



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

**“EVALUACIÓN DE LA TASA DE EXHALACIÓN DE GAS RADÓN  
DEL CAFÉ Y CACAO ECUATORIANOS UTILIZANDO LA  
TÉCNICA ELECTRET ION CHAMBER”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar al grado académico de:

**BIOFISICO**

**AUTOR: JAIME SEBASTIÁN TELLO FLORES**

**DIRECTORA: Dra. JHENY DEL CARMEN ORBE ORDOÑEZ**

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Jaime Sebastián Tello Flores

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, Jaime Sebastián Tello Flores, 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, 24 de marzo del 2021

**Jaime Sebastián Tello Flores**

**060446673-0**

# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

## FACULTAD DE CIENCIAS

### CARRERA DE BIOFÍSICA

El Tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Trabajo Experimental , “EVALUACIÓN DE LA TASA DE EXHALACIÓN DE GAS RADÓN DEL CAFÉ Y CACAO ECUATORIANOS UTILIZANDO LA TÉCNICA ELECTRET ION CHAMBER” realizado por el señor: **JAIME SEBASTIÁN TELLO FLORES**, 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 Autorizada su presentación.

FIRMA

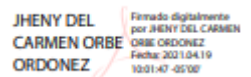
FECHA

Dr. Richard Pachacama Choca  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

 **HARD WILLIANS  
PACHACAMA  
CHOCA**  
©19C, unid@univ.edu.ec, univ@univ.edu.ec, univ@univ.edu.ec  
CHOCA, DR. RICHARD WILLIANS PACHACAMA CHOCA,  
13.03.7.1.17142, 04-090702701E,  
guatemala@richardwillians.com,  
rwillians@univ.edu.ec,  
14-CHIMBORAZO, sus. certificado de Ciber-2 de Persona  
Física EC-PRIMA

2021-03-24

Dra. Jheny del Carmen Orbe Ordoñez  
**DIRECTORA DE TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

 **JHENY DEL  
CARMEN ORBE  
ORDONEZ**  
Firmado digitalmente  
por JHENY DEL CARMEN  
ORBE ORDONEZ  
Fecha: 2021.03.19  
10:01:47 -0500'

2021-03-24

Biof. María Fernanda Heredia Moyano  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

 **MARIA FERNANDA  
HEREDIA MOYANO**  
Firmado electrónicamente por:  
MARIA FERNANDA  
HEREDIA MOYANO

2021-03-24

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo de investigación primero a Dios por permitirme el haber llegado a este momento tan importante en formación profesional. A mi madre y a mi padre por haberme por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su amor, cariño y apoyo absoluto. A mi hermano por siempre estar presente con su amor y apoyo en mi vida durante mis logros y metas alcanzadas. Sin su apoyo no hubiera podido alcanzar esta meta gracias

**Sebastián**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar un sincero agradecimiento, en primer lugar, a Dios por brindarme salud, fortaleza y capacidad; también hago extenso este reconocimiento a todos los maestros de mi educación superior, quienes me han dado las pautas para mi formación profesional; y por último quiero agradecer el apoyo y amistad sincera de mis mejores amigos

**Sebastián**

## TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv

!Final de fórmula inesperado

## CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO.....	2
1.1. Generalidades del radón.....	2
1.2. Emanación de gas radón .....	4
1.3. Exhalación de Radón-222.....	4
1.3.1. <i>Definición</i> .....	5
1.3.2. <i>Factores que influyen la exhalación de radón</i> .....	5
1.3.2.1. <i>Humedad</i> .....	5
1.3.2.2. <i>Presión</i> .....	6
1.4. Mecanismos de desplazamiento de radon-222 .....	6
1.5. Efectos biológicos de las radiaciones .....	7
1.5.1. <i>Afecciones en la salud humana</i> .....	7
1.5.2. <i>Efectos biológicos por la exposición a radón</i> .....	8
1.5.3. <i>Riesgos producidos por la presencia de gas Radón</i> .....	9
1.6. Menciones de las autoridades reguladoras a nivel mundial .....	10
1.7. Radiación en alimentos.....	11
1.8. Aspectos generales del cultivo de café .....	12
1.8.1. <i>Historia</i> .....	12
1.8.2. <i>Propagación del Café</i> .....	13
1.8.3. <i>Altitud</i> .....	15
1.8.4. <i>Precipitación</i> .....	15
1.8.5. <i>Temperatura</i> .....	15
1.8.6. <i>Humedad relativa</i> .....	15

1.8.7.	<i>Viento</i> .....	16
1.8.8.	<i>Semilleros</i> .....	16
1.8.9.	<i>Preparación de eras</i> .....	16
1.9.	<b>Aspectos generales del cultivo del Cacao Fino y de Aroma</b> .....	16
1.9.1.	<i>Historia</i> .....	16
1.9.2.	<i>Requerimientos climáticos</i> .....	17
1.9.2.1.	<i>Precipitación</i> .....	18
1.9.2.2.	<i>Temperatura</i> .....	18
1.9.2.3.	<i>Viento</i> .....	19
1.9.3.	<i>Altitud</i> .....	19
1.9.4.	<i>Luminosidad</i> .....	19
1.9.5.	<i>Requerimientos de suelo para el cultivo de cacao</i> .....	20
1.9.5.1.	<i>Drenaje</i> .....	20
1.9.5.2.	<i>Topografía</i> .....	20

## **CAPÍTULO II**

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>21</b>
2.1.	<b>Enfoque metodológico</b> .....	21
2.2.	<b>Zona de recolección de las muestras</b> .....	21
2.3.	<b>Preparación de las muestras</b> .....	21
2.3.1.	<i>Tostado</i> .....	21
2.3.2.	<i>Triturado y tamizado</i> .....	22
2.4.	<b>Descripción de la técnica Electret Ion Chamber (EIC)</b> .....	22
2.5.	<b>Evaluación de las tasas medias de exhalación superficial y másica de Radón</b> ....	23
2.6.	<b>Cálculo de la concentración de radón en el aire dentro del acumulador</b> .....	24
2.7.	<b>Procedimiento experimental</b> .....	25

## **CAPITULO III**

3.	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>27</b>
3.1.	<b>Metodología de Corto Plazo (MCP)</b> .....	27
3.1.1.	<i>Comparación de las Tasas Medias de Exhalación Másica y Superficial de radón de muestras con diferente granulometría</i> .....	27
3.2.	<b>Metodología de Largo Plazo (MLP)</b> .....	28
3.2.1.	<i>Comparación de las Tasas medias de exhalación másica y superficial de radón de muestras con diferente granulometría</i> .....	29



3.2.2.	<i>Comparación de las Metodologías de Corto y Largo Plazo</i> .....	31
3.2.3.	<i>Comparación de las tasas de exhalación másica y superficial de diferentes clases de café estudiadas y el Cacao Fino y de Aroma</i> .....	32
<b>CONCLUSIONES</b> .....		35
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		36
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Cadena de desintegración del Uranio-238.....	2
<b>Tabla 2-1:</b> Propiedades del Radon-222.....	3
<b>Tabla 3-1:</b> Niveles ambientales máximos recomendados por distintas entidades reguladoras...	11
<b>Tabla 1-3:</b> Tasas Medias de Exhalación Másica y Superficial del Café y Cacao, usando la MCP, con granulometrías de 1mm y 3mm.....	27
<b>Tabla 2-3:</b> Tasas medias de exhalación másica y superficial del Café y Cacao, usando la MLP, con granulometrías de 1mm y 3mm.....	29
<b>Tabla 3-3:</b> Tasas de exhalación másica y superficial de diferentes clases de Café y Cacao Puro y de aroma (1 mm), usando la MCP.....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Cadena de decaimiento del uranio.....	3
<b>Figura 1-2:</b> Sistema E-PERM para el estudio de las tasas de exhalación másica y superficial de gas radón de muestras de Café Robusta y Cacao Fino y de Aroma.....	22

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfica 1-3:</b> Tasa media de exhalación másica, usando la MCP, en función de la granulometría de la muestra, 1mm (rojo), 3mm (azul).....	28
<b>Gráfica 2-3:</b> Tasa media de exhalación superficial, usando la MCP, en función de la granulometría de la muestra, 1mm (rojo), 3mm (azul).....	28
<b>Gráfica 3-3:</b> Tasa media de exhalación másica, usando la MLP, en función de la granulometría de la muestra, 1mm (rojo), 3mm (azul).....	30
<b>Gráfica 4-3:</b> Tasa media de exhalación superficial, usando la MLP, en función de la granulometría de la muestra, 1mm (rojo), 3mm (azul).....	30
<b>Gráfica 5-3:</b> Comparación de las metodologías MCP (rojo) y MLP (azul) usados para calcular la tasa de exhalación másica.....	31
<b>Gráfica 6-3:</b> Comparación de las metodologías MCP (rojo) y MLP (azul) usados para calcular la tasa de exhalación másica.....	32
<b>Gráfica 7-3:</b> Tasa de exhalación másica de las diferentes clases de Café y el Cacao Puro y de aroma (1 mm), usando la MCP.....	33
<b>Gráfica 8-3:</b> Tasa de exhalación superficial de las diferentes clases de Café y el Cacao Puro y de aroma (1 mm), usando la MCP.....	33

## RESUMEN

En esta investigación se utilizó la técnica Electret Ion Chamber para determinar las tasas de exhalación másica y superficial de gas radón de muestras de *Café* y *Cacao*, cultivados en la provincia de Orellana, Además, se desarrollaron dos enfoques metodológicos, en función del sistema detección Electret - Cámara de Ionización. La primera se denominó Metodología de Largo Plazo (MLP) y la segunda Metodología de Corto Plazo (MCP). El estudio se realizó en el Laboratorio de Técnicas Nucleares de la ESPOCH. Las muestras de Café Robusta y Cacao Fino fueron tostadas y trituradas a granulometría de 1mm y 3mm. Adicionalmente se analizó dos tipos de Café Minerva y Café Loja de granulometría de 1mm. Las tasas medias de exhalación superficial y másica del Café Robusta (1mm) y con MCP son compatibles con la granulometría de 3mm, mientras que para el Cacao Fino y de Aroma son más altas que con granulometría de 3mm. Los resultados con MLP muestran que para el Café Robusta y el Cacao Fino y de Aroma de 1mm exhalan más que las muestras de 3mm, por lo que se puede deducir que *la granulometría de las muestras influye en la exhalación de gas radón*. Para el estudio de evaluación de tasas medias de exhalación másica y superficial se sugiere que la MCP *es recomendable* a MLP, Debido al tiempo de medida para obtener resultados exactos. La comparación de las tasas medias de exhalación másica y superficial de las tres clases de café estudiadas (1mm) usando MCP, muestra que el Café de Loja presenta mayor exhalación másica y superficial (0.083 Bq/ kg h y 0,712 Bq/ m<sup>2</sup> h respectivamente), El Cacao Fino y de Aroma (1mm en MCP) en tasa de exhalación másica, (0,662 Bq/ m<sup>2</sup> h) es compatible dentro de los errores experimentales al Café de Loja.

**Palabras clave:** <BIOFÍSICA>, <TASA DE EXHALACIÓN>, <RADÓN>, <ELECTRET ION CHAMBER>, <CAFÉ (*Coffea canephora*)>, <CACAO (*Theobroma cacao*L.)>, <GRANULOMETRÍA>.



