



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE BIOFÍSICA

**“CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE EXHALACIÓN DE RADÓN
DE LA PAPA, USANDO LA TÉCNICA ELECTRET ION
CHAMBER”**

Trabajo de titulación

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar al grado académico de:

BIOFÍSICO

AUTOR: DIEGO PATRICIO TENICOTA PACHA

DIRECTORA: Dra. Jheny Orbe Ordoñez

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, **Diego Patricio Tenicota Pacha**

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, Diego Patricio Tenicota Pacha, 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, 17 de marzo de 2021

Diego Patricio Tenicota Pacha

180477256-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE BIOFÍSICA

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo Trabajo Experimental: “**CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE EXHALACIÓN DE RADÓN DE LA PAPA, USANDO LA TÉCNICA ELECTRET ION CHAMBER**”, realizado por el señor **Diego Patricio Tenicota Pacha**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
..... Mat. Luis Marcelo Cortez Bonilla PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2021-03-17
Dra. Jheny Orbe Ordoñez DIRECTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2021-03-17
Biof. María Fernanda Heredia Moyano MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2021-03-17

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedicado a mis padres Patricio Tenicota y Gloria Pacha quienes, siempre me han apoyado y guiado a lo largo de la vida. Siempre con sus buenos consejos creyendo que lo imposible es posible cuando lo tomamos con calma, que no es una competencia sino, una carrera universitaria donde; lo más importante es no perder su esencia.

Diego

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad y capacidad de haber culminado otra etapa de mi vida, y esta vez en la ESPOCH. Además, agradecer a mis padres; Patricio Tenicota quien, con su carácter y mentalidad siempre estuvo apoyándome, a mi madre Gloria Pacha quien siempre creyó en la superación personal y en la formación académica, agradecerles infinitamente que a pesar de su condición económica siempre estuvieron para mí.

Agradecer también a los docentes que siempre han sido mucho más que profesores, han sido amigos. Los catedráticos quienes me enseñaron que es importante el conocimiento, pero siempre vale más una persona por su humildad.

Finalmente quiero agradecer a mi directora de tesis la Dra. Jheny por sembrar en mí lo que a lo largo de mi carrera no se dio por sentado; el amor a la experimentación e investigación. Que con su sabiduría y con trabajo mutuo pudimos sacar adelante este trabajo de titulación.

Diego

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
INDICE DE GRÁFICOS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
SUMMARY	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1. Exhalación de radón-222	3
<i>1.1.1. Radón-222</i>	<i>3</i>
<i>1.1.1.1. Radón-222 en alimentos</i>	<i>3</i>
<i>1.1.1.2. Radón en el cuerpo humano.....</i>	<i>4</i>
<i>1.1.2. Magnitudes físicas</i>	<i>4</i>
<i>1.1.2.1. Concentración de radón-222</i>	<i>4</i>
<i>1.1.2.2. Tasa de Exhalación superficial de radón.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.2.3. Tasa de Exhalación másica de radón.....</i>	<i>5</i>
1.2. Generalidades de la papa	5
<i>1.2.1. Definición.....</i>	<i>5</i>
<i>1.2.2. Composición química.....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.3. Cultivo de papa en Ecuador.....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.4. Variedades de papas estudiadas.....</i>	<i>7</i>
CAPÍTULO II	
2. MARCO METODOLÓGICO.....	10
2.1. Área de recolección de las muestras	10
2.2. Protocolo de preparación de las muestras.....	11
2.3. Técnica Electret Ion Chamber (EIC)	11
2.4. Procedimiento para evaluar la tasa de exhalación de radón	13

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	17
3.1.	Resultados de la tasa de exhalación superficial	17
3.2.	Resultados de tasa de exhalación másica.....	21
	CONCLUSIONES.....	26
	RECOMENDACIONES.....	27
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3: Tasa media de exhalación superficial de radón (corregida y no corregida por elevación) de cuatro variedades de papa con granulometría 3mm.....	17
Tabla 2-3: Tasa media de exhalación superficial de radón de papa con granulometría 3mm.....	19
Tabla 3-3: Tasa media de exhalación superficial de radón de las cuatro variedades de papa con granulometría 6mm.....	19
Tabla 4-3: Tasa media de exhalación másica de radón corregida (E_{mc}) y no corregida (E_m) por el FCE en cuatro variedades de papa con granulometría 3mm.....	21
Tabla 5-3: Tasa media de exhalación másica de radón de las cuatro variedades de papa con granulometría de 3mm y 6mm.....	22
Tabla 6-3: Tasa de exhalación superficial y másica de radón de las cuatro variedades de papa con granulometría de 3mm y 6mm.....	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Planta de papa.....	5
Figura 2-1:	Nutrientes de la papa por 100 gramos de papa hervida y pelada antes del consumo.....	6
Figura 3-1:	Papa Superchola.....	8
Figura 4-1:	Papa ICA- Única.....	8
Figura 5-1:	Papa Pera.....	9
Figura 6-1:	Papa Pusa.....	9
Figura 1-2:	Mercado Mayorista de Guaranda (Bellavista).....	10
Figura 2-2:	Sistema E-PERM para el análisis de la tasa de exhalación de radón de muestras de papa.....	12

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Tasa media de exhalación superficial de radón (corregida y no corregida por elevación) de cuatro variedades de papa con granulometría 3mm.....	18
Gráfico 2-3:	Tasa media de exhalación superficial de radón con granulometría 6mm.....	19
Gráfico 3-3:	Comparación de las tasas medias de exhalación superficial de radón con granulometría 3mm y 6mm.....	20
Gráfico 4-3:	Comparación de la tasa media de exhalación másica de radón de las cuatro variedades de papa con granulometría 3mm, calculadas con y sin el factor de corrección por elevación.....	21
Gráfico 5-3:	Tasa media de exhalación másica de radón de las diferentes variedades de papa con granulometría 3mm.....	22
Gráfico 6-3:	Tasa de exhalación másica de radón de variedades de papa con granulometría 6m.....	23
Gráfico 7-3:	Comparación entre tasa de exhalación másica de radón papa con granulometría 3mm y 6mm.....	24

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Protocolo de preparación de las muestras de papa.

RESUMEN

Este Trabajo de Titulación, realizado en el laboratorio de Técnicas Nucleares de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo extiende el uso de la técnica Electret Ion Chamber para determinar la tasa de exhalación superficial y másica de radón de cuatro diferentes variedades de papa (Pusa, Superchola, Única y Pera) cultivadas en la provincia de Bolívar. Diecinueve experimentos independientes fueron llevados a cabo, usando muestras de 72 gramos con granulometría de 3mm y 6mm. Para obtener resultados más precisos en los cálculos de exhalación superficial y másica se aplicó el factor de corrección por elevación (FCE). La tasa media de exhalación superficial y másica corregidos por el FCE muestran un valor mayor al 40% respecto a los no corregidos. Muestras de papa Superchola y Única con granulometría de 3mm presentan igual tasa media de exhalación superficial y másica, dentro de las incertidumbres (0.65 Bq por metro cuadrado por hora y 0.05 Bq por kilogramo por hora respectivamente), lo mismo ocurre para las variedades Pera y Pusa (0.45 Bq por metro cuadrado por hora y 0.03 Bq por kilogramo por hora respectivamente); sin embargo, los valores de las variedades Superchola y Única es mayor que para las variedades Pera y Pusa. Muestras de papa Superchola, Única, Pera y Pusa con granulometría de 6mm muestran la misma tasa media exhalación superficial y másica de radón (0.57 Bq por metro cuadrado por hora y 0.04 Bq por kilogramo por hora respectivamente). La granulometría de las muestras de papa influye en la tasa de exhalación superficial y másica de radón. Finalmente, con el fin de obtener un valor único de exhalación, se calculó el valor medio de las 19 medidas individuales, los resultados fueron de 0.55 Bq por metro cuadrado por hora y 0.05 Bq por kilogramo por hora respectivamente.

Palabras clave: <BIOFÍSICA>, <TÉCNICA ELECTRET ION CHAMBER>, <CONCENTRACIÓN DE RADÓN>, <FACTOR DE CORRECCIÓN POR ELEVACIÓN>, <FONDO GAMMA>, <TASA DE EXHALACIÓN SUPERFICIAL>, <TASA DE EXHALACIÓN MÁSIKA>, <GRANULOMETRÍA>.

