (Cereus sp.) en Ecuador. *Universidad Politécnica Salesiana*, Issue 22, 2015. pp. 50-51.

INEC, 2013. *Norma general para los contaminantes y toxinas presentes en los alimentos y piensos*. Quito. 2013.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Criteria for Radionuclide Activity Concentrations for Food and Drinking Water. *Organización Mundial de la Salud*, 2016. p. 3.

ISHIKAWA, T. "Term changes in body potassium concentration and dose from k-40 for Japanese adult male group", 2000. pp. 420-433.

KNOLL, G. "Eficiencia de la radiación". En: A. Arbor, ed. *Radiation Detectibn and Measurement*. 3ª ed. New York: Third, 2000. p. 816.

LANENT. Lanentweb. [En línea]. 2010. [Consulta: 30 de Enero del 2023]. Disponible en: https://www.lanentweb.org/sites/default/files/docs/pdfs_nucleando/14_Radioisotopos.pdf.

LORÍA, J & BADILLA. "Evaluación radiológica de alimentos y de agua de consumo". 2007. pp. 53-59.

RINCÓN, L. "Manual Practico para cultivo". *Caricaceae*. 2002. pp. 96-99.

MÁRQUEZ, C & GARCIA, E. "Interacción de la radiación gamma con el centallador". En: I. Escalona, ed. *Detección de gammas y neutrones mediante dos líquidos centelladores de uso genérico*. México: Oax, 2018. p. 80.

MARTÍNEZ, M & PUEDMAG, C. Determinación de índices alfa y gamma de granitos comunmente usados como materiales de construcción en la ciudad de riobamba. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. 2021. [Consulta: 30 de Enero del 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15049>

NOM-088-SSA1-1994. "Norma Oficial Mexicana, China y Japón para alimentos de consumo masivo importados con contaminación por radionucleidos límites máximos permisibles". *Norma Oficial Mexicana, China y Japón para alimentos de consumo masivo importados con contaminación por radionucleidos límites máximos permisibles*. México DC.: s.n. 1994., pp. 1-7.

OIEA. "Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad". New York: s.n. 1996.

OIRSA. *Manual de Introducción a la Inocuidad de los alimentos*. [En línea], 2018. [Consulta: 12 de Enero del 2023]. Disponible en: <https://www.oirsa.org/contenido/2019/Manual%20de%20Introduccion%20a%20la%20Inocuidad%20de%20los%20alimentos%20-%20OIRSA.pdf>

OMS. "Niveles de intervención derivados para radionucleidos en los alimentos : normas aplicables en caso de contaminación radiactiva generalizada a consecuencia de un accidente nuclear grave". Ginebra: s.n. 1989.

OMS. *Organización Mundial de la Salud*. [En línea], 2016. [Consulta: 25 de Enero del 2023]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>.

ORTEGA, R., *Agroecuadortv*. [En línea], 2022. [Consulta: 25 de Enero del 2023]. Disponible en: <https://agroecuadortv.com/la-amazonia-ecuatoriana-es-una-gigantesca-fruteria-entre-ellas-exoticas/>

PUBLITEC S.A. *publitec.com.ar*. [En línea], 2022. [Consulta: 25 de Enero del 2023]. Disponible en: http://www.publitec.com.ar/system/noticias.php?id_prod=30&id_cat=4

RADIOLOGY, A. Radiologyinfo para pacientes. 2022 pp. 1-4.

RAI, A & JAISWAL. "Avances biotecnológicos en guayaba (*Psidium guajava* L.): desarrollos recientes y perspectivas para futuras investigaciones". 2010. pp. 1-12.

RODRÍGUEZ, O & LUCCA. "Comportamiento de variedades e híbridos de bananeira (*Musa* spp.), em dois ciclos de produção no sudoeste da Bahia". Bahia: INIBAP. 2006.

ROGLÁ, R. *La radiactividad*. Zaragoza: Rev. Real Academia de Ciencias. Zaragoza. 2004.

SANZ, J. *Estudio de nuevos detectores para espectrometría de radiación gamma*. 2017. Madrid: s.n.

TANCHIVA, F. Tecnología de producción y agroindustria del chontaduro. 1994. Volumen 20, p. 18.

UNSCEAR. *Sources and effects of ionizing radiation*. [En línea], 2008. [Consulta: 30 de Enero del 2023]. Disponible en: https://www.unscear.org/unscear/uploads/documents/unscearreports/UNSCEAR_2008_Report_Vol.I-CORR.pdf

URIBE, I. *Desarrollo de un detector de radiación gamma basado en un material orgánico centello-gráfico para imagen nuclear*. 2015. México: Universidad Autónoma Del Estado De México.

USECHE & PÉREZ. "Evaluación del movimiento intrafracción en pacientes de cáncer de mama tratados con radioterapia". 2016. Caracas: s.n.

VOLLBERT, M. "Fechamiento geológico por el método: Ar-40, Ar-39". 1992. Mexico: s.n.