Firmado electrónicamente por:

ELIZABETH  
FERNANDA  
AREVALO  
MEDINA



0926-DBRAI-UPT-2021

## ABSTRACT

In this research the Electret Ion Chamber technique was used to determine the mass and surface exhalation rates of radon gas from samples of Coffee and Cocoa, grown in the province of Orellana. In addition, two methodological approaches were developed, depending on the Electret detection system - Ion Chamber. The first one was called Long Term Methodology (LTM) and the second one Short Term Methodology (STM). The study was carried out at the Nuclear Techniques Laboratory of ESPOCH. The samples of Robusta Coffee and Fine Cocoa were roasted and ground to granulometry of 1mm and 3mm. Additionally, two types of Minerva Coffee and Loja Coffee were analysed at 1mm granulometry. The average surface and mass exhalation rates of Robusta Coffee (1mm) and with MCP are compatible with 3mm particle size, while for Fine and Aroma Cocoa they are higher than with 3mm particle size. The results with MLP show that for Robusta Coffee and 1mm Fine and Aroma Cocoa they exhale more than the 3mm samples, so it can be deduced that the granulometry of the samples influences the exhalation of radon gas. For the evaluation study of average mass and surface exhalation rates, it is suggested that MCP is recommended to MLP, due to the measurement time to obtain accurate results. The comparison of the average rates of mass and surface exhalation of the three kinds of coffee studied (1mm) using MCP, shows that the Loja Coffee presents higher mass and surface exhalation (0.083 Bq/ kg h and 0.712 Bq/ m<sup>2</sup> h respectively), The Fine and Aroma Cocoa (1mm in MCP) in mass exhalation rate, (0.662 Bq/ m<sup>2</sup> h) is compatible within the experimental errors to the Loja Coffee.

Keywords: <BIOPHYSICS>, <MASS EXHALATION RATE>, <RADON>, <ELECTRET ION CHAMBER>, <COFFEE (Coffea canephora)>, <CACAO (Theobroma cacao L.)>, <GRANULOMETRY>.

## INTRODUCCIÓN

El radón-222 es un gas radioactivo que se forma de manera natural por la desintegración del uranio-238, se suele encontrar en el subsuelo del planeta y se transporta a través de los poros del suelo para llegar a la superficie y alcanzar el aire.

Cuando los alimentos se cultivan en suelo contaminado, los radionucleidos pueden transferirse a las plantas junto con los nutrientes a través de la absorción de minerales y se acumulan en varias partes y alcanzan porciones comestibles (Abojassim, et al, 2016). A final, estos elementos radiactivos se transfieren a la dieta humana. Estudios realizados en Italia muestran la presencia de elementos radiactivos en café (K-40, Pb-214, Bi-214, Ac-228, P-212, Bi-212, Po- 210 y Cs-137) (Roselli et al. 2013). Concentraciones de radón de hasta  $108 \text{ Bq m}^{-3}$  y contenido de radio-226 de hasta  $0.0925 \text{ Bq kg}^{-1}$  fueron encontradas en muestras de café en polvo provenientes de la India, Kenia y Brasil (Mashhadani, et al, 2009). En términos del mercado cafetero, es muy importante determinar los valores radiactivos de este producto. Los resultados obtenidos dan una información útil para llevar a cabo una evaluación de dosis debida a la ingestión de bebida de café.

El presente estudio planea evaluar Las tasas Medias de Exhalación Másica y Superficial de muestras de Café y Cacao cultivados en la provincia de Orellana, cantón Francisco de Orellana, parroquia El Dorado, usando la técnica Electret Ion Chamber (EIC), disponible en el laboratorio de Técnicas Nucleares de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. El estudio tiene un impacto social, ya que el café y el cacao son productos de uso masivo en Ecuador y son exportados a varios países del mundo y de los cuales se desconoce su radiactividad.

La técnica EIC usa como detector un Electret, disco de Teflón que exhibe una carga eléctrica positiva casi permanente. La carga del Electret produce un fuerte campo electrostático capaz de recolectar iones de signo opuesto producidos por el radón y su progenie. La cuantificación de la concentración de radón se basa en la correlación entre la reducción del voltaje superficial en el Electret y la exposición acumulada al radón (Kotrappa et al. 1988).

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Generalidades del radón

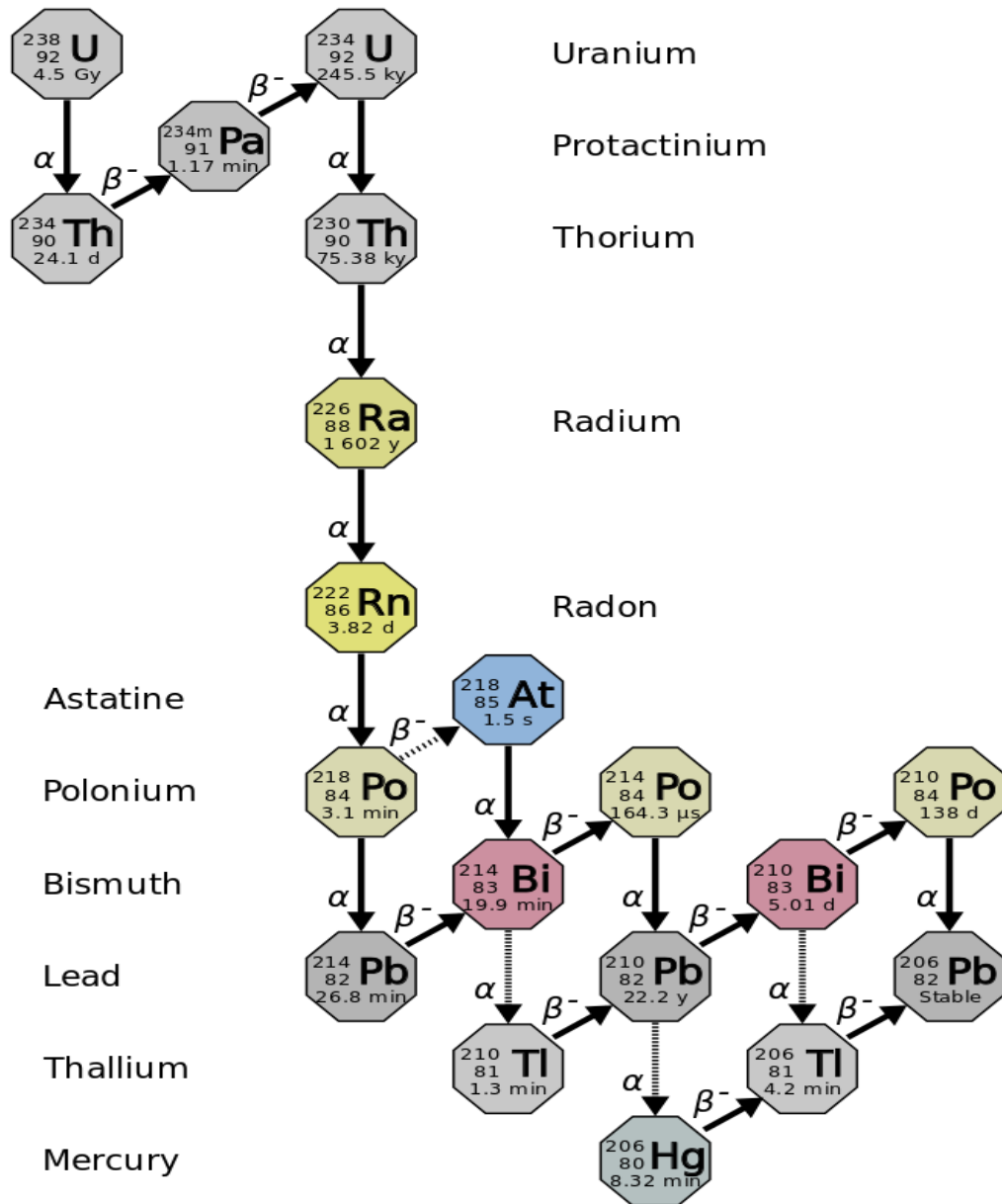
Es un gas radioactivo de origen natural, que se produce por la desintegración del Radio-226 presente el medio ambiente (Subils 2011). El Radón se emana de los suelos y rocas, tiende a concentrarse en lugares cerrados como construcciones y lugares subterráneos. Además, contribuye a la dosis de radiación ionizante que recibe la población general, por lo cual en la Tabla 1-1 se describe el decaimiento radiactivo del uranio hasta su hijo al Radon-222. (Singh, Mehra y Singh 2005).

**Tabla 1-1:** Cadena de desintegración del Uranio-238

Elemento	Radiación	Vida Media
Uranio-238	Alfa	$4.5 \times 10^9$ años
Torio-234	Beta	24.1 días
Protactinio-234	Beta	1,17 minutos
Uranio-234	Alfa	$2.47 \times 10^5$ años
Torio-230	Alfa	$8.0 \times 10^4$ años
Radio-226	Alfa	1620 años
Radon-222	Alfa	3,82 días

**Realizado:** Tello Jaime, 2021.





**Figura 1-1:** Cadena de decaimiento del uranio

Fuente: (Picon, 2007)

**Tabla 2-1:** Propiedades del Radon-222

Parámetros	Radon-222
Densidad	(0°C Y 1 atm):9,73 kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad	(20 °C Y 1 atm): 229,0 micropoises
Solubilidad en Agua	(20 °C Y 1 atm):230.10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /kg

Realizado: Tello Jaime, 2021

Como conocemos que el Radon-222 viene de una cadena de desintegración del uranio es decir que se encuentra presente en la corteza terrestre, se emana hacia el suelo y a la superficie. Las

concentraciones de radón en suelos están en un intervalo de 10000 y 50000 Bq/m<sup>3</sup>. También existe la posibilidad que la presencia de radón aumente debido a la existencia de zonas de desecho procedentes de minas de uranio (Subils 2011).

La radioactividad es un fenómeno que ha existido siempre y se produce de manera natural, es así que el año de 1895 Henry Becquerel fue el primero en destacarlo, la radiactividad es un fenómeno por lo cual los átomos cambian su estructura también es la responsable de la emisión espontánea de partículas y/o radiación electromagnética por un elemento padre, que transmuta en un elemento hijo (Brito y Sebastián 2016). En este caso el Radón-222 viene de una larga cadena de decaimiento que empieza desde el Uranio-238. En la Tabla 1-1 vemos la cadena de desintegración donde se encuentran elementos que son de larga duración y que no son tan importantes ni preocupantes por su exposición a la radiación, en comparación al radon-222 que es de corta duración, pero altamente peligroso, cuando el gas radón logra salir de su lugar de origen hacia el aire libre puede llegar a diluirse, pero al estar encerrado en lugares subterráneos o en viviendas su concentración llega a hacer elevada. (Singh, Mehra y Singh 2005)

## **1.2. Emanación de gas radón**

Este gas se ubica dentro de las rocas, cuando existe una fractura empieza la emanación y distribución en el ambiente. En zonas cerradas donde existen corrientes de aire es donde existe una gran presencia de gas radón, existe gran cantidad de emanación del elemento en suelos porosos, ya que el radón puede salir de manera más fácil hacia el exterior a través de agujeros a diferencia de suelos compactos y arcillosos que no permiten su salida. (Isahic Gonzales 2017)

Las rocas de tipo graníticas son ricas en Uranio y al ser este elemento cabeza de serie es evidente concentraciones de Radón (<sup>222</sup>Rn), si los suelos graníticos son muy fracturados suele desprenderse más Radón a diferencia de los graníticos compactos, ya que este elemento se produce a partir de las fracturas de las rocas de granito (Isahic Gonzales 2017)

Otros fenómenos ambientales como la presión atmosférica, la humedad y la temperatura también interactúan con los niveles de Radón en el medio (aire), mientras que un suelo húmedo poroso con una presión atmosférica baja y una temperatura favorable ayuda a la emanación de Radón. Mientras que el caso de tener un suelo seco, una presión atmosférica alta y una temperatura baja la emanación de Radón se vuelve difícil. (Isahic Gonzales 2017)

## **1.3. Exhalación de Radón-222**

### ***1.3.1. Definición***

El tiempo de vida media del Radón-222 dura lo suficiente para que este migre desde la roca en que se forma a través del suelo hacia el aire. Muchos de los átomos que se generan de la desintegración de Ra-226 que está contenido en los granos minerales del medio. logrando llegar al espacio intersticial entre granos, debido a la energía de retroceso con la que salen despedidos salen de la matriz del material produciendo el fenómeno de emanación, existe una condición para que este fenómeno se produzca y es que el radio debe desintegrarse cerca de la superficie, las distancias de retroceso para minerales de Radón-222 es (20-70)nm, para el agua es de 100 nm (Lastra 2016).