SUMMARY

This Degree Thesis, carried out at the Nuclear Techniques Laboratory of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, extends the use of the Electret Ion Chamber technique to determine the surface and mass exhalation rate of radon from four different varieties of potato (Pusa, Superchola, Única and Pera) grown in the province of Bolívar. Nineteen independent experiments were carried out, using samples of 72 grams with a particle size of granulometry of 3mm and 6mm. In order to obtain more accurate results in the calculations of surface and mass exhalation, the elevation correction factor (ECF) was applied. The average rate of and mass exhalation corrected by the ECF show a value higher than 40% compared to the uncorrected ones. Superchola and Única potato samples with a particle size of 3 mm show equal mean surface and mass exhalation rate, within the uncertainties (0.65 Bq per square metre per hour and 0.05 Bq per square metre per hour). per square metre per hour and 0.05 Bq per kilogram per hour respectively), the same is true for the Pera and Pusa varieties. (0.45 Bq per square metre per hour and 0.03 Bq per kilogramme per hour respectively); however, the values for the varieties Superchola and Única are higher than for the varieties Pera and Pusa. Potato samples of Superchola, Única, Pera and Pusa with 6 mm particle size show the same average surface and mass radon exhalation rate (0.57 Bq per metre). (0.57 Bq per square metre per hour and 0.04 Bq per kilogram per hour respectively). The granulometry of the potato samples influences on the surface and mass exhalation rate of radon. Finally, in order to obtain a single exhalation value, the mean value of the 19 individual measurements was calculated, the results were 0.55 Bq per square metre per hour and 0.05 Bq per kilogram per hour respectively.

Keywords: <BIOPHYSICS>, <ELECTRET ION CHAMBER TECHNIQUE>, <RADON CONCENTRATION>, <ELEVATION CORRECTION FACTOR>, <GAMMA BACKGROUND>, <SURFACE EXHALATION RATE>, <MASS EXHALATION RATE>, <GRANULOMETRY>.

INTRODUCCIÓN

La alimentación es necesaria para la supervivencia y el desarrollo del ser humano. La radiactividad representa en el mundo una de las maneras más amplias de contaminación alimentaria. Los radioisótopos pueden migrar del suelo a las plantas a través de las raíces, y como resultado de esta migración, estos radioisótopos pueden ingresar al organismo humano por medio de la ingesta de este tipo de alimentos (Ahmed y Samad, 2014, pp.111-121).

Con lo anteriormente mencionado, a nivel mundial surge la preocupación sobre la seguridad alimentaria al momento de adquirir y consumir productos, de los cuales se esperan que estén bajo estándares internacionales de calidad y seguridad. En este marco, el gas radón-222 al ser un radioisótopo soluble en agua puede ser transportado de un lugar a otro con la probabilidad de ser absorbido por una gran variedad de plantas (Maged y Saad, 1998, pp.130-135); también está presente en los suelos y fertilizantes a base de fósforo (USEPA, 2020) que conllevan al incremento de la probabilidad de estar presentes en gran variedad de productos alimenticios que conforman la dieta humana, teniendo como consecuencias efectos estocásticos para la salud al tener una dosis efectiva por encima de los niveles de referencia, 1mSv/ año (IAEA, 2014, p.10).

El radón es ampliamente conocido por ser causante de cáncer de pulmón por inhalación, es por ello que la OMS recomienda no sobrepasar los 300 Bq m⁻³ de concentración de radón en interiores. Sin embargo, el radón también es posible causa de cáncer de estómago por ingestión de alimentos contaminados con este isótopo (USEPA, 2020).

Se han realizado varios estudios a nivel mundial sobre la presencia de este radioisótopo en productos alimenticios tales como la papa (Ahmed y Samad, 2014, pp.111-121), ajo, cebolla y zanahoria (Correa, 2019, pp 1-82), así como también en snacks (Hashim et al, 2019, p.030017). Los resultados de estas investigaciones muestran que los productos alimenticios exhalan radón.

Ecuador es un país en el cual la región Sierra ha sido caracteriza por el cultivo y consumo de papa a gran escala, en 2018 la superficie sembrada de papa a nivel nacional fue de 23 974 hectáreas con una producción de 269 201 toneladas (INEC, 2019, p.18) destinadas para el consumo de la población. Además, existen alrededor de 350 variedades de papas entre nativas y mejoradas. En la provincia de Bolívar, las variedades más consumidas por su valor nutricional, precio y aspecto físico son la Pusa, Superchola, Única y Pera

En este contexto, al ser la papa uno de los productos alimenticios cotidianos en la mesa ecuatoriana y en vista que el radón representa un riesgo para la salud de la población, en este presente trabajo de titulación se pretende determinar la tasa de exhalación de radón de las cuatro variedades de papas antes mencionadas (Pusa, Superchola, Única y Pera), cultivadas en la provincia de Bolívar, mediante la técnica Electret Ion Chamber, disponible en el laboratorio de Técnicas Nucleares de la ESPOCH.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Exhalación de radón-222

1.1.1. Radón-222

El radón es un gas noble inerte, su isótopo más común es el Rn-222, isótopo hijo de la desintegración del Ra-226 que este a su vez es producto de la cadena de desintegración del U-238 (Hashim et al, 2019, p.030017). El uranio se encuentra naturalmente en niveles variables en rocas y suelos (UNSCEAR, 2008).

Alguna fracción de radón producido en las rocas escapa al aire; por lo tanto, el radón está presente en la atmósfera. Así, simplemente al respirar, las personas del todo el mundo están expuestas a la radiación del radón y a sus productos de desintegración (UNSCEAR, 2008). La desintegración del radón-222 resulta en la liberación de partículas alfa que son un peligro potencial para la salud si este isótopo se inhala o ingiere. La vida media de este isótopo es 3.82 días (Cecil, 2000, pp. 175-194).

Además, como el radón es soluble en agua; entonces el agua subterránea que pasa a través de los suelos que contienen uranio contiene radón, cuando se usa agua potable, las personas están expuestas a este gas tanto en el agua que ingieren como al radón que se libera del agua al aire el cual es inhalado (UNSCEAR, 2008).

1.1.1.1. Radón-222 en alimentos

Los radionúclidos que se encuentran en mayor proporción en el suelo, pueden migrar del suelo y a los alimentos a través de las raíces de las plantas (Ahmed y Samad, 2014, pp. 111-121).

Fertilizantes a base de fósforo tienen la probabilidad de presentar trazas de radio-226 que decae en radón-222, incrementando así los niveles de concentración de este radioisótopo en las plantas (Maged y Saad, 1998, pp.130-135).

1.1.1.2. Radón en el cuerpo humano

Es generalmente reconocido que el principal peligro al inhalar radón es la irradiación del pulmón, conllevando a efectos estocásticos como cáncer. Sin embargo, otros órganos se ven afectados en menor cantidad como riñón, médula ósea y piel, provocando en esta última que los productos de decaimiento depositados en ella irradian las células basales (UNSCEAR, 2008, p. 295).

Adicionalmente, la ingesta de radón, principalmente al ingerir agua con altas concentraciones de radón, este gas irradia el estómago. El radón que se encuentra presente en alimentos, al ser ingeridos, las partículas alfa de este radioisótopo pueden conllevar a efectos estocásticos en el organismo como cáncer de estómago (USEPA-2020).

Las partículas alfa, como producto de desintegración del radón, irradian las células que recubren las paredes del estómago (tejido epitelial), produciendo un cambio en su patrón genético, dando lugar a la formación de células cancerígenas.

Niveles de referencia de dosis efectiva de radón en alimentos

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) mediante la publicación del Codex Alimentario, establecen que la dosis efectiva anual para un individuo por ingesta de radionúclidos no debe exceder el valor de 1mSv/año (IAEA, 2020, p.1).

De igual manera la Organización Internacional de Energía Atómica en su publicación “International Basic Safety Standards GSR Part 3”, indica que el nivel de referencia de dosis efectiva anual por ingesta de radionúclidos en alimentos no debe superar 1mSv/año (IAEA, 2020, p.1).

1.1.2. Magnitudes físicas

1.1.2.1. Concentración de radón-222

Actividad de gas radón expresada como desintegraciones por unidad de tiempo en un determinado volumen de aire. Como unidad de medida para la concentración de radiactividad se emplea el Becquerelio por metro cúbico (Bq m^{-3}) (OMS, 2015).