ANEXOS

ANEXO A: RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE PIÑA



ANEXO B: RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE PLÁTANO



ANEXO C: RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE LIMÓN MEYER



ANEXO D: RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE CHONTADURO



ANEXO E: RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE GUAYABA



ANEXO F: RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE PAPAYA



ANEXO G: RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO DE CULTIVO DE PIÑA



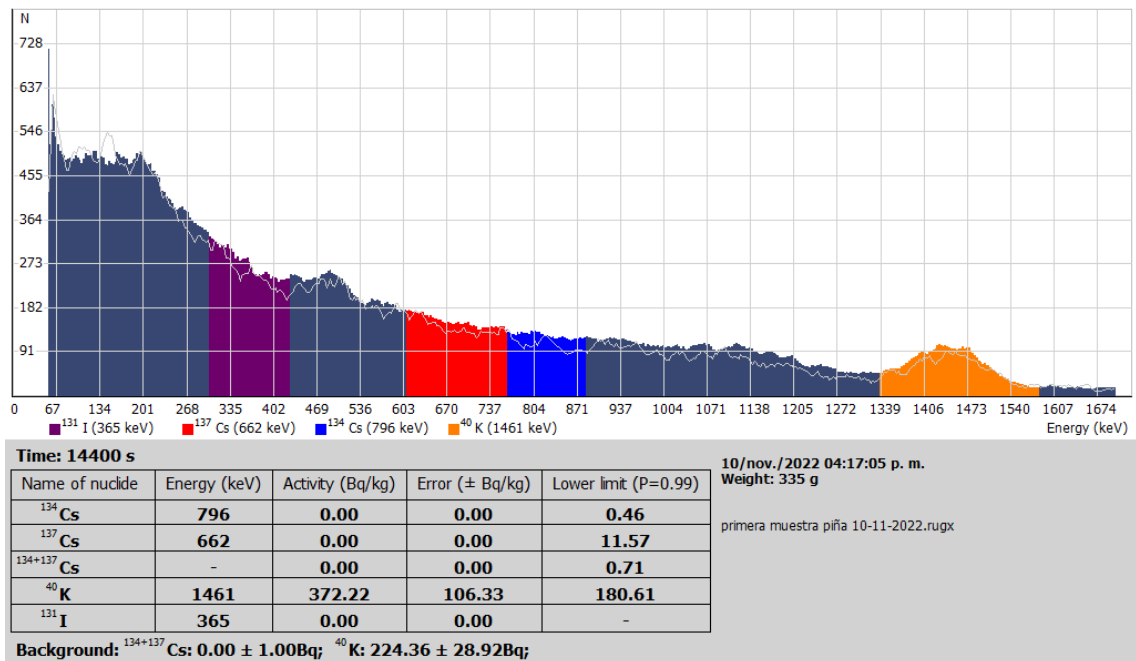
ANEXO H: RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO DE CULTIVO DE GUAYABA



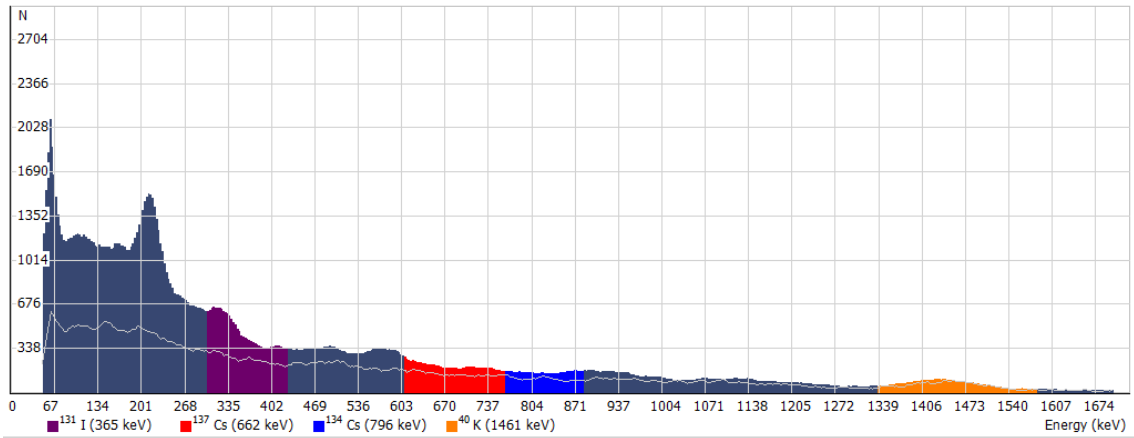
ANEXO I: RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO DE CULTIVO DE PLÁTANO



ANEXO J: RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL RADÍOMETRO ADANI RUG 91-2 DE UNA MUESTRA FRUTAL



ANEXO K: RESULTADO DE ANÁLISIS CON EL RADIÓMETRO RUG 91-2 DE UNA MUESTRA DE SUELO DE CULTIVO



Time: 14400 s

Name of nuclide	Energy (keV)	Activity (Bq/kg)	Error (\pm Bq/kg)	Lower limit (P=0.99)
¹³⁴ Cs	796	1.12	3.23	0.28
¹³⁷ Cs	662	5.61	3.34	7.04
¹³⁴⁺¹³⁷ Cs	-	6.73	3.36	0.43
⁴⁰ K	1461	322.82	70.25	109.81
¹³¹ I	365	0.39	0.08	-

Background: ¹³⁴⁺¹³⁷Cs: 0.00 ± 1.00 Bq; ⁴⁰K: 224.36 ± 28.92 Bq;

07/nov./2022 12:58:11 p. m.
Weight: 551 g
 primera muestra tierra pñã 07-11-2022.rugx



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: 30 / 06 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Darwin Miguel Velarde Guamán
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Física
Título a optar: Físico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1197-DBRA-UPT-2023