El valor de la exhalación de radón de una localización dada puede llegar a mostrar variaciones debido al contenido de humedad o distintos factores meteorológicos como lluvia, variaciones de la presión barométrica, variación de la temperatura atmosférica y del suelo, y velocidad del viento. (Lastra, 2016)

### ***1.3.2. Factores que influyen la exhalación de radón***

#### ***1.3.2.1. Humedad***

Dependiendo del contenido de humedad del terreno se produce la exhalación de radón, puesto que tanto el coeficiente de emanación de radón como el coeficiente difusión de radón tienen gran dependencia con la humedad. La fracción de átomos de radón producidos por desintegración del  $^{226}\text{Ra}$  que escapan de la red cristalina del material puede llegar a aumentar al igual que el contenido de humedad. No obstante, la tasa de difusión generada en el agua tiende a ser mucho menor que en aire, por lo que, la tasa de difusión a la atmósfera de los átomos de radón que escapan de la red cristalina del material disminuirá con el incremento del contenido en humedad del terreno. Por lo tanto, el aumento de contenido en humedad puede tanto incrementar como disminuir la exhalación de radón.

Es así que algunos estudios relacionados sobre exhalación de radón en áreas de recuperación de minas de uranio en función del contenido en humedad generan que la exhalación aumente en un factor 3.5, cuando el contenido de humedad se incrementa de un 0.2 a 5.7% en peso, y posterior a este aumento la exhalación y crece muy lentamente con el contenido de humedad hasta que se alcanza la saturación, situación en que la exhalación medida decrece notablemente. Llegando a tener una conclusión la cual nos indica que de esto se puede deducir que las medidas de exhalación

realizadas tras fuertes lluvias no deberían tenerse en consideración para determinar valores medios de exhalación de un suelo.

Continuando con el razonamiento anterior, una capa de hielo también reduciría de forma pronunciada la exhalación de radón. Por lo tanto, las medidas de exhalación realizadas cuando hay hielo cubriendo el terreno tampoco se deben tener en cuenta para obtener el promedio de la exhalación de un suelo. La presión es un factor que influye mucho en la exhalación del radón a la atmósfera, siendo estas las variaciones de la presión atmosférica. El descenso de la presión atmosférica atrae el gas intersticial hacia la superficie del terreno, lo que produce que la exhalación de radón aumente debido al fenómeno de bombeo del aire. En cambio, el aumento de la presión bombea el gas lejos de la superficie de modo que el aire atmosférico tiende a penetrar en el suelo, lo que frena la salida del radón y por tanto disminuye la exhalación. Según algunos estudios, cambios en la presión atmosférica de un 1% provocarían aproximadamente un cambio del 60% en la exhalación de radón. (Lastra 2016)

#### *1.3.2.2. Presión*

Un factor que influye mucho en la exhalación del radón a la atmósfera son las variaciones de la presión atmosférica. El descenso de la presión atmosférica atrae el gas intersticial hacia la superficie del terreno, lo que hace que la exhalación de radón aumente debido al fenómeno de bombeo del aire. En cambio, el aumento de la presión bombea el gas lejos de la superficie de modo que el aire atmosférico tiende a penetrar en el suelo, lo que frena la salida del radón y por tanto disminuye la exhalación. Según algunos estudios, cambios en la presión atmosférica de un 1% provocarían aproximadamente un cambio del 60% en la exhalación de radón. (Lastra 2016)

### **1.4. Mecanismos de desplazamiento de radon-222**

El radón-222 se origina por la desintegración radiactiva natural del Uranio-238 la cual se produce en el subsuelo de la tierra la cadena de desintegración cuenta con elementos con el Protactinio-234, Uranio-234, Torio-230 y Radio 226 por diversos factores el gas Radón necesita encontrar caminos para poder alcanzar el aire libre desde el subsuelo de la tierra. Cuando esto sucede este isótopo se diluye fácilmente pero cuando no logra su objetivo este concentra altamente en lugares cerrados como minas, cuevas, edificaciones, tratamiento de agua entre otros donde se desintegra, al ser inhalado ingresa por las vías respiratorias donde sus desintegraciones se depositan en las células que recubren las vías respiratorias, donde el ADN se puede ver afectado y producir cáncer de pulmón.

El Radón al estar en un estado gaseoso puede mezclarse con el medio, es decir, con el suelo, agua y aire. Para que se produzca el transporte del Radón en el subsuelo se tiene en consideración algunos factores tales como: agua, tipo de roca, geometría de los poros y coeficiente de difusión. (Isahic Gonzales 2017)

Con el pasar de los años el material orgánico forma una pequeña capa en el suelo, estos sólidos contienen importantes cantidades de Radio al tener como sucesor el Radón que es un gas que penetra los poros de los suelos y se difunde a la superficie. (Isahic Gonzales 2017)

En las fuentes subterráneas el Radón se disuelve con el agua, por lo que se considera como el principal mecanismo de transporte del  $^{222}\text{Rn}$  a través de los poros de las rocas. La erosión de las rocas que se encuentran en contacto con el agua dependerá de la velocidad con la que está fluyendo. Los procesos de transporte que se dan durante largo lapso de tiempo no afectan las concentraciones apreciables, ya que, en este tiempo se tendrá menos del uno por ciento de la cantidad original, es decir, que el Radón no necesita grandes distancias para una gran difusión, la única variable a considerar es la velocidad del líquido. (Isahic Gonzales 2017)

El líquido dentro de las grietas de las rocas también tiene una velocidad y una dirección, es decir que, si dentro de estas se encuentra grandes cantidades de los elementos como el  $^{238}\text{U}$  y  $^{226}\text{Ra}$ , es muy probable que haya concentraciones de  $^{222}\text{Rn}$ , como las corrientes de agua están incidiendo sobre las fisuras de las rocas también las está disolviendo haciendo las grietas cada vez más grandes y arrastrando este elemento radiactivo a través de las superficies fracturadas. (Isahic Gonzales 2017)

El movimiento de las placas tectónicas modifica la permeabilidad del suelo, al igual que eventos volcánicos, generando que se produzca un rompimiento y disolución de estos minerales lo que causa que se dé una liberación Radón en forma de gas.

## **1.5. Efectos biológicos de las radiaciones**

### ***1.5.1. Afecciones en la salud humana***

El radón se considera un elemento cancerígeno por la Organización Mundial de la Salud el principal efecto adverso que se presenta después de inhalación de radón y por sus productos de desintegración es el riesgo de contraer cáncer de pulmón. El radón en su forma de gas no se mantiene encerrado de forma importante en el sistema respiratorio. El 90% de sus descendientes pueden estar unidos a partículas de aerosoles presentes en el aire, las cuales, dependiendo su

tamaño, pueden ser retenidas en distintos niveles en el tracto respiratorio. Las más pequeñas, la fracción respirable, alcanzaran las zonas más sensibles del tejido bronquial y pulmonar quedándose allí, juntamente con el 10% restante de los productos de desintegración. La deposición de estos productos con las partículas generara una fuente de emisión de partículas alfa de alta densidad. Por lo cual una parte del tejido recibe una exposición elevada por lo que aumenta el desarrollo de generar cáncer. (España y Trabajo 2011)

La proporción de casos de cáncer de pulmón asociado al radón del total de todos los casos varía entre un 3% y un 14% según datos de los diferentes países. En varios países, el radón es la segunda causa de cáncer de pulmón después del tabaquismo, la probabilidad de que el cáncer aumente debido al radón es que se convine con todos los efectos que produce el tabaquismo, pero también en personas que nunca han fumado el radón es la principal causa de cáncer de pulmón. No hay datos de una concentración umbral por debajo de la cual la exposición al radón no produce ningún riesgo, incluso concentraciones bajas pueden producir un incremento en el riesgo de producir cáncer de pulmón. La mayor parte de casos de cáncer de pulmón asociados al radón son provocados por concentraciones bajas y no por concentraciones altas debido que es menor el número de personas expuestas a concentraciones altas. (Singh, Mehra y Singh 2005)

En el siglo XVI se presentaron datos de que había una mortalidad por enfermedades respiratorias en trabajadores de minas subterráneas en Europa central, en siglo 19 se suponía que la enfermedad era de cáncer de pulmón. En el siglo 20 se sospechaba ya que el radón era la causa principal de cáncer en los mineros y en 1950 se confirmó plenamente la relación entre radón y cáncer de pulmón. (Fabrikant 1990)

### ***1.5.2. Efectos biológicos por la exposición a radón***

Desde el descubrimiento de los elementos radiactivos, aplicados como en los rayos x, se ha dado un impulso por conocer los efectos que se puede causar en el ser humano, dichos estudios se basan en los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes en la medicina, industria y ciencia, sin olvidar su aplicación militar.

La energía depositada por las radiaciones ionizantes al atravesar las células vivas da lugar a iones y radicales libres que rompen los enlaces químicos y provocan cambios moleculares que dañan las células afectadas. En principio, cualquier parte de la célula puede ser alterada por la radiación ionizante, pero el ADN es el blanco biológico más crítico debido a la información genética que contiene. Una dosis absorbida lo bastante elevada para matar una célula tipo en división (2 Grays ver la definición más adelante), sería suficiente para originar centenares de lesiones reparables en

sus moléculas de ADN. Las lesiones producidas son de naturaleza corpuscular (protones o partículas alfa) las cuales son menos reparables a diferencia de las generadas por una radiación ionizante fotónica (rayos X o rayos gamma). El daño en las moléculas de ADN que queda sin reparar o es mal reparado puede manifestarse en forma de mutaciones cuya frecuencia está en relación con la dosis recibida. (Adoración y Enrique 2001)

Los efectos producidos por los bajos niveles de radiación en la salud a cada momento son estudiados ampliamente. Los antecedentes epidemiológicos de los habitantes expuestos a exposiciones a nivel atómico, médico y ocupacional deben mantener una permanente revisión. Hay muchos parámetros que influyen para que se produzca una irradiación cuando esto se produce la radiación ionizante transfiere energía a un sistema biológico lo que conlleva a un resultado final una severidad que dependerá de la dosis absorbida por el sistema. Para nuestro organismo existen dos tipos de efectos que se corresponden con la dosis: genéticos y somáticos. El daño somático define al daño en los tejidos del sujeto irradiado, por el lado genético se refiere al daño que perjudicara las próximas generaciones. (Núñez 2008)

El Radón-222 se descompone y despiden partículas radiactivas pequeñas. Cuando son inhaladas estas partículas producen daño a las células que recubren a los pulmones, como el gas es radioactivo produce explosiones en el interior de los alveolos, con lo que se altera el ADN de las células (Carranza 1999). Cuando la exposición al gas se da por un tiempo prolongado puede existir la posibilidad de adquirir cáncer de pulmón este es el único tipo que está asociado con la inhalación de Radón. Pero también se ha mencionado que existe un riesgo de contraer leucemia, que está asociada a la exposición de radón, pero aun las pruebas no son concluyentes. (cancer, 2011)

La UNSCEAR menciona que el radón representa la mitad del promedio en todo el mundo de exposición de las personas a fuentes naturales radioactivas, tomando en cuenta la existencia de variedad a la distribución geográfica. Los efectos que se produzcan por las radiaciones en el cuerpo humano dependerán de la naturaleza y de la cantidad de radiación a la que este expuesta, el tiempo de exposición, la energía, el área de irradiación y la dosis. (Singh, Mehra y Singh 2005)

### ***1.5.3. Riesgos producidos por la presencia de gas Radón***

El gas radón está presente en el ambiente en todo el planeta, debido a que es un elemento radiactivo y también sus productos de desintegración por lo que aproximadamente el radón es el causante de la exposición de la mitad de población mundial a fuentes naturales de radiación claro que esto depende de la ubicación geográfica y su irregularidad. Los efectos producidos por estas

radiaciones en organismo humano dependen de la naturaleza y la intensidad de la radiación, tiempo de exposición, la energía cedida, la superficie irradiada, entre más veces se reciba el mismo tipo de radiación el efecto será más dañino en un periodo corto de tiempo. (Singh, Mehra y Singh 2005)