1.1.2.2. Tasa de Exhalación superficial de radón

Es la concentración de radón liberada por unidad de superficie durante un intervalo de tiempo
(Fuente, 2016, p.11).

1.1.2.3. Tasa de Exhalación másica de radón

Es la concentración de radón liberada por unidad de masa durante un intervalo de tiempo.

1.2. Generalidades de la papa

1.2.1. Definición

La papa (*Solanum tuberosum*) es una herbácea que alcanza una altura de 1 metro, produce un tubérculo, la papa, con abundante contenido en almidón que ocupa el cuarto lugar como alimento importante (FAO,2008).



Figura 1-1. Planta de papa

Fuente: (FAO, 2008)

Como se observa en la Figura 1-1, al crecer, las hojas compuestas de la planta de la papa producen almidón, el cual se desplaza hacia la parte final de los tallos subterráneos, también llamados estolones. Estos tallos sufren a consecuencia un engrosamiento y así se producen hasta 20 tubérculos cerca de la superficie del suelo. El número de tubérculos que llegan a madurar depende de la disponibilidad de humedad y nutrientes del suelo. El tubérculo puede tener formas y tamaños distintos, y por lo general pesa hasta 300 g (FAO, 2008).

1.2.2. Composición química

Generalmente la papa está formada químicamente por:

- Agua: 72 – 75 %
- Almidón: 16 - 20 %
- Proteínas: 2 – 2.5 %
- Ácidos grasos: 0.15 %
- Fibra: 1 – 1.8 %

Y como lo señala la Figura 2-1, en 100 gramos de papa hervida y pelada antes del consumo, encontramos la siguiente distribución de nutrientes: 379 mg de potasio, 44 mg de fósforo, 0.31 mg de hierro, 0.106 mg de tiamina, 0.02 mg de riboflavina, 13.0 mg de vitamina C, 1.87 g de proteínas, 0.1 g de grasa, 1.8 g de fibra, 20.13 g de carbohidratos y 5mg de calcio.

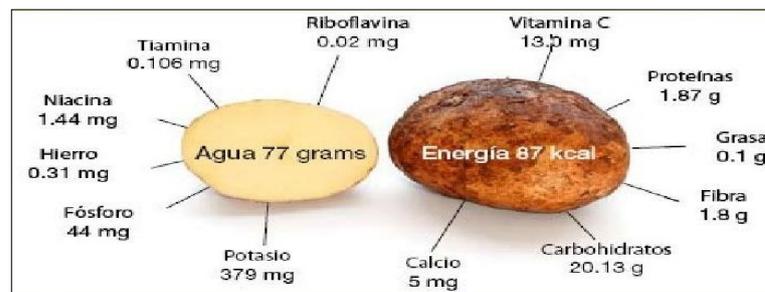


Figura 2-1. Nutrientes de la papa por 100 gramos de papa hervida y pelada antes del consumo.

Fuente: (FAO, 2008)

1.2.3. Cultivo de papa en Ecuador

Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2018, la superficie sembrada de papa a nivel nacional fue de 23 974 hectáreas. Teniendo la siguiente distribución:

- Chimborazo: 15.9 %
- Cotopaxi: 14.6 %
- Tungurahua: 10.2 %
- Pichincha: 7.6 %
- Carchi: 27.3 %
- Otras provincias: 24.4 %

Más de 82 mil agricultores se dedican al cultivo de papa en 11 provincias y 81 cantones (Ministerio de Cultura y Ganadería, 2020). La demanda nacional del producto es del 74% en consumo doméstico, 9% consumo industrial y 17% semilla (Mancero, L, 2020).

En el Ecuador existen alrededor de 350 variedades de papas, entre especies nativas y mejoradas.

Las variedades nativas son el resultado de domesticación, selección y conservación ancestral (Torres et al., 2011), para el consumo en fresco destacan por su sabor y valor nutritivo 11 tipos de papas: Uvilla, Dolores, Calvache, Chiwila, Tushpa, Coneja negra, Yema de huevo, Leona negra, Chaucha colorada, Bolona y Chola. Mientras que las variedades mejoradas son producto del mejoramiento genético, teniendo un mayor rendimiento en el cultivo, resistencia a enfermedades y buena calidad culinaria (Torres et al., 2011), las especies mayormente cultivadas son: Santa Catalina, María, Cecilia o Pera, Gabriela, Esperanza, Fripapa 99, Rosita, Santa Isabel, Soledad Cañari, Raymipapa, Suprema, Superchola, papa Pan, Pusa, Estela, Natividad, Santa Ana, Puca Shungo, Yana Shungo, Victoria, Diamante, Clon Carolina, Clon Libertad, ICA Única y Diacol Capiro.

1.2.4. Variedades de papas estudiadas

Las variedades de papas que más destacan en la Zona Centro de la Sierra del Ecuador (Provincias de Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar) por su valor nutricional, aspecto físico, sabor y precio son las siguientes:

- **Superchola:** Produce tubérculos ovalados, con ojos superficiales, color rosado con pulpa amarilla, como lo muestra la Figura 3-1. Cultivada entre 2800 y 3600 metros de altitud. Proviene de los cruzamientos realizados con las variedades (Curipamba negra y *Solanum*

demissum) y (clon resistente con comida amarilla y chola seleccionada). Liberada en 1984 (Torres et al., 2011).

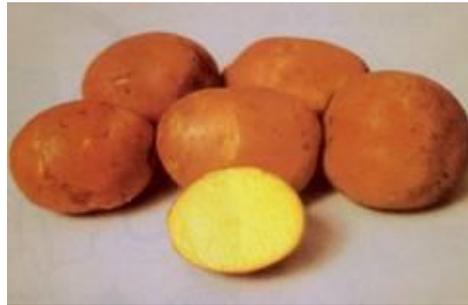


Figura 3-1. Papa Superchola

Fuente: (Torres et al., 2011)

- **ICA Única:** Produce tubérculos con superficie color crema con presencia de ojos morados y pulpa amarillo-claro, como se observa en la Figura 4-1. Cultivada entre 2000 y 3500 metros de altitud. Creada en Colombia por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), resultado del cruzamiento con E-59-42 (Clon neotuberosum ssp adg) y Masal de polen (variedades nativas colombianas). Liberada en 1995 (Torres et al., 2011).



Figura 4-1. Papa ICA Única

Fuente: (Torres et al., 2011)

- **Papa Pera:** Conocido comúnmente como INIAP-Cecilia. Tubérculo medianamente grande, forma elíptica, superficie color amarillo con ojos superficiales y pulpa color amarillo pálido, como se aprecia en la Figura 5-1. Especie mejorada, resultado del cruzamiento con las variedades Vertifolia y Jabonilla, liberada en 1981. Maduración 170-190 días a altitudes entre 2600-3200 metros (Torres et al., 2011).

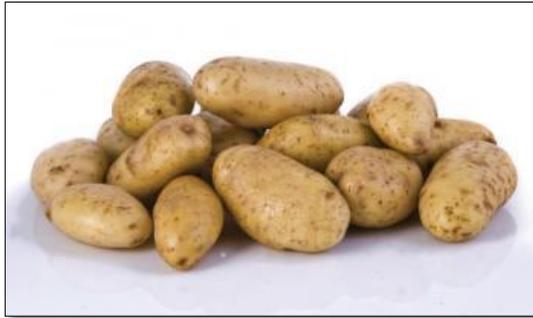


Figura 5-1. Papa Pera

Fuente: (Torres et al., 2011)

- **Papa Pusa:** Variedad de papa cultivada en la zona andina del Ecuador, caracterizada por su superficie tipo ovalada color negro y crema con ojos superficiales, pulpa color blanquecino, como se muestra en la Figura 6-1.



Figura 6-1. Papa Pusa

Realizado por: Tenicota, Diego.2021

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Área de recolección de las muestras

Las muestras de papa fueron recolectadas en el mercado Mayorista del cantón Guaranda de la provincia de Bolívar; este mercado es uno de los más concurridos tanto por los productores de papa, quienes expenden sus productos al por mayor, así como los consumidores que acuden masivamente a este lugar para adquirir directamente de los productores la papa por quintales. Cabe mencionar que este mercado abastece a la mayor parte a la población de la provincia de Bolívar.

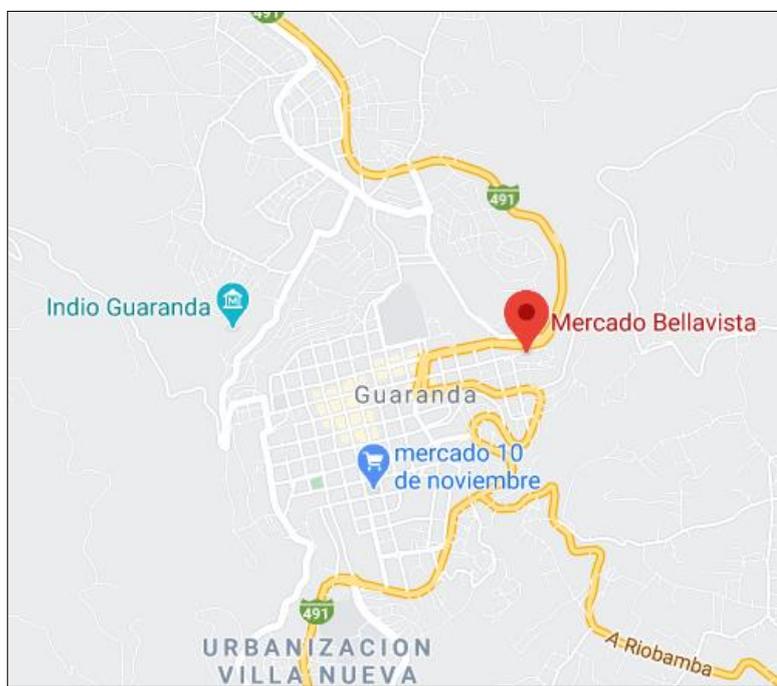


Figura 1-2. Mercado Mayorista de Guaranda (Bellavista)

Fuente: (Google Maps, 2021)

2.2. Protocolo de preparación de las muestras

a. Limpieza y secado

Las muestras de las cuatro variedades de papa deben estar completamente limpias, eliminando todo rastro de tierra o cualquier sustancia ajena. Las papas limpias se secan al aire libre

b. Rebanado

Las papas son rebanadas en rodajas finas y colocadas en un recipiente de manera que no se sobrepongan.

c. Deshidratación

Las muestras rebanadas son deshidratadas a una temperatura de 57 grados centígrados por 72 horas.

d. Trituración

Las papas deshidratadas son trituradas para obtener dos tipos de granulometría: 3mm y 6mm.

2.3. Técnica Electret Ion Chamber (EIC)

La técnica EIC es comúnmente usada para evaluar la tasa de exhalación de materiales, en esta investigación la técnica fue adaptada para estudiar la tasa de exhalación de cuatro variedades de papa (Pusa, Superchola, Única y Pera).

La configuración experimental consiste en una cámara de ionización, modelo S, un Electret Short Term (detector de corto plazo), un contenedor de vidrio de 4 litros y un lector de voltaje de Electrets. El sistema de detección cámara - Electret es comercialmente conocido como E-PERM, desarrollado, manufacturado y comercializado por Rad Elec. Inc de Estados Unidos.

La Figura 2-2 (izquierda) muestra un experimento para calcular la tasa de exhalación de una muestra de papa. A la derecha se presenta una cámara de ionización modelo S abierta y cerrada, un Electret ST y el lector de voltaje de Electrets.



Figura 2-2. Sistema E-PERM para el análisis de la tasa de exhalación de radón de muestras de papa.

Realizado por: Tenicota, Diego. 2021

Un Electret es un disco de teflón cargado positivamente. Esta carga produce un fuerte campo electrostático capaz de recolectar iones negativos producidos por el radón y sus productos de decaimiento. La carga del Electret está caracterizada por su potencial de superficie, diámetro y espesor (Kotrappa et al., 1990, pp. 461-467).

Los Electrets Short Term son el tipo más sensible que ofrece Rad Elec Inc. y, por lo general, son los Electrets más adecuados para pruebas de radón a corto plazo que duran menos de tres meses. El voltaje de fabrica es alrededor de 700 voltios.

La cámara de ionización es una pequeña cámara plástica (volumen 210 ml) que se acopla en la parte inferior con el Electret, tiene una entrada filtrada en la parte superior para permitir el ingreso del radón. Los productos de decaimiento formados dentro de la cámara generan iones que son recolectados por el Electret. La caída de tensión del Electret durante un periodo de tiempo, puede ser convertida en concentración de radón (Kotrappa et al., 1990, pp. 461-467).

El lector de voltaje SPER-1E permite leer el voltaje en la superficie del Electret. Viene con un estuche de transporte seguro, un juego de dos Electrets de referencia y un Electret de puesta a cero.

El contenedor de 4 litros de vidrio tiene sellos de goma y un collar metálico ajustable que lo convierte en un acumulador hermético de radón. Este se ha utilizado con éxito para medir el radón

en el agua y tasa de exhalación de radón de los materiales de construcción, en este trabajo de investigación fue usado como acumulador de gas radón proveniente de las muestras de cuatro variedades de papa.

2.4. Procedimiento para evaluar la tasa de exhalación de radón

Para evaluar la tasa de exhalación superficial o también llamado coeficiente de exhalación de radón se realizó bajo la siguiente metodología:

La muestra de papa es colocada en un recipiente de plástico y posteriormente pesada. En particular, en este estudio se utilizó cajas rectangulares de plástico de 7.8 cm de largo por 5.3 cm de ancho por 2.3 cm de alto.

La preparación del sistema de detección inicia midiendo el voltaje inicial del Electret e inmediatamente colocándolo en la base de la cámara de ionización. La cámara debe permanecer cerrada hasta el inicio de la medida.

El procedimiento consiste en encerrar la muestra de papa colocada en un contenedor en el fondo del contenedor de vidrio de 4 litros y sellarlo herméticamente con el sistema de detección suspendido en el aire (cámara de ionización abierta). Al final del período de exposición deseado, se abre el contenedor se cierra la cámara y se mide el voltaje final del Electret. Los voltajes final e inicial y las respectivas fechas y hora de inicio y fin de la medida deben ser registradas cuidadosamente.

• Cálculo de la tasa de exhalación superficial

La tasa de exhalación superficial en un periodo de exposición T está dado por la siguiente ecuación (Kotrappa y Stieff, 2009, pp. 163-166):

$$E_s = \frac{C_{Rn} \times V_{neto} \times \lambda_{Rn}}{A \cdot K} \quad (1)$$

Donde:

E_s , tasa de exhalación superficial en $\text{Bq m}^{-2} \text{d}^{-1}$

C_{Rnc} , concentración de radón en Bq m^{-3} .

V_{neto} , volumen neto de aire en el acumulador en m^3 . Resultado de restar los volúmenes del contenedor, de la muestra y de la cámara de ionización del volumen del acumulador.

λ_{Rn} , constante de decaimiento del radón: $0.1814 d^{-1}$.

A , área de exhalación de la muestra en m^2 .

K , es una constante adimensional, depende del tiempo de exposición, dada por:

$$K = 1 - \left(\frac{1 - e^{-\lambda_{Rn}T}}{\lambda_{Rn} T} \right) \quad (2)$$

- **Cálculo de la tasa de exhalación másica**

La tasa de exhalación másica puede ser evaluada usando la Ecuación (1), reemplazando el área de exhalación por la masa de la muestra:

$$E_m = \frac{C_{Rn} \times V_{neto} \times \lambda_{Rn}}{M \cdot K} \quad (3)$$

Donde E_m es la tasa de exhalación másica en $Bq kg^{-1} d^{-1}$ y M es la masa en kilogramos de las muestras de papa.

Parámetro fundamental para determinar la tasa de exhalación superficial y másica es la evaluación de la concentración de radón en el aire dentro del acumulador, como muestran las Ecuaciones (1) y (3). A continuación, se detalla el procedimiento para el cálculo de la concentración.

- **Cálculo de la concentración de radón**

La concentración de gas radón usando la técnica Electret Ion Chamber, en particular el sistema de detección SST (cámara S y Electret ST) se evalúa usando la Ecuación (4) (Kotrappa et al., 1990, pp. 461-467):

$$C_{Rn} = \frac{(V_i - V_f)}{(T)(FC)} - BG \quad (4)$$

Donde:

C_{Rn} , concentración de radón en Bq m⁻³.