El consejo de seguridad nuclear menciona que la dosis de una persona es de 1 mSv pero en España una persona recibe una dosis proveniente de fuentes naturales de 2,41 mSv por año, por lo cual se estima que el radón contribuye con la mitad de esta dosis anual con lo que quiere decir que este elemento es muy influyente. (Singh, Mehra y Singh 2005)

El Consejo de la Unión Europea aprobó la Directiva 2013/59/EURATOM de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, en las que exigen a los Estados miembros adoptar las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas para cumplir lo establecido en la Directiva. Obedeciendo a lo establecido en la citada Directiva, el proyecto del Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes establece un límite máximo de 300 Bq/m<sup>3</sup> anuales en los recintos cerrados, tanto para las viviendas y los lugares de acceso público como para los lugares de trabajo. (Galicia 2018)

El efecto principal a la salud producido por la inhalación de Radon-222 es el cáncer de pulmón la inhalación combinada con el consumo de tabaco magnifica la posibilidad de contraer cáncer de pulmón ya que el tabaquismo es la principal causa que se de cáncer de pulmón en el mundo, aunque también concentraciones bajas de radón en personas no fumadoras pueden influir a producir esta enfermedad, es decir el gas es segundo causante de cáncer de pulmón en el mundo. El riesgo de contraer cáncer de pulmón aumenta de proporcional por la exposición al radón, pudiendo aumentar hasta un 16% por cada 100 Bq/m<sup>3</sup> en la concentración media de radón a largo plazo. (Galicia 2018)

### **1.6. Menciones de las autoridades reguladoras a nivel mundial**

La Directiva 2013/59/EURATOM indica que el nivel de regencia para promedio anual de concentración de actividad en el aire no debe superar, los 300 Bq/m<sup>3</sup> anuales en espacios cerrados cuya equivalencia aproximada es de 10 mVs anuales, según cálculos recientes de la Comunidad Internacional de Protección Radiológica. (Galicia 2018)

La EPA también llevo a la conclusión de que la interacción del radón con el humo de cigarrillo hace que los fumadores estén a un riesgo mayor de los efectos del radón. Los estimados de la



EPA están basados en el informe de los Efectos biológicos de la radiación iónica (1998 BEIR VI) de la Academia Nacional de las Ciencias. Este informe concluye que el radón es la segunda causa principal de cáncer pulmonar después de fumar. (EPA 2016)

UNSCEAR estima que cada persona en el mundo recibe, en promedio, una dosis efectiva cercana a los 0,48 mSv anual como exposición externa por fuentes terrestres, esta entidad también estima que la dosis efectiva anual promedio de radón es de 1,3 mSv, la cual representa casi la mitad de la dosis que el público recibe por fuentes naturales. (Steiner 2016)

La Organización Mundial de la Salud (OMS) plantea la conveniencia, para minimizar los riesgos para la salud derivados de la exposición al radón en interiores, de establecer niveles nacionales de concentración media que idealmente no deberían superar los 100 Bq/m<sup>3</sup> de acuerdo con el conocimiento actual, e indican que por cada aumento de 100 Bq/m<sup>3</sup> en la concentración medida de radón (IC 95%) hay un incremento del 16% del riesgo de cáncer de pulmón. (España 2017)

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer clasificó ya en el año 1988 al radón como cancerígeno del Grupo 1, que significa “cancerígeno para los seres humanos”. (España 2017)

**Tabla 3-1:** Niveles ambientales máximos recomendados por distintas entidades reguladoras

Fuente	Nivel
Real Decreto 783/2001	1000Bq/m <sup>3</sup>
Instrucción IS33 del Consejo de Seguridad Nuclear 300	Bq/m <sup>3</sup> – 600 Bq/m <sup>3</sup>
Directiva 2013/59/EURATOM	300Bq/m <sup>3</sup>
Health Canada (desde 2007)	200Bq/m <sup>3</sup>
Organización Mundial de la Salud (desde 2009)	100Bq/m <sup>3</sup> -300Bq/m <sup>3</sup>

Fuente: Exposición laboral al radón Guía para la prevención (España 2017)

La concentración de radio en el suelo se halla generalmente entre 10 y 50 Bq/kg, aunque puede alcanzar valores muy superiores. El valor promedio es de alrededor de 40 Bq/kg. Las concentraciones de radón en suelos varían entre 10000 y 50000 Bq/m<sup>3</sup>. En algunos casos, la presencia de radón puede venir, además, aumentada por la existencia en la zona de materiales de desecho procedentes de operaciones realizadas en minas de uranio o de fosfatos. La cantidad de radón que entra en un interior a partir del suelo depende principalmente de la concentración de radio-226 en el subsuelo y de la permeabilidad de éste. (Subils 2011)

### 1.7. Radiación en alimentos

La gran mayoría de alimentos producidos en los suelos de la tierra están expuestos a productos de desintegración del uranio o padre de manera natural o debido a accidentes nucleares.

De manera natural se estima que la cadena de decaimiento del uranio viaje desde núcleo de la tierra hasta el subsuelo terrestre por medio de difusión o adhesión, los cultivos se verían afectados de manera que durante su crecimiento absorberían por sus raíces cantidades de estos radionúclidos conjuntamente con los nutrientes necesarios para su formación, por lo que estos alimentos presentarían cantidades de radiación, por ejemplo cuando las vacas consumen los pastos de los potreros pueden estar ingiriendo cantidades de radiación que mediante su ordeño estos radionúclidos pueden ser transportados en su leche que es un producto de consumo masivo en todo el mundo es decir que media que el consumo de productos lácteos podríamos estar ingiriendo dosis de radiación. Lo mismo sucede con los cultivos de alimentos papas, choco café, cacao entre otros productos que so de consumo mundial.

Puede darse también que se produzca que los alimentos se vean afectados por radiación debido a accidentes nucleares, estos accidentes pueden afectar a grandes zonas de terreno en donde se pueden encontrar personas, animales y vegetación. Estos accidentes afectan a las plantas cuando están desarrollado debido a que tendría una irradiación directa produciendo alteraciones genéticas en los cultivos, pero también sucede que son afectados desde el crecimiento es decir como el accidente nuclear afecta de una manera global esta radiación puede mezclarse con los nutrientes que son requeridos para el desarrollo de la vegetación y verse reflejado en sus productos de cosecha que son de consumo masivo.

## **1.8. Aspectos generales del cultivo de café**

### ***1.8.1. Historia***

El origen de la planta de café puede decirse que proviene de las altiplanicies de Abisinia (actual Etiopía), donde parece situarse la cuna del café llamado Arábica.

**El Profeta Mahoma:** cuenta que Alá, apenado por el profeta Mahoma quien estaba enfermo, decidió enviarle un presente que lo reanimase, el arcángel Gabriel fue el portador del obsequio, con el fin no sólo de animarlo sino de revelar “las virtudes y la forma de preparar el café”, le ofreció una bebida para reconfortarlo. Dicen que este remedio le devolvió la salud y el vigor. Esta bebida era tan negra como la Piedra Negra de la Kaaba de la Meca, lo cual según parece, hizo que recibiera el nombre Kawah, (que significa vino vigorizante, excitante, energético, el café había entrado por la puerta grande al mundo árabe). (Vazquez 2011)

### *1.8.2. Propagación del Café*

Se afirma que el café se propagó desde la altiplanicie de Abisinia hacia el resto del mundo. La historia del consumo del café es muy diferente, desde Etiopía se extendió rápidamente en Arabia, pero no se consumió fuera de estas regiones durante mucho tiempo. Según Stewart, su historia y la introducción del café en Arabia, tuvo lugar entre los siglos XII y XIV. También afirma, que la planta de café se abrió camino desde Etiopía a Arabia, probablemente llevaron las semillas consigo los miembros de las tribus africanas que emigraron hacia el Norte, fueron rechazados por los persas, pero dejaron tras de sí árboles de café creciendo en lo que hoy es el Yemen. El cultivo del café en el Yemen fue muy importante, desde donde se propagó al resto del mundo árabe. Parece que las tribus africanas, que sabían del café desde la Antigüedad, molían sus granos y elaboraban una pasta utilizada para alimentar a los animales y aumentar las fuerzas de los guerreros. Su cultivo se extendió en primer lugar en la vecina Arabia, llevado probablemente por prisioneros de guerra, donde se popularizó aprovechando la prohibición del alcohol por el islam. Antiguamente el café, cuando era consumido por tribus de África era mezclando con grasa, posteriormente se fermentaba el fruto y elaboraron una especie de vino. (Vázquez 2011)

Durante mucho tiempo los árabes prohibieron la exportación del café, ya que lo consideraban un negocio lucrativo. Pero cada año el país era visitado por miles de peregrinos que iban a la Meca, un monje hindú, Baba Budán aprovechó la peregrinación para probar el cafeto y llevárselo a su país. Así, se introdujo en la India. Stewart, también afirma que, desde sus comienzos, el consumo de la bebida obtenida de las bayas del cafeto, estuvo relacionada con rituales religiosos o comunitarios. Describe que antes de beber el café, realizaban oraciones los pueblos de Etiopía, en las que pedían riqueza y protección. El hábito de beber café se difundió rápidamente sobre todo en Turquía, donde tuvo gran éxito; especialmente en Constantinopla, del siglo XVI, donde dos sirios muy emprendedores abrieron las dos primeras cafeterías en Constantinopla, dispuestos a imponer la moda. Estaban ricamente decoradas y los clientes se reclinaban sobre lujosos almohadones mientras eran entretenidos con historias y poemas, bailes y canciones interpretadas por animadores profesionales contratados para este fin. No existió casa, ya sea rica o pobre, turca o judía, donde no se bebiera café varias veces al día, se lo brindaba a las visitas, y se consideraba de mala educación rechazarlo. (Vázquez 2011)

Otra historia cuenta que el ingreso a occidente fue a través de Viena, cuando los turcos, que sitiaban la ciudad en 1683, al ser vencidos, abandonaron sacos llenos de granos de café. Fue en Viena donde se empezó a filtrar el café, eliminando la costumbre turca de dejar sedimento en el fondo de la taza. También fue allí que se comenzó a agregarle leche, y por la espuma que se

formaba en la superficie de la taza de café se le llamó capuchino, en referencia a la capucha del hábito de los monjes. (Vázquez 2011)

El famoso escritor y viajero Rauwolf, fue quien introdujo a Europa esta nueva bebida, empezando por el sur de Italia, luego pasó a Francia donde se abrió la primera cafetería y así se fue extendiendo por todo el continente. Prosperó Albino, navegante veneciano, escribe un diario donde menciona con gran entusiasmo haber encontrado una nueva bebida, con poderes energéticos especiales, es el café. (Vázquez 2011)

Al irse propagando el café por el mundo, fue tomando diversos nombres según los países. En Italia lo llamaron Caffee. Una variedad muy aromática llegó a Italia desde el Puerto Yemenita de Al Mukha por lo que en Italia denominaron a esta variedad Caffee Mocha, en España Café, en Inglaterra Coffee, kave en Húngaro y kia fey en Chino. (Vázquez 2011)

Al llegar el café a América, específicamente en los Estados Unidos, en Boston se abrió el primer establecimiento para la venta de café, es la primera ciudad que disfruta de su aroma y sabor, aunque éste al principio no tuvo una gran aceptación socialmente. Una de las ambiciones más grandes del rey de Francia, Luis XIV, era obtener un arbusto del cafeto y realizar futuras plantaciones de café en las colonias francesas. Obtuvo las semillas por obsequio de un burgomaestre de Ámsterdam. Se plantó en el jardín botánico y su deseo se hizo realidad, pues el árbol floreció, dio frutos y se convirtió en el antecesor de la mayoría de árboles cafeteros que crecen actualmente en la América Central y del Sur, gracias a que emigraron en embarcaciones semillas del cafeto a esta región. (Vázquez 2011)

El capitán Normando Gabriel de Clieu, logra llevar la primera planta de café a la Martinica, la primera cosecha fue recogida en 1726, de allí se extendió el cultivo a otras islas cercanas como Santo Domingo, Guadalupe y Cuba. Durán afirma que la llegada del cafeto a América corresponde al siglo XVII, dice que el café no llegó directamente desde Arabia sino por Martinica y las Guayanas. En 1727, llega y se inicia el cultivo del café en Brasil, fue iniciado por el emperador de este país, quien deseaba cultivar café en sus territorios, pero los franceses, como antes los árabes, prohibían la exportación de esas plantas y sus semillas, pero el emperador realizó un último intento enviando al teniente Francisco de Mello a la Guayana Francesa, con el fin de conseguir romper la prohibición de la exportación. Las negociaciones de Melho resultaron igualmente inútiles, lo que lo llevó a tomar la decisión de cautivar a la esposa del Gobernador. Cuando el emisario del emperador brasileño se disponía a embarcar de regreso a su país sin haber conseguido su cometido, un mensajero le acercó un gran ramo de flores como obsequio. En el centro del ramo, junto con una nota de la Gobernadora y bien oculta por la exuberancia del ramo,

se encontraba una planta de café; así fue como se inició el cultivo en el Brasil, siendo hasta la actualidad uno de los productores de café más grandes de América Latina junto con Colombia.