V_i y V_f , voltaje inicial y final de los Electrets.

T , periodo de exposición en días.

BG (Background), es la concentración de radón equivalente a la radiación natural gamma de fondo. Un background de 0.1 μ Gy/h (10 μ rad/h) es equivalente a 32 Bq m⁻³.

El factor de calibración (FC) para Electrets Short Term, está expresado en unidades de voltaje por Bq m⁻³ d, y es evaluado usando la Ecuación 5 (Kotrappa y Stieff, 1992, pp. 82-86):

$$FC = 0.04241 + 0.0000338 \times \frac{(V_i + V_f)}{2} \quad (5)$$

- **Concentración de radón corregida por el factor de elevación**

Los monitores de radón E-PERM generalmente se calibran en una cámara de radón estándar ubicada al nivel del mar. Se necesitan correcciones si los monitores se utilizan en alturas distintas del nivel del mar. El factor de corrección por elevación para cámara S para elevaciones mayores a 1200 metros sobre el nivel del mar se evalúa con la siguiente expresión (Kotrappa y Stieff, 1992, pp. 82-86):

$$FCE = 0.77 + 6.30 \times \frac{H}{30480} \quad (6)$$

Donde:

H , es la elevación en metros del lugar donde se realiza el análisis de las muestras.

La concentración de radón corregida es el resultado de aplicar el factor de corrección por elevación, como lo indica la Ecuación (7):

$$C_{Rnc} = \left[\frac{(V_i - V_f)}{(T)(FC)} \right] FCE - BG \quad (7)$$

De lo antes mencionado es evidente la necesidad de medir el fondo gamma del lugar donde se realiza las medidas antes de evaluar la concentración de radón en aire (Ec. 4). En el caso de esta investigación se usó un espectrómetro AT6102 marca ATOMTEX para evaluar este parámetro en el laboratorio de Técnica Nucleares de la ESPOCH.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

La tasa de exhalación superficial y másica de radón-222 de las cuatro variedades de papa empleando la técnica Electret Ion Chamber fue determinada siguiendo el procedimiento descrito en el Capítulo II.

El laboratorio de Técnicas Nucleares de la ESPOCH está a 2764 msnm, el factor de corrección por elevación es 1.34 y el valor medio de fondo gamma es 0.085 ± 0.005 uGy/h, medido con el espectrómetro AT6102 marca ATOMTEX.

El volumen de aire neto dentro del contenedor fue de 3.434 litros, el área de exhalación y masa de la muestra fueron de 0.0041 m^2 y 72 g respectivamente.

Para cada una de las variedades de papa se analizó dos muestras con granulometría de 3mm y tres muestras con granulometría de 6 mm, excepto para la papa pera (dos muestras), detalles en Tabla (6-3). El tiempo de exposición de cada muestra fue de 7 días.

Los resultados que se presentan en las tablas son valores medios, excepto la última que muestran resultados individuales.

3.1. Resultados de la tasa de exhalación superficial

El valor medio de la tasa de exhalación superficial corregida (E_{sc}) y no corregida (E_s) por elevación con granulometría de 3mm se presentan en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3: Tasa media de exhalación superficial de radón (corregida y no corregida por elevación) de cuatro variedades de papa con granulometría 3mm.

Variedades de papa	E_{sc} ($\text{Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	E_s ($\text{Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)
Pusa	0.433 ± 0.047	0.222 ± 0.046
Superchola	0.645 ± 0.049	0.381 ± 0.049
Única	0.657 ± 0.051	0.384 ± 0.051
Pera	0.457 ± 0.045	0.238 ± 0.045

Realizado por: Tenicota, Diego. 2021

El Gráfico 1-3 muestra los valores de la Tabla 1-3, en color rojo, la tasa media de exhalación superficial de radón corregida por el factor de elevación, en color violeta, la tasa media de exhalación superficial sin corregir. Es evidente que los valores corregidos son significativamente mayores que aquellos sin corregir. Por ejemplo, para la papa Pusa, la tasa media de exhalación superficial corregida es mayor en un 49%.

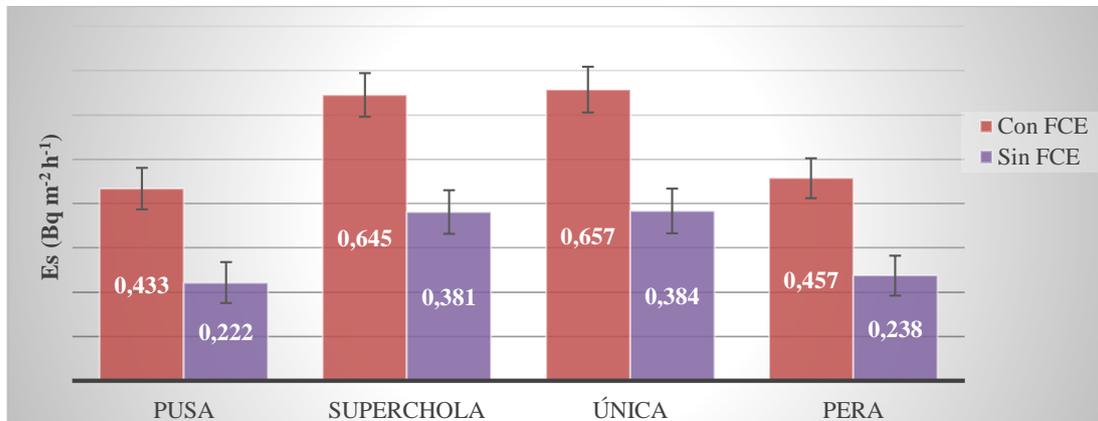


Gráfico 1-3: Tasa media de exhalación superficial de radón (corregida y no corregida por elevación) de cuatro variedades de papa con granulometría 3mm.

Realizado por: Tenicota, Diego. 2021

Los resultados de la tasa de exhalación superficial y concentración de radón, que se presentan a **continuación** están corregidos por elevación.

La Tabla 2-3 muestra en la segunda columna la concentración media de radón en aire. El valor máximo de 44.4 Bq m⁻³ corresponde a la papa Superchola y el valor mínimo de 29.7 Bq m⁻³ a la papa Pusa. La tercera columna presenta los resultados de la tasa media de exhalación superficial de las muestras de papa con granulometría 3mm. Se observa que las papas Superchola y Única presentan el mismo valor de la tasa media de exhalación superficial, dentro de las incertidumbres, (0.65 Bq m⁻² h⁻¹); de igual forma las papas Pera y Pusa exhiben la misma tasa media de exhalación (0.45 Bq m⁻² h⁻¹). Las variedades Superchola y Única muestran mayor exhalación que las variedades Pera y Pusa.

Tabla 2-3: Tasa media de exhalación superficial de radón de papa con granulometría 3mm.

Variedad de papa	C_{Rn} (Bq m ⁻³)	E_s (Bq m ⁻² h ⁻¹)
Pusa	29.73 ± 3.14	0.433 ± 0.047
Superchola	44.42 ± 3.34	0.645 ± 0.049
Única	42.96 ± 3.28	0.657 ± 0.051
Pera	30.57 ± 3.02	0.457 ± 0.045

Realizado por: Tenicota, Diego. 2021

La Tabla 3-3 ilustra la tasa media de exhalación superficial y la concentración media de radón de las cuatro variedades de papa con granulometría 6mm.

Tabla 3-3: Tasa media de exhalación superficial de radón de las cuatro variedades de papa con granulometría 6mm.

Variedad de papa	C_{Rn} (Bq/m ³)	E_s (Bq/h/m ²)
Pusa	38.65 ± 2.60	0.593 ± 0.040
Superchola	39.29 ± 2.60	0.528 ± 0.036
Única	34.51 ± 2.78	0.553 ± 0.044
Pera	39.85 ± 3.56	0.597 ± 0.054

Realizado por: Tenicota, Diego. 2021

El Gráfico 2-3 muestra los valores de la Tabla 3-3. Se observa que dentro de los errores experimentales las cuatro variedades de papa presentan igual tasa media de exhalación superficial de radón (0.57 Bq m⁻² h⁻¹).

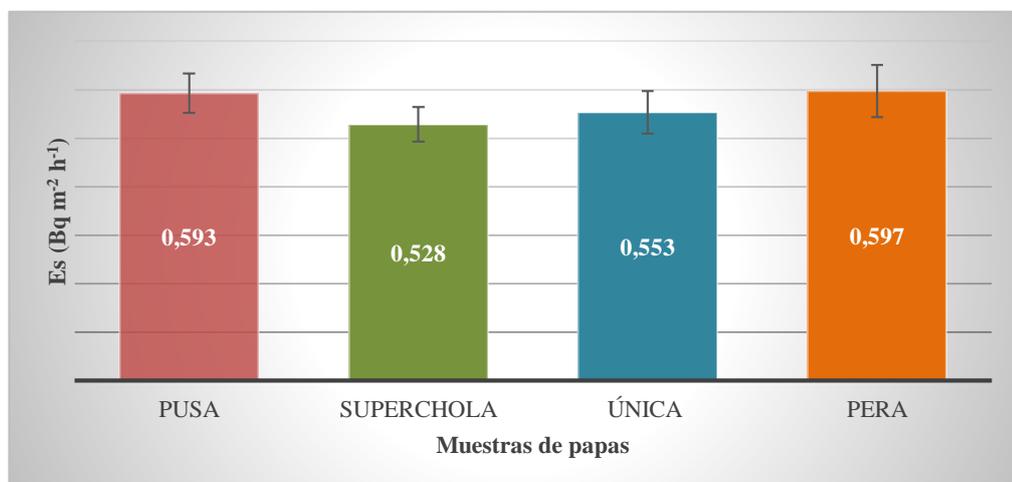


Gráfico 2-3: Tasa media de exhalación superficial de radón con granulometría 6mm.

Realizado por: Tenicota, Diego. 2021

El Gráfico 3-3 compara los resultados de la tasa media de exhalación superficial de radón de las cuatro variedades de papa con granulometría de 3mm y 6mm. Las papas Superchola y Única con granulometría 3mm exhalan más que con granulometría 6mm. Por el contrario, las papas Pusa y Pera, exhalan más con granulometría de 6mm que con granulometría de 3mm.

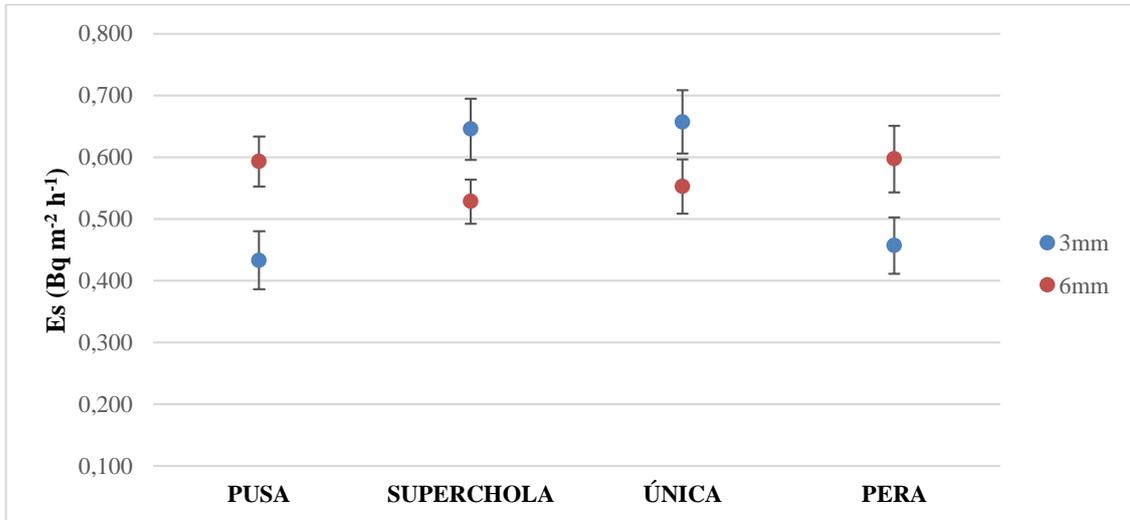


Gráfico 3-3: Comparación de las tasas medias de exhalación superficial de radón con granulometría 3mm y 6mm.

Realizado por: Tenicota, Diego. 2021

3.2. Resultados de tasa de exhalación másica

La tasa media de exhalación másica de radón corregida (E_{mc}) y no corregida (E_m) por el FCE en las cuatro variedades de papa con granulometría 3mm se presentan en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3: Tasa media de exhalación másica de radón corregida (E_{mc}) y no corregida (E_m) por el FCE en cuatro variedades de papa con granulometría 3mm.

Variedades de papa	E_{mc} (Bq kg h ⁻¹)	E_m (Bq kg h ⁻¹)
Pusa	0.032 ± 0.003	0.017 ± 0.003
Superchola	0.045 ± 0.004	0.027 ± 0.004
Única	0.048 ± 0.004	0.028 ± 0.004
Pera	0.031 ± 0.003	0.016 ± 0.003

Realizado por: Tenicota, Diego. 2021

El Gráfico 4-3 muestra los valores de la Tabla 4-3, en color azul, los resultados de la tasa media de exhalación másica de radón corregida por elevación, mientras que en color verde los resultados la tasa media de exhalación másica sin corregir. La comparación muestra que los valores de exhalación corregidos son significativamente mayores a los resultados no corregidos. Por ejemplo, la tasa media de exhalación másica corregida de la papa Pusa es mayor que el valor no corregido en un 47%.

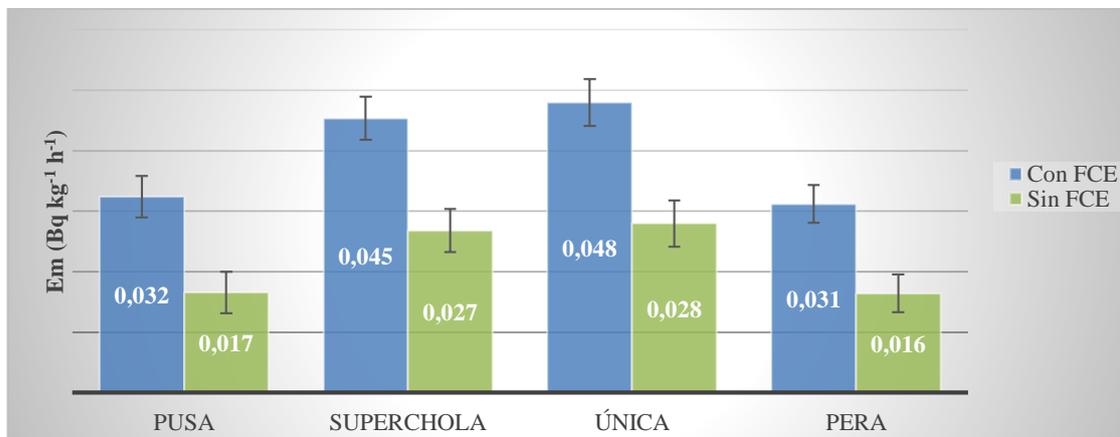


Gráfico 4-3: Comparación de la tasa media de exhalación másica de radón de las cuatro variedades de papa con granulometría 3mm, calculadas con y sin el factor de corrección por elevación.

Realizado por: Tenicota, Diego. 2021

Los resultados de la tasa de exhalación másica y concentración de radón, que se presentan a **continuación** están corregidos por elevación.

Los resultados de la tasa media de exhalación másica de radón de las cuatro variedades de papa con granulometría 3mm (columna 2) y 6mm (columna 3) se muestran en la Tabla 5-3.

Tabla 5-3: Tasa media de exhalación másica de radón de las cuatro variedades de papa con granulometría de 3mm y 6mm.

Variedad de papa	E_m (3mm) (Bq kg h ⁻¹)	E_m (6mm) (Bq kg h ⁻¹)
Pusa	0.032 ± 0.003	0.041 ± 0.003
Superchola	0.045 ± 0.004	0.038 ± 0.003
Única	0.048 ± 0.004	0.039 ± 0.004
Pera	0.031 ± 0.003	0.041 ± 0.004

Realizado por: Tenicota, Diego. 2021

Los Gráficos 5-3 y 6-3 ilustran los resultados de tasa media de exhalación másica de radón presentados en la Tabla 5-3.