Alrededor de los años 60's, se funda la organización Internacional de Café, sus objetivos principales son regular el mercado, principalmente precios y cuotas de producción y también propiciar su difusión científica. Esta, asociación, la conforman 54 países productores y 29 consumidores, Ecuador conforma esta lista como exportador importante dentro de Sud América. (Vazquez 2011)

### ***1.8.3. Altitud***

Incide en forma directa sobre los factores de temperatura y precipitación. La altitud óptima para el cultivo de café se localiza entre los 500 y 1700 msnm. Por encima de este nivel altitudinal se presentan fuertes limitaciones en relación con el desarrollo de la planta es decir que la planta no llega a desarrollarse de manera completa o total. (Heredia 2011)

### ***1.8.4. Precipitación***

Son muy importante las precipitaciones que se generan a lo largo del año para el desarrollo del cafeto. Con menos de 1000 mm anuales, se limita el crecimiento de la planta y por lo tanto la cosecha del año proveniente, además, un período de sequía muy prolongado propicia la defoliación y en última instancia la muerte de la planta. Con precipitaciones mayores de 3000 mm, la calidad física del café oro y la calidad de taza puede comenzar a verse afectada resultando el control fitosanitario de la plantación más difícil y costosa. (Heredia 2011)

### ***1.8.5. Temperatura***

La temperatura promedio anual favorable para el cafeto se ubica entre los 17 a 23 °C. Temperaturas inferiores a 10 °C., provocan clorosis y paralización del crecimiento de las hojas jóvenes. (Heredia 2011)

### ***1.8.6. Humedad relativa***

Cuando alcanza niveles superiores al 85%, se propicia el ataque de enfermedades fungosas que se ven notablemente favorecidas. (Heredia 2011)

### ***1.8.7. Viento***

Fuertes vientos inducen a la desecación y al daño mecánico de tejido vegetal, asimismo favorecen la incidencia de enfermedades. Por esta razón es conveniente escoger terrenos protegidos del viento, o bien establecer rompe vientos para evitar la acción de éste. (Heredia 2011)

### ***1.8.8. Semilleros***

El ICAFE ofrece semilla autorizada por la Oficina Nacional de Semillas. 1 kilogramo contiene más de 3000 semillas. Sembrar la semilla lo antes posible, no conviene almacenar el material porque sufre deterioro rápidamente. Inicie el semillero unas 8 semanas antes de trasplantar al almacigal. (Heredia 2011)

### ***1.8.9. Preparación de eras***

Las dimensiones recomendadas son de 1 a 1,20 m de ancho, una altura de 10 cm y un largo de 10 m como máximo, antes de proceder a sembrar se debe preparar el terreno, desinfectando el suelo con terrazan para prevenir los ataques de hongos de suelo y ataques de nematodos e insectos cortadores, lo mezclan con curater o furadan al 10% a razón de 10-15 gramos por metro cuadrado. (Heredia 2011)

## **1.9. Aspectos generales del cultivo del Cacao Fino y de Aroma**

### ***1.9.1. Historia***

Según la página web de la revista Asociación Nacional de Exportadores de Cacao e Industrializados del Ecuador (ANECACAO) especializada en seguimiento de la industria de cacao en Ecuador, indican que en la historia mundial se ha dicho que Cristóbal Colón fue el primer europeo en descubrir los granos de cacao en el sector de Nicaragua mientras realizaba su cuarta expedición. Sin embargo, más de un milenio antes de este acontecimiento y del Descubrimiento de América, ciertas culturas como los Toltecas, los Mayas y Aztecas ya cultivaban este producto y utilizaban sus granos como moneda y como una bebida exquisita que llamaban Xocolat.

A lo largo de los años se ha tenido como dato oficial que el punto de origen del cacao y sus cultivos iniciales se dieron entre Centroamérica y México en las culturas Mayas y Aztecas, alrededor de 2.000 años antes de Cristo, sin embargo, esta hipótesis entra en duda según lo que indica el autor porque actualmente existen nuevos estudios que muestran que el cacao en algunas

de sus variedades tiene existencia en la Alta Amazonía desde hace más de 5.000 años. (Velasategui 2019)

El libro “Ecuador Tierra del Cacao” indica que en Ecuador se encuentran 12 evidencias de plantaciones de cacao anteriores a la llegada de los europeos, entre estas plantaciones existían árboles de cacao de gran tamaño mostrando que los habitantes, especialmente de la región costera conocían y utilizaban esta especie de cultivo como es el cacao. (Velasategui 2019)

Los autores Páez y Espinosa en el libro “Ecuador Tierra del Cacao”, señalan que en la provincia de Zamora Chinchipe y el cantón Palanda un equipo de investigadores ecuatorianos encontraron pistas que indicarían que hace 4800 años aproximadamente esa zona estuvo habitada por la cultura Chavín, una de las culturas madres de la civilización Andina, y junto a estas pistas también se encontraron indicios de consumo y utilización del cacao por esta cultura en aquella época. (Velasategui 2019)

Por estos descubrimientos la investigadora Sophie Coe, quien realizó un trabajo de investigación enfocado en el chocolate en las civilizaciones de Europa y Mesoamérica ha llegado a la conclusión de que el cacao tuvo que tener origen en Ecuador y que los humanos deben haberlo hecho recorrer rutas costeras entre comercios que llegaban hacia Centroamérica y México, y es en este último país mencionado donde encontraron el método para convertir el cacao en chocolate empezando por la bebida “Xocolat”.(Velasategui 2019)

En la página de Anecacao que realiza un recorrido en la historia del cacao en Ecuador se indica que a través de los años se han mejorado y cambiado las técnicas de cultivo del cacao en el Ecuador, así como las variedades que se cultivan. En la actualidad encontramos plantaciones de las dos variedades principales que son: la conocida como Cacao CCN51 y el cacao Nacional (*Teobroma cacao* Sterculiaceae) o también llamado Arriba, que se distingue por su fino aroma. (Velasategui 2019)

### ***1.9.2. Requerimientos climáticos***

Las condiciones climáticas que afectan el óptimo desarrollo del cacao son principalmente la temperatura y la lluvia; no siendo menos el efecto del viento fuerte, la luz, radiación solar y la humedad relativa. Se adapta muy bien desde 0 msnm hasta los 800 msnm. El mejor desarrollo del cacao se manifiesta en temperaturas promedio anuales de 21°C. Las temperaturas muy altas o bajas pueden llegar a producir alteraciones fisiológicas en el árbol. La temperatura ejerce su efecto en la formación de las flores. En cuanto a la precipitación el cacao es muy sensible a la falta de

agua, así como su exceso la precipitación debe de ser de 1,500 a 2,500 mm al año. Los suelos deben estar provistos de prácticas que favorezcan la evacuación del exceso de agua. El viento fuerte incide en el desecamiento, muerte y caída de las hojas afectando así la capacidad de alimentarse de la planta, en zonas donde existe este problema deben de colocarse cortinas para viento para evitar los daños. (willian josue miguel estrada , xiomara guadalupe romero 2011)

Su requerimiento en suelos se puede hacer mención que prefiere los suelos ricos en materia orgánica, profundos, franco arcilloso con buen drenaje y topografía regular. Son ideales para el buen desarrollo del árbol; pero el cacao es un cultivo que se adapta a una variedad de suelo que van desde arcillas pesadas muy erosionadas hasta arenas volcánicas recién formadas y limosas con PH de 4 a 7. (willian josue miguel estrada , xiomara guadalupe romero 2011)

El desarrollo de la planta de cacao y su rendimiento está íntimamente relacionado con las condiciones medio ambientales del lugar donde se va a cultivar. Debido a eso, los factores climáticos influyen en la producción de la plantación, por tal motivo las condiciones térmicas, de humedad y luminosidad deben ser las óptimas para el cultivo. La época de floración, brotación y cosecha están regulados por el clima. Debido a estos factores es importante implementar calendarios agroclimáticos para un óptimo desarrollo del cultivo. (Guitierrez 2012)

#### *1.9.2.1. Precipitación*

La planta de cacao es muy sensible a la escasez de agua, así como al encharcamiento, un adecuado suministro y manejo del agua es esencial para que la planta efectuara sus procesos metabólicos. En general la lluvia es el factor climático más variable durante el año y es diferente de una región a otra siendo este un factor que determina diferencias en el manejo del cultivo.

La precipitación óptima para el cultivo del cacao es de 1600 a 2500 mm de lluvia en las zonas más cálidas y 1200 a 1500 mm de lluvia en las zonas más frescas y valles altos. En lugares donde los períodos de sequía son extensos se recomienda realizar riego para así mantener la producción. (Guitierrez 2012)

#### *1.9.2.2. Temperatura*

El cacao tuvo su origen en zonas tropicales, por esta razón la temperatura es un factor que tiene mucha importancia debido a su relación con el desarrollo, floración y fructificación. La temperatura media óptima para un buen desarrollo del cultivo fluctúa entre los 23 grados centígrados y 25 grados centígrados. (Guitierrez 2012)



Las bajas temperaturas en el cultivo de cacao inciden en la velocidad del crecimiento vegetativo, el desarrollo del fruto y el grado de intensidad de la floración; cuando la temperatura es menor a los 21 grados centígrados la floración es menor, pero cuando alcanza los 25 grados centígrados la floración es abundante. Así mismo las bajas temperaturas influyen en la actividad radicular, temperaturas menores a 15 grados centígrados la absorción de agua y nutrientes disminuyendo la producción, Temperaturas que bordean los 30 grados C afectan las raíces superficiales limitando su capacidad de absorción (Guitierrez 2012)

#### *1.9.2.3. Viento*

Determina la velocidad de la evapotranspiración del agua en la superficie del suelo. En plantaciones en donde la velocidad del viento es de 4 m/s y tiene escasa sombra hay defoliaciones muy fuertes. Es preciso utilizar cortinas cortavientos para así evitar daños, se puede hacer esto utilizando especies frutales o maderables y se las dispone alrededor del cultivo de cacao, sin embargo, se debe tomar en cuenta que es necesario que corran ligeras brisas entre las plantas de cacao para así renovar masas de aire para un mejor aprovechamiento de CO<sub>2</sub> y también para reducir los excesos de humedad que en muchos casos son la causa de enfermedades fungosas que atacan al fruto. (Guitierrez 2012)

#### *1.9.3. Altitud*

El cacao se cultiva desde el nivel del mar hasta los 800 msnm, sin embargo, plantaciones cerca de la línea del Ecuador se desarrolla de manera normal en altitudes mayores a los 1000 msnm hasta los 1400 msnm; siendo por estas razones la altitud un factor no determinante para un desarrollo óptimo del cultivo. (Guitierrez 2012)