En el Gráfico 5-3 se puede apreciar que las papas Superchola y Única de granulometría 3mm, presentan una exhalación másica mayor que las variedades Pusa y Pera. Dentro de los errores experimentales las papas Superchola y Única presentan la misma tasa media de exhalación másica de radón (0.05 Bq kg⁻¹ h⁻¹); el mismo análisis aplica para las variedades Pusa y Pera (0.03 Bq kg⁻¹ h⁻¹).

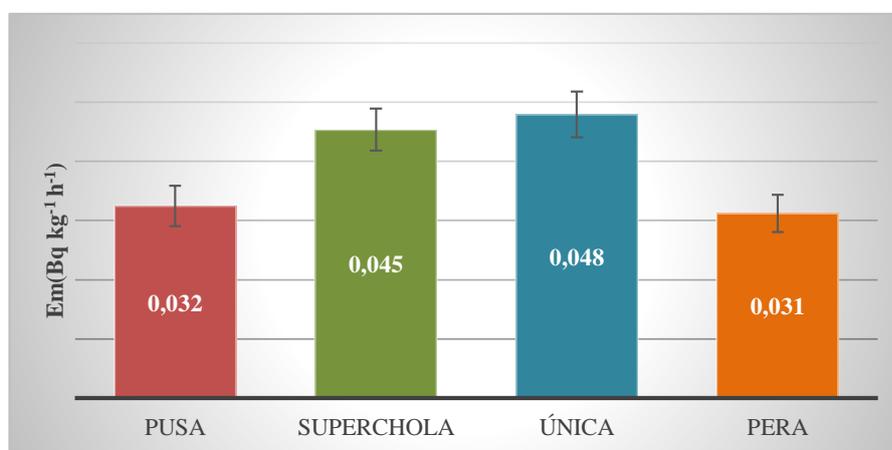


Gráfico 5-3: Tasa media de exhalación másica de radón de las diferentes variedades de papa con granulometría 3mm.

Realizado por: Tenicota, Diego. 2021

El Gráfico 6-3 muestra que dentro de los errores experimentales, la tasa media de exhalación másica de radón es la misma para todas las variedades de papa con granulometría de 6mm ($0.04 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

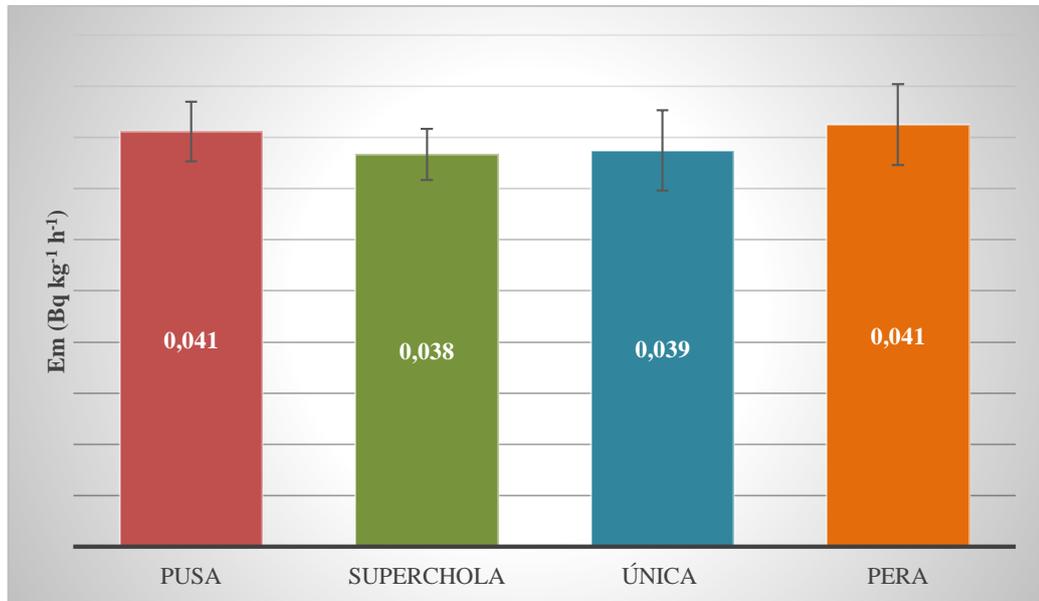


Gráfico 6-3: Tasa de exhalación másica de radón de variedades de papa con granulometría 6mm.

Realizado por: Tenicota, Diego. 2021

El Gráfico 7-3 visualiza el efecto de la granulometría de la muestra en determinación de la tasa de exhalación másica. Las papas Superchola y Única con granulometría 3mm exhalan más que con granulometría 6mm. Por el contrario, las papas Pusa y Pera, exhalan más q con granulometría de 6mm que con granulometría de 3mm.

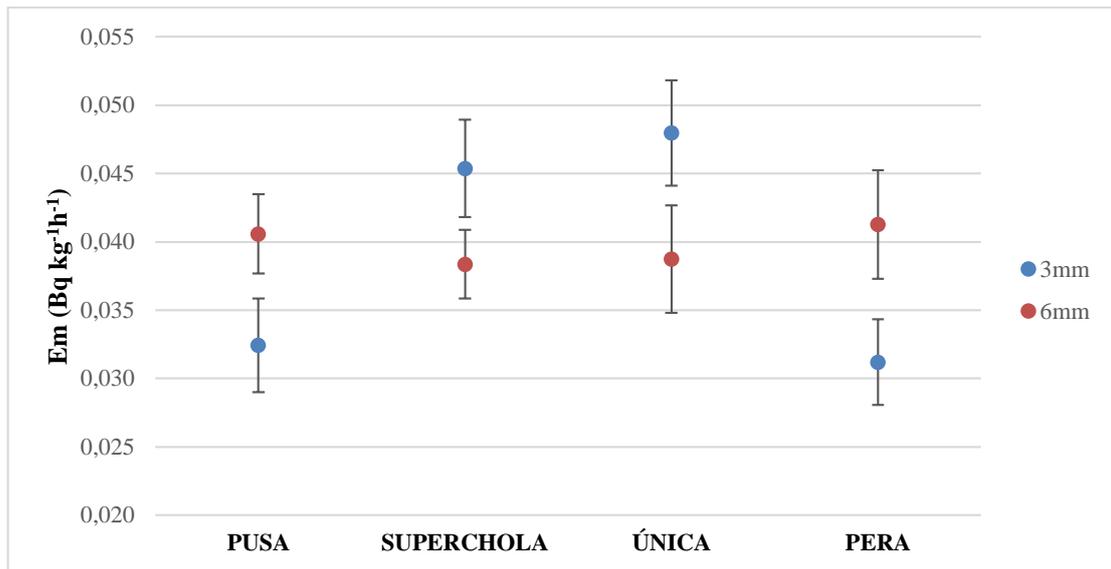


Gráfico 7-3: Comparación entre tasa de exhalación másica de radón papa con granulometría 3mm y 6mm.

Realizado por: Tenicota, Diego. 2021

El detalle de los resultados de los 8 experimentos individuales con las cuatro variedades de papa con granulometría de 3mm, y 11 experimentos con granulometría de 6mm, se presenta en la Tabla (6-3). El valor medio de la tasa de exhalación superficial de las 19 medidas fue $0.55 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ con una desviación estándar de $0.10 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. El valor medio de la tasa de exhalación másica de las 19 medidas fue $0.05 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ con una desviación estándar de $0.02 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Tabla 6-3: Tasa de exhalación superficial y másica de radón de las cuatro variedades de papa con granulometría de 3mm y 6mm.

Muestra granulometría 3mm	Código Electret	$V_i - V_f$	C_{Rn} (Bq m^{-3})	Error absoluto (Bq m^{-3})	E_s ($\text{Bq h}^{-1}\text{m}^{-2}$)	Error absoluto ($\text{Bq h}^{-1}\text{m}^{-2}$)	E_m ($\text{Bq h}^{-1}\text{kg}^{-1}$)	Error absoluto ($\text{Bq h}^{-1}\text{kg}^{-1}$)
Pusa	SKR 687	16	29.23	4.58	0.391	0.062	0.031	0.005
	SKR 731	18	30.17	4.31	0.489	0.071	0.034	0.005
Superchola	SKR 803	20	42.85	4.82	0.695	0.081	0.074	0.008
	SKR 687	23	45.86	4.62	0.616	0.062	0.039	0.004
Única	SKR 669	23	43.34	4.48	0.648	0.070	0.076	0.008
	SKR 688	20	42.52	4.80	0.668	0.076	0.039	0.004
Pera	SKR 845	19	27.32	4.00	0.440	0.066	0.042	0.006
	SKR 772	18	34.89	4.62	0.473	0.063	0.027	0.004
Muestra granulometría 6mm								
Pusa	SKR 832	20	38.21	4.54	0.664	0.081	0.092	0.011
	SKR 640	25	43.61	4.31	0.585	0.058	0.034	0.003
	SKR 649	17	33.28	4.68	0.542	0.078	0.052	0.007
Superchola	SKR 803	21	38.39	4.42	0.574	0.068	0.043	0.005
	SKR 779	24	48.65	4.67	0.653	0.063	0.037	0.004
	SKR 735	18	31.81	4.42	0.398	0.056	0.036	0.005

Única	SKR 764	25	51.50	4.73	0.685	0.065	0.076	0.008
	SKR 687	11	19.49	5.08	0.379	0.100	0.039	0.010
	SKR 832	16	30.58	4.68	0.481	0.074	0.028	0.004
Pera	SKR 779	16	40.83	5.41	0.649	0.088	0.085	0.011
	SKR 640	19	39.10	4.73	0.565	0.069	0.035	0.004

Realizado por: Tenicota, Diego. 2021

CONCLUSIONES

- La determinación de la tasa de exhalación superficial o másica de radón, en el laboratorio de Técnicas Nucleares de la ESPOCH (2764 msnm), debe ser realizada usando el Factor de Corrección por Elevación, los resultados corregidos muestran una exhalación mayor al 40% respecto a los no corregidos.
- Muestras de papa Superchola y Única con granulometría de 3mm presentan igual (dentro de las incertidumbres) tasa media de exhalación media superficial y másica, lo mismo ocurre para las variedades Pera y Pusa, sin embargo es evidente que la tasa media de exhalación de las variedades Superchola y Única es mayor que para las variedades Pera y Pusa.
- Muestras de papa Superchola, Única, Pera y Pusa con granulometría de 6mm muestran la misma tasa media exhalación superficial y másica de radón.
- La granulometría de las muestras de papa influye en la tasa de exhalación superficial y másica de radón, las papas Superchola y Única con granulometría 3mm exhalan más que con granulometría 6mm, por el contrario, las papas Pusa y Pera, exhalan más con granulometría de 6mm que con granulometría de 3mm.
- La papa cultivada en la provincia de Bolívar (4 variedades) presenta una tasa media de exhalación superficial de $0.55 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ con una desviación estándar de $0.10 \text{ Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ y una tasa media de exhalación másica de $0.05 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ con una desviación estándar de $0.02 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con este estudio en otras provincias de la región Sierra que son grandes productores y consumidores de papa, debido a que la presencia de radón varía en cada suelo.
- Se sugiere hacer una comparación entre la técnica Electret Ion Chamber usada en este trabajo de titulación y otras técnicas de medición para validar y comparar resultados.

BIBLIOGRAFÍA

AHMED, A. y SAMAD, A. “Measurement of radioactivity levels in daily intake foods of Erbil City inhabitants”. *Journal of Zankoy Sulaimani Part A* [en línea], 2014, vol.16 (4), pp. 111-121. [Consulta: 4 mayo 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Ali_Ahmed78/publication/301357681_Measurement_of_Radioactivity_Levels_in_Daily_Intake_Foods_of_Erbil_City_Inhabitants/links/57152ad608ae8ab56695a609/Measurement-of-Radioactivity-Levels-in-Daily-Intake-Foods-of-Erbil-City-Inhabitants.pdf

CECIL, L. y GREEN, J. Radon-222. *Environmental tracers in subsurface hydrology*. Springer, Boston, MA, 2000. p. 175-194.

CORREA, A. Estimación del riesgo radiológico por ingestión crónica de Ra-226 contenida en la papa, ajo, cebolla y zanahoria provenientes de los mercados de Cuenca-Ecuador. [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Cuenca - Ecuador. 2019. pp. 1-82. [Consulta: 18 mayo 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17847>

FAO. *Año internacional de la papa 2008* [blog]. [Consulta: 22 mayo 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/index.html>

FUENTE, M. Estudio de diferentes técnicas para la medida de exhalación de radón en suelos. [en línea] (Trabajo de titulación). (Máster) Universidad de Cantabria, Cantabria-España.2016. p.11. [Consulta: 20 mayo 2020]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/9385>

HASHIM et al. “Measurement of alpha particle concentrations in different chips samples from Iraqi market”. *AIP Conference Proceedings* [en línea], 2019, vol. 2144 (1), p.030017. [Consulta: 23 abril 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1063/1.5123087>

IAEA. Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards general safety requirements part 3. Organismo Internacional de Energía Atómica. [en línea], 2014, p. 10. [Consulta: 10 junio 2020]. Disponible en: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1578_web-57265295.pdf

IAEA. International standards for managing radionuclides in food and Drinking Water. Organismo Internacional de Energía Atómica. [en línea], 2020, p.1.[Consulta: 2 junio 2020]. Disponible en: <https://www.iaea.org/sites/default/files/16/05/irpa-food-water-poster.pdf>

INEC. Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua (ESPAC). Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2019, p. 18.

KOTRAPPA et al. “A practical E-PERM TM (Electret Passive Environmental Radon Monitor) system for indoor measurement”. Health Physics, 2009, vol. 58 (4), USA, pp. 461-467.

KOTRAPPA, P Y STIEFF, F. “Radon exhalation rates from building materials using electret ion chamber radon monitors in accumulators” Health Physics , 1990, vol. 97 (2), USA, pp. 163-166.

KOTRAPPA, P Y STIEFF, F. “Elevation correction factors for E-PERM radon monitor” Health Physics , 1992, vol. 62 (1), USA, pp. 82-86.

MAGED, A. y SAAD, E. “Radon exhalation rate from some fertilizers, clay and potatoes in Egypt”. Environmental Management and Health [en línea], 1998, vol.9 (3), pp. 130-135. [Consulta: 15 abril 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/09566169810222210>

MANCERO, L. Estudio de la cadena de la papa en Ecuador. FAO [en línea], 2020. [Consulta: 14 mayo 2020]. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/templates/esa/LISFAME/Documents/Ecuador/cadena_papa.pdf

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA. El concurso “Ecuador full papa” fomenta el consumo de papas en el país. [en línea]. [Consulta: 14 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/el-concurso-ecuador-full-papa-fomenta-el-consumo-de-papa-en-el-pais/>

OMS. Manual de la OMS sobre el radón en interiores: una perspectiva de salud pública. [en línea]. Organización Mundial de la Salud. [Consulta: 1 mayo 2020]. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/161913/9789243547671_spa.pdf?sequence=1

UNSCEAR. Effects of ionizing radiation, UNSCEAR 2006 Report, Volume II: Scientific Annexes C, D and E. *Annex E: Sources-to-effects assessment for radon in workplaces and homes.* United Nations Publications, New York, 2008, p.295.

USEPA. Basic Information about Radon in Drinking Water. [en línea], United States Environmental Protection Agency. [Consulta: 25 mayo 2020]. Disponible en: <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/basicinformation-2.html#:~:text=Based%20on%20a%20National%20Academy,by%20consuming%20water%20containing%20radon>

USEPA. Radioactive Material From Fertilizer Production. [en línea], United States Environmental Protection Agency. [Consulta: 27 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.epa.gov/radtown/radioactive-material-fertilizer-production>.

USEPA. What is EPA's action level for radon and what does it mean [blog]. USA, 30 julio, 2019. [Consulta: 20 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.epa.gov/radon/what-epas-action-level-radon-and-what-does-it-mean>

TORRES et al. *Variedades de papa* [blog]. International Potato Center (CIP). [Consulta: 15 abril 2020]. Disponible en: <https://cipotato.org/papaenecuador/variedades-de-papa/>

ANEXOS

Anexo A. Protocolo de preparación de las muestras de papa.

<p>1. Limpieza</p> 	<p>2. Secado</p> 	<p>3. Rebanado</p> 	<p>4. Muestras rebanadas</p> 
<p>5. Deshidratación</p> 	<p>6. Pulverización</p> 	<p>7. Muestras pulverizadas</p> 	

Realizado por: Tenicota, Diego. 2021