#### *1.9.4. Luminosidad*

La intensidad de la luz es otro factor determinante en el cultivo del cacao, especialmente porque influye en la fotosíntesis. En etapas de establecimiento del cultivo se recomienda la siembra de otras plantas para proporcionar sombra ya que las plantas de cacao en estas etapas son muy susceptibles a la acción directa de los rayos solares. Se considera que una intensidad lumínica menor al 50% del total de la luz, limita los rendimientos, mientras cuando es mayor al 50% los aumenta. (Guitierrez 2012)

### ***1.9.5. Requerimientos de suelo para el cultivo de cacao***

Los suelos para el cultivo de cacao deben ser preferentemente planos, con una ligera inclinación ya que esta clase de terrenos son muy fértiles y la erosión lo perjudica mucho cuando se realiza un buen manejo. El suelo debe ser suelto y profundo para que las raíces se puedan distribuir sin dificultad y así la raíz principal pueda penetrar fácilmente hasta 1,50 m de profundidad

Los suelos más apropiados para un óptimo desarrollo son los suelos aluviales, los francos y profundos con subsuelo permeable. Los suelos de color negrozco son generalmente los mejores ya que estos están menos lixiviados. (Guitierrez 2012)

#### ***1.9.5.1. Drenaje***

Generalmente existen problemas de drenaje interno por la disposición de los perfiles del suelo, por ejemplo, cuando hay texturas arcillosas, el agua se mueve muy lento provocando un aumento en la humedad y causando la aparición de enfermedades en los frutos del cacao, por eso la importancia de un adecuado manejo del agua en lugares donde las precipitaciones son intensas. (Guitierrez 2012)

#### ***1.9.5.2. Topografía***

La topografía es importante para el establecer la plantación, ya que cuando la topografía es accidentada, dificulta la mecanización y la aplicación de técnicas modernas, además estas zonas son susceptibles a efectos climáticos como la lluvia la cual puede afectar la capa arable provocando pérdida de esta. Para evitar este y otros problemas que puedan ocurrir en estos terrenos, se debe realizar prácticas de conservación de suelos, utilizar coberturas vegetales, barreras vivas o muertas y realizar siembras en curvas de nivel. (Guitierrez 2012)

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Enfoque metodológico

La actual investigación utiliza la técnica Electret Ion Chamber (ICE) para determinar las tasas de exhalación másica y superficial de gas radón de muestras de *Café Robusta* y *Cacao Fino o de Aroma* ecuatorianos. Además, se desarrollan dos enfoques metodológicos, en función del sistema de detección Electret - Cámara de Ionización. La primera se denominó Metodología de Largo Plazo (MLP) y la segunda Metodología de Corto Plazo (MCP). El estudio se realizó en el Laboratorio de Técnica Nucleares de la ESPOCH como parte del proyecto de investigación denominado “Evaluación de elementos radiactivos de la serie del Uranio 238 en el ambiente en pacientes con cáncer” del Instituto de Investigaciones ESPOCH (enero 2020-marzo 2022), ejecutado por el Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático GIDAC.

#### 2.2. Zona de recolección de las muestras

Las muestras de Café Robusta y Cacao Fino o de Aroma fueron recolectadas en la provincia de Orellana, cantón Francisco de Orellana, parroquia El Dorado en la finca del señor Hipólito Rosillo (0°30'32.6"S 76°59'23.6"W), esta finca se dedica al cultivo y exportación de café robusta y cacao fino o de aroma.

#### 2.3. Preparación de las muestras

El Café Robusta y Cacao Fino o de Aroma fueron secados dentro de las instalaciones de la finca, es decir cada grano fue escogido de sus respectivos arbustos o cafetos para su posterior secado natural, ya que las condiciones climáticas de la provincia de Orellana son óptimas para un secado en el ambiente. La preparación de las muestras consistió en dos etapas.

##### 2.3.1. Tostado

Los granos de Café se tostaron en un horno casero durante 3 días para posteriormente ser pelados y sometidos a un segundo proceso de secado en una estufa durante 72 horas a 60° C. El Cacao en

pepa se tostó en un recipiente metálico en una cocina industrial a fuego lento y posteriormente fue pelado.

### 2.3.2. Triturado y tamizado

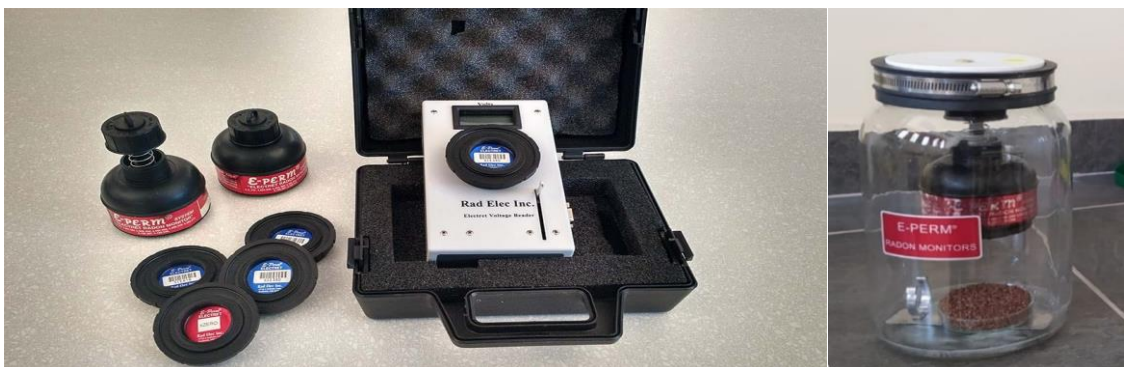
Los granos de Café y el Cacao en pepa secos y sin cáscara se trituraron y tamizaron para obtener muestras de granulometría de 1mm y 3mm.

Adicionalmente se analizó muestras de dos tipos de Café (Minerva y Loja) comprados en el Supermaxi de la ciudad de Riobamba, las muestras se pasaron por un tamiz de 1mm.

### 2.4. Descripción de la técnica Electret Ion Chamber (EIC)

El arreglo experimental consiste en una cámara de ionización, modelo S, un Electret Short Term (Metodología de Corto Plazo), un Electret Long Term (Metodología de Largo Plazo), un acumulador de vidrio de 4 litros y un lector de voltaje de los 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 2-1 (izquierda) muestra una cámara de ionización modelo S abierta y cerrada, un Electret ST (azul), un Electret LT (rojo), el lector de voltaje de Electrets SPER-1E con su estuche. A la derecha se presenta el acumulador de vidrio cerrado herméticamente con una muestra de café en el fondo y el sistema de detección sujeto en la tapa y suspendido en



**Figura 1-2:** Sistema E-PERM para el estudio de las tasas de exhalación másica y superficial de gas radón de muestras de Café Robusta y Cacao Fino y de Aroma.

**Realizado:** Tello Jaime, 2021.

Un *Electret* es un disco de teflón cargado positivamente y por tanto fuente de campo eléctrico. 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. El soporte del Electret está hecho de plástico conductor y está diseñado para que se atornille directamente en el fondo de la cámara modelo S. (Kotrappa et al. 1990). Los Electrets Short Term se utilizan para mediciones de 2 a 7 días, son discos de politetrafluoroetileno (PTFE) Teflón™, de 0,152 cm de grosor, los Electrets Long Term se utilizan para mediciones de 1 a 12 meses son discos de tetrafluoretileno (FEP) Teflón™ de 0,0127 cm de grosor. La sensibilidad de los E-PERMS es *inversamente proporcional* al espesor del Electret. El voltaje de fábrica de los Electrets es alrededor de 700 voltios, pueden ser reutilizados hasta que el voltaje caiga a 200 voltios.

*La cámara de ionización* es una pequeña cámara plástica (volumen 210 ml) que se acopla en la parte inferior con el Electret, constituyendo un sistema de detección de bajo costo para monitorear radón en aire. Los iones producidos dentro de la cámara por el radón y su progenie son recogidos por el Electret. La reducción en la carga del detector está relacionada con la ionización total durante el periodo de exposición (Kotrappa et al. 1990).

*El acumulador 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 café y cacao.

*El lector de voltaje SPER-IE* es un instrumento pequeño y portátil (0,5 kg) que lee digitalmente el voltaje en la superficie del Electret en voltios, se encera automáticamente usando un Electret de puesta a cero, mantiene la lectura hasta 4 min y tiene un apagado automático después de 4 min.

## **2.5. Evaluación de las tasas medias de exhalación superficial y másica de Radón**

La tasa media de exhalación superficial de Gas Radón del Café y Cacao fue calculada usando la siguiente ecuación (Kotrappa P et al, 1990):

$$E_s = \frac{CRn * V * \lambda Rn}{K * A} \quad (1)$$

Dónde:

$E_s$ , tasa media de exhalación superficial de radón en  $Bq m^{-2}h^{-1}$ .

CRn, concentración de radón en el aire dentro del acumulador en Bq m<sup>-3</sup>

A, área de exhalación de la muestra en m<sup>2</sup>

λRn, constante de decaimiento de radón en h<sup>-1</sup>

T, tiempo de exposición en horas

V, es la diferencia entre el volumen neto del contenedor, el volumen del sistema Cámara-Electret y el volumen de la muestra en m<sup>3</sup>.

La tasa media de exhalación másica se obtiene de la Ecuación (1), reemplazando el área de exhalación (A) por la masa de la muestra (m):

$$E_m = \frac{CRn * V * \lambda Rn}{K * m} \quad (2)$$

Donde  $E_m$  se mide en Bq kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y m, la masa de la muestra en kg.

En las Ecuaciones (1) y (2), la constante K, está dada por la siguiente expresión:

$$K = \left[ 1 - \left( \frac{1 - e^{-\lambda Rn * T}}{\lambda Rn * T} \right) \right] \quad (3)$$

## 2.6. Cálculo de la concentración de radón en el aire dentro del acumulador

Las Ecuaciones (1) y (2) muestran que un parámetro necesario para evaluar las Tasas Medias de Exhalación Superficial y Másica es el cálculo de la *concentración de radón en el aire dentro del acumulador* de vidrio, para esto se utilizó la siguiente ecuación (Kotrappa P et al, 1989):

$$CRn = \frac{(Vi - Vf)}{(T) * (FC)} - BG \quad (4)$$

Dónde:

CRn: Concentración de radón en el acumulador (Bq m<sup>-3</sup>).

T: Período de exposición en horas.

$V_i$  y  $V_f$ : Voltajes inicial y final del detector respectivamente.

BG: Fondo gamma en Bq m<sup>-3</sup>

FC: Factor de calibración en voltios por (Bq m<sup>-3</sup> horas).

Los factores de calibración son diferentes si se trata del sistema SST (cámara modelo S, Electret ST) o si se trata del sistema SLT (cámara modelo S, Electret ST). Las Ecuaciones (5) y (6) permiten calcular estos parámetros (Kotrappa P et al, 1989):

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

$$CF(LT) = 0.00481 + 0.0000168 \frac{V_i + V_f}{2} \quad (6)$$

## 2.7. Procedimiento experimental

El procedimiento experimental para determinar las Tasas Medias de Exhalación Superficial y Másica de Radón del Café y Cacao, con la metodología de largo plazo (MLP) y de corto plazo (MCP) consiste en insertar la muestra y el sistema de detección en el acumulador de vidrio y cerrarlo herméticamente para evitar fugas de radón. Las etapas se detallan a continuación:

- a) Pesar cada muestra usando una balanza de precisión de 1 gramo y colocar en una caja Petri. Se utilizó dos tamaños de cajas, una de 6,7 cm de diámetro y altura de 1,6 cm y una segunda de 7,3 cm de diámetro y 1,2 cm de altura, todas las medidas se realizaron con un Calibrador o Pie de Rey. Las capacidades de las cajas Petri son de 61g y 67g respectivamente.
- b) Colocar la caja Petri que contiene la muestra en el fondo del acumulador de vidrio de 4 litros, colgar el sistema de detección (cámara abierta) en la tapa del contenedor e introducirlo en el contenedor y cerrar herméticamente, quedando suspendido en el aire (Ver Figura 2-1, derecha).
- c) Medir el voltaje inicial del detector usando lector de voltaje SPER-1E y colocar el Electret en la base de la cámara de ionización cerrada.
- d) Registrar la fecha y hora de inicio de la medida.

- e) Medir el voltaje final del detector una vez que ha transcurrido tiempo de exposición de 7 días para el MCP y 30 días para el MLP.
- f) Registrar la fecha y hora de la finalización de la medida.
- g) Medir la concentración de radón de fondo (background), usando un arreglo similar al mostrado en la Figura 2-1(derecha), pero *sin muestra*.
- h) Calcular la concentración de radón dentro del acumulador con la Ecuación (4) con el correcto factor de calibración (Ecuaciones (5) y (6)) dependiendo del método. La concentración neta se obtiene restando la concentración de fondo de la concentración medida *con la muestra*.
- i) Calcular las Tasas de Exhalación Superficial y Másica de Radón mediante las Ecuación (1) y (2) respectivamente.
- j) Para cada muestra se realizó tres experimentos independientes, con el fin de calcular Tasas *Medias* de Exhalación Másica y Superficial, empleando una media pesada.



## CAPITULO III

### 3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. Metodología de Corto Plazo (MCP)

##### 3.1.1. Comparación de las Tasas Medias de Exhalación Másica y Superficial de radón de muestras con diferente granulometría

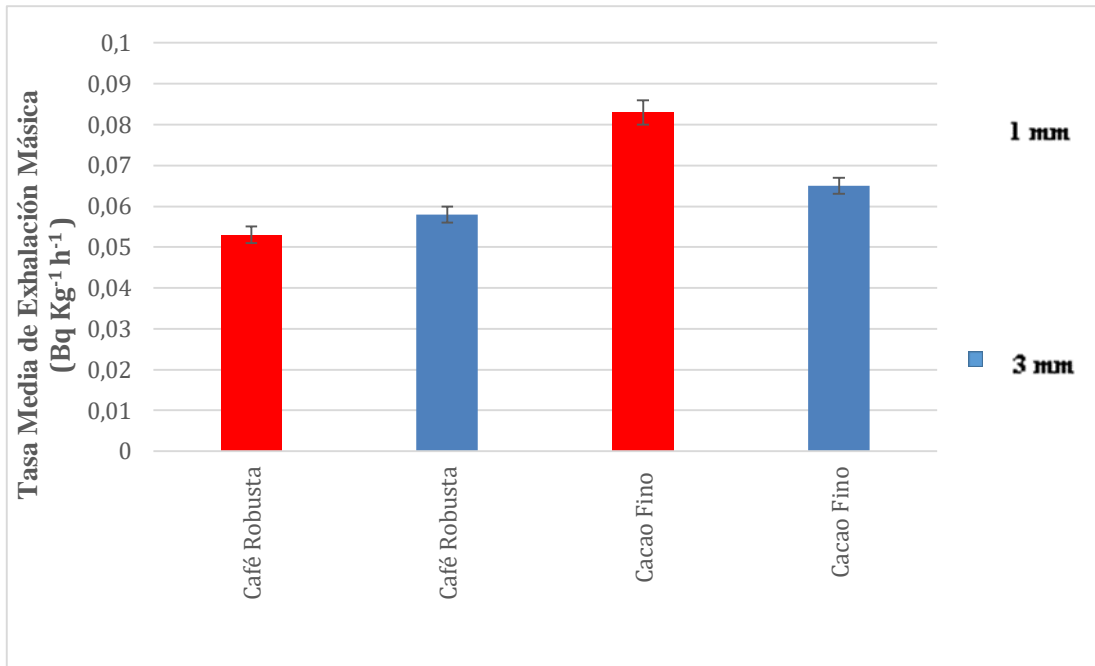
La Tabla 1-3 presenta los resultados de las *Tasas Medias de Exhalación Másica y Superficial* de las muestras de Café Robusta y Cacao Fino y de aroma, cultivadas en la parroquia El Dorado de la provincia de Orellana, medidos con diferente granulometría (1mm y 3mm), usando la *Metodología de Largo plazo*. Los valores más altos corresponden al cacao fino y de aroma de 1mm con  $0,083 \pm 0,003 \text{ Bq kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  (tasa de exhalación másica) y  $0,662 \pm 0,024 \text{ Bq m}^{-2}\text{h}^{-1}$  (tasa de exhalación superficial).

**Tabla 1-3:** Tasas Medias de Exhalación Másica y Superficial del Café y Cacao, usando la MCP, con granulometrías de 1mm y 3mm

Muestra	Tasa Media de Exhalación Másica ( $\text{Bq kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Error Absoluto ( $\text{Bq kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Error relativo (%)	Tasa Media de Exhalación Superficial ( $\text{Bq m}^{-2}\text{h}^{-1}$ )	Error absoluto ( $\text{Bq m}^{-2}\text{h}^{-1}$ )	Error relativo (%)
Café Robusta 1mm	0,053	0,002	4	0,421	0,022	5
Café Robusta 3 mm	0,058	0,002	3	0,428	0,022	5
Cacao fino y de aroma 1 mm	0,083	0,003	4	0,662	0,024	4
Cacao Fino y de Aroma 3 mm	0,065	0,002	3	0,561	0,021	4

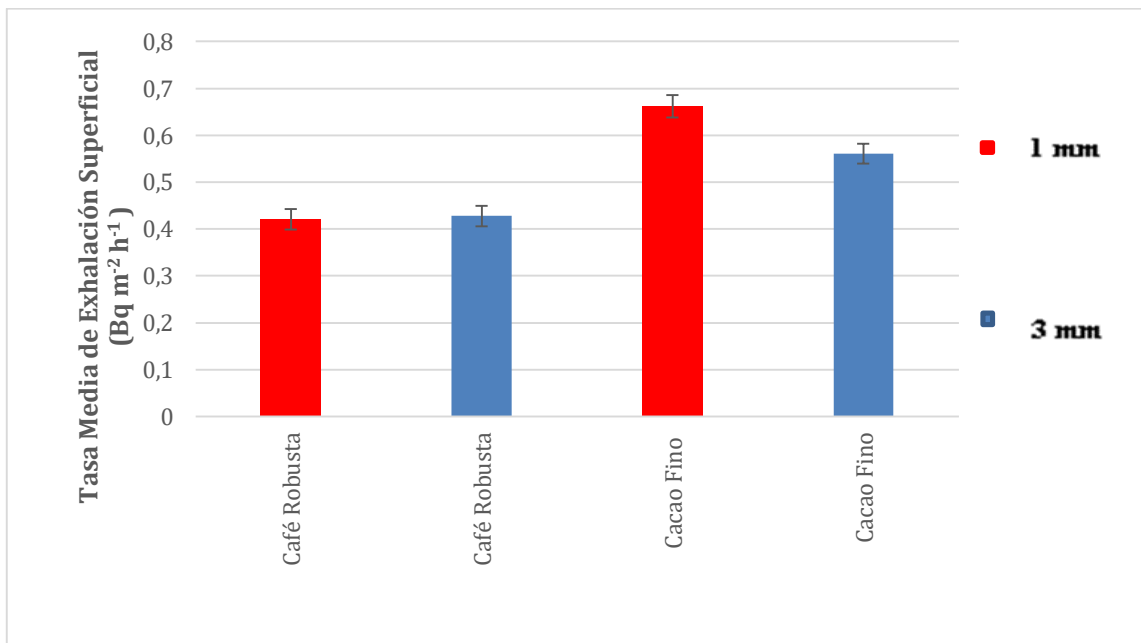
Realizado por: Tello Jaime, 2021.

Las Gráficas (1-3) y (2-3) muestran los datos detallados en la Tabla 1-3 y visualizan que las Tasas Medias de Exhalación para el Café Robusta de 1mm y 3mm son compatibles dentro de los errores experimentales; mientras que, para el Cacao Fino y de Aroma, la muestra de 1mm exhala más que la muestra de 3mm.



**Gráfica 1-3:** Tasa media de exhalación másica, usando la MCP, en función de la granulometría de la muestra, 1mm (rojo), 3mm (azul).

Realizado por: Tello Jaime, 2021.



**Gráfica 2-3:** Tasa media de exhalación superficial, usando la MCP, en función de la granulometría de la muestra, 1mm (rojo), 3mm (azul).

Realizado por: Tello Jaime, 2021.

### 3.2. Metodología de Largo Plazo (MLP)

### 3.2.1. Comparación de las Tasas medias de exhalación másica y superficial de radón de muestras con diferente granulometría

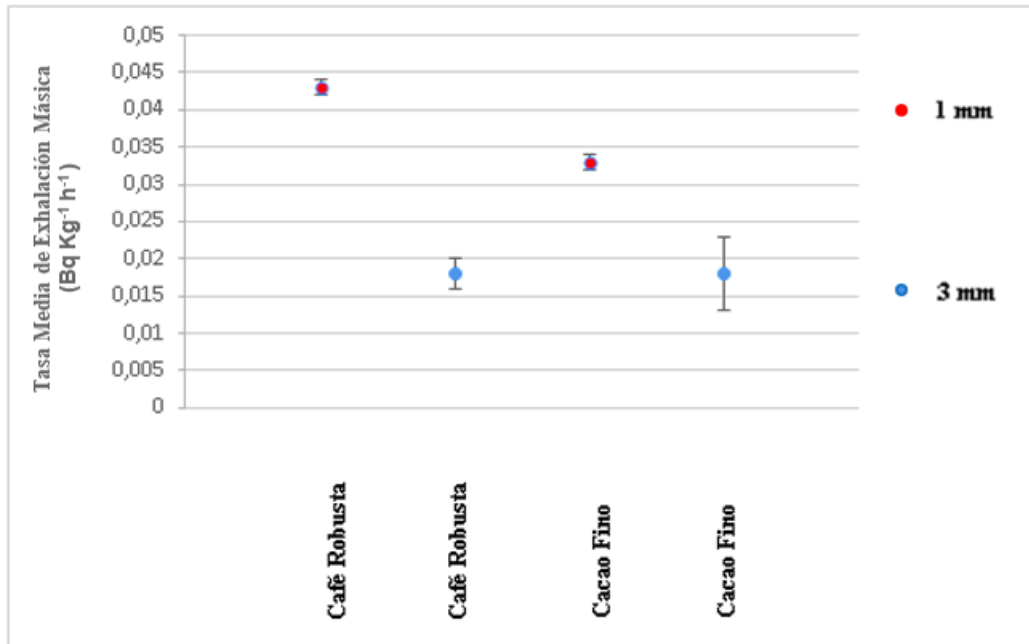
La Tabla 2-3 presenta los resultados de las *Tasas Medias de exhalación másica y superficial* de las muestras de Café robusta y Cacao Fino y de Aroma, medidos con diferente granulometría (1mm y 3mm), usando la *Metodología de Largo Plazo*. El Cacao Fino y de Aroma de 1mm con esta metodología presenta una Tasa de exhalación másica de  $0,033 \pm 0,001 \text{ Bq kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  y una tasa de exhalación superficial  $0,263 \pm 0,016 \text{ Bq m}^{-2}\text{h}^{-1}$ , valores claramente más pequeños que los observados con la MCP.

**Tabla 2-3:** Tasas medias de exhalación másica y superficial del Café y Cacao, usando la MLP, con granulometrías de 1mm y 3mm.

Muestra	Tasa Media de Exhalación Másica ( $\text{Bq kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Error Absoluto ( $\text{Bq kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Error relativo (%)	Tasa Media de Exhalación Superficial ( $\text{Bq m}^{-2}\text{h}^{-1}$ )	Error absoluto ( $\text{Bq m}^{-2}\text{h}^{-1}$ )	Error relativo (%)
<b>Café Robusta 1mm</b>	0,043	0,001	2	0,346	0,012	3
<b>Café Robusta 3 mm</b>	0,018	0,002	12	0,179	0,011	6
<b>Cacao Fino y de Aroma 1 mm</b>	0,033	0,001	3	0,263	0,016	6
<b>Cacao Fino y de Aroma 3 mm</b>	0,018	0,005	28	0,146	0,016	11

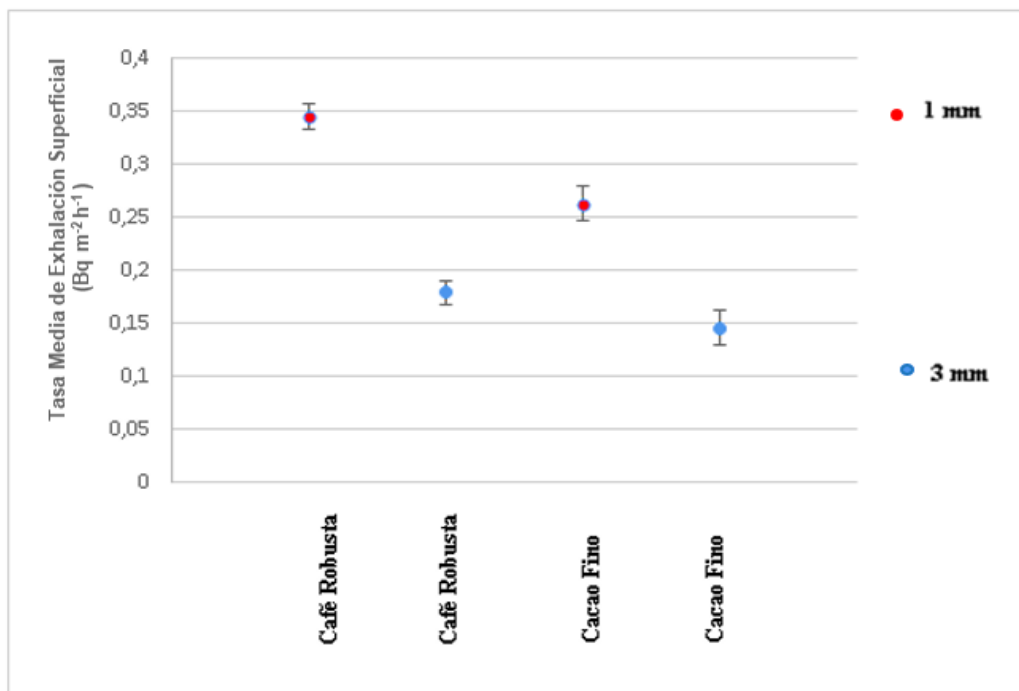
Realizado por: Tello Jaime, 2021.

Las Gráficas (3-3) y (4-3) muestran los datos de la Tabla 2-3 y se observa claramente que las muestras de Café Robusta y Cacao fino y de Aroma de granulometría 1mm exhalan más que las muestras de 3mm.



**Gráfica 3-3:** Tasa media de exhalación másica, usando la MLP, en función de la granulometría de la muestra, 1mm (rojo), 3mm (azul).

Realizado por: Tello Jaime, 2021.

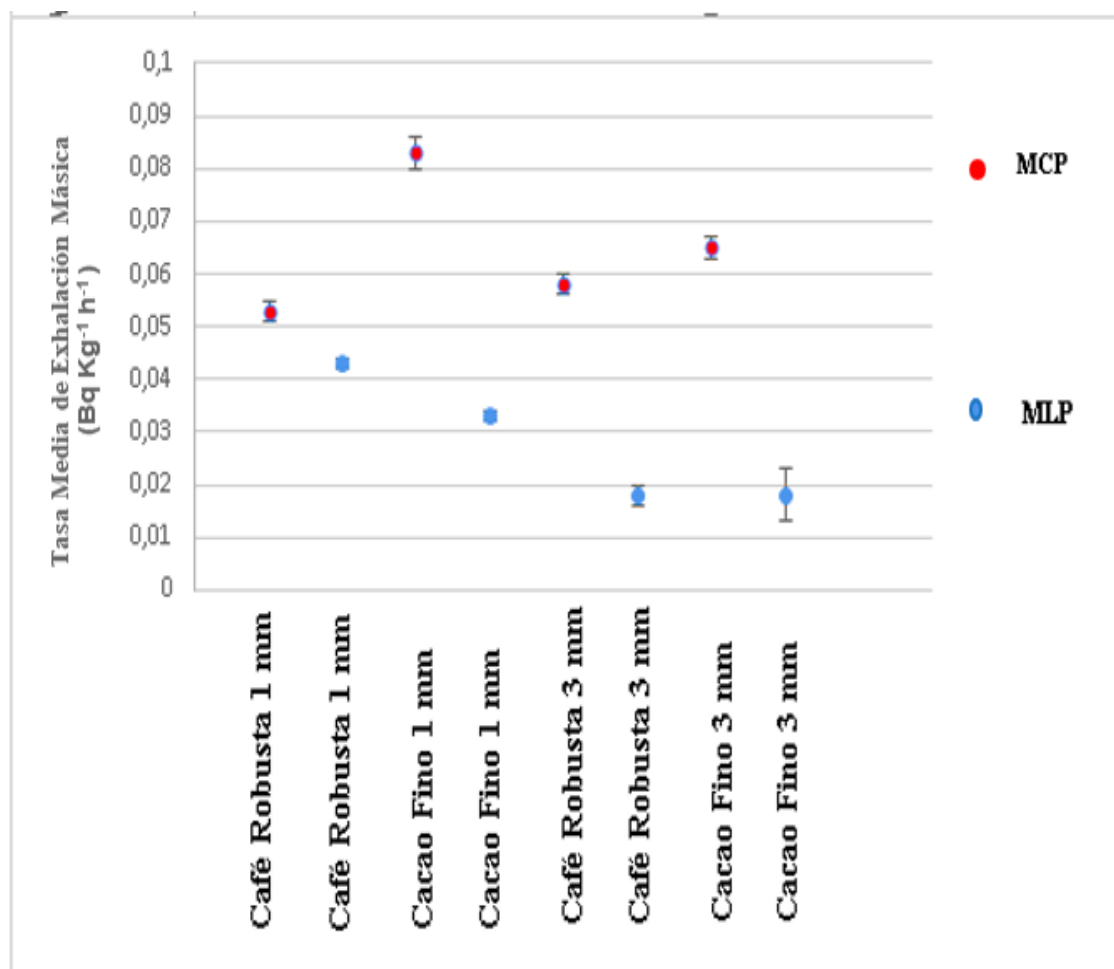


**Gráfica 4-3:** Tasa media de exhalación superficial, usando la MLP, en función de la granulometría de la muestra, 1mm (rojo), 3mm (azul).

Realizado por: Tello Jaime, 2021.

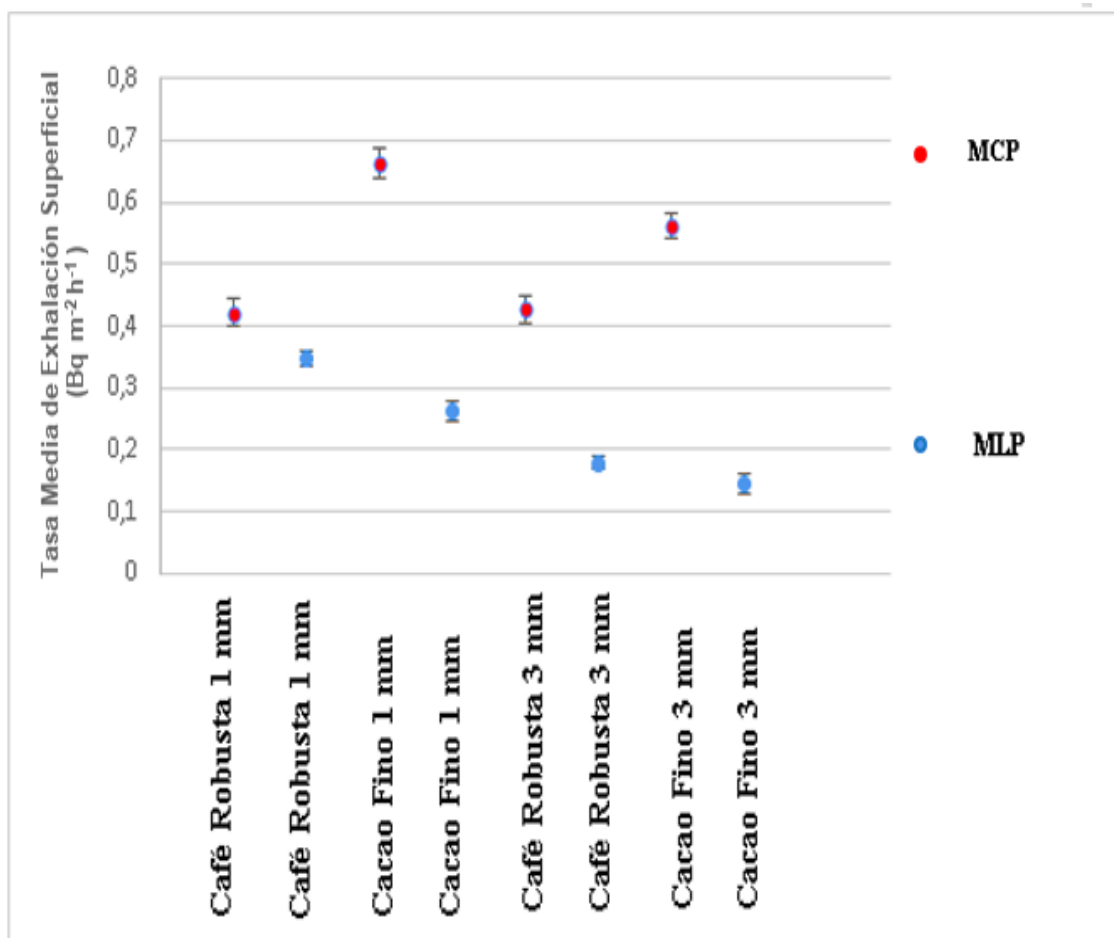
### 3.2.2. Comparación de las Metodologías de Corto y Largo Plazo

Las Gráficas (5-3) y (6-3) ilustran las comparaciones las tasas de exhalación másica y superficial de las muestras de Café Robusta y Cacao Fino y de Aroma de granulometría de 1mm y 3mm, cultivas en la provincia de Orellana, calculadas usando las Metodologías de Corto y Largo Plazo. Se puede observar que en todos los casos los valores obtenidos con la MCP son mayores que los obtenidos con la MLP.



**Gráfica 5-3:** Comparación de las metodologías MCP (rojo) y MLP (azul) usados para calcular la tasa de exhalación másica.

Realizado por: Tello Jaime, 2021.



**Gráfica 6-3:** Comparación de las metodologías MCP (rojo) y MLP (azul) usados para calcular la tasa de exhalación másica

**Realizado por:** Tello, Jaime 2021.

La posible causa de la discrepancia entre métodos es que la fuga de radón desde el contenedor en un periodo largo de exposición (30 días) sea significativa, esto conlleva a una concentración menor y por lo tanto tasas de exhalación menores. La metodología de corto plazo *es recomendable* tanto en términos de tiempo necesario para realizar una medida individual como en términos de *precisión* y *exactitud* de la medida.

### **3.2.3. Comparación de las tasas de exhalación másica y superficial de diferentes clases de café estudiadas y el Cacao Fino y de Aroma**

Una comparación de las tasas de exhalación másica y superficial de las tres clases de café estudiadas y el Cacao Fino y de Aroma se realizó con granulometría de 1mm, debido a que el Café Minerva y el Café Loja, comprados en el Supermaxi de Riobamba, vienen con esa granulometría, y con la MCP ya que en la Sección (3-3) se concluyó que es la más exacta. Los resultados con sus incertidumbres absoluta y relativa se ilustran en la Tabla (3-3) y se puede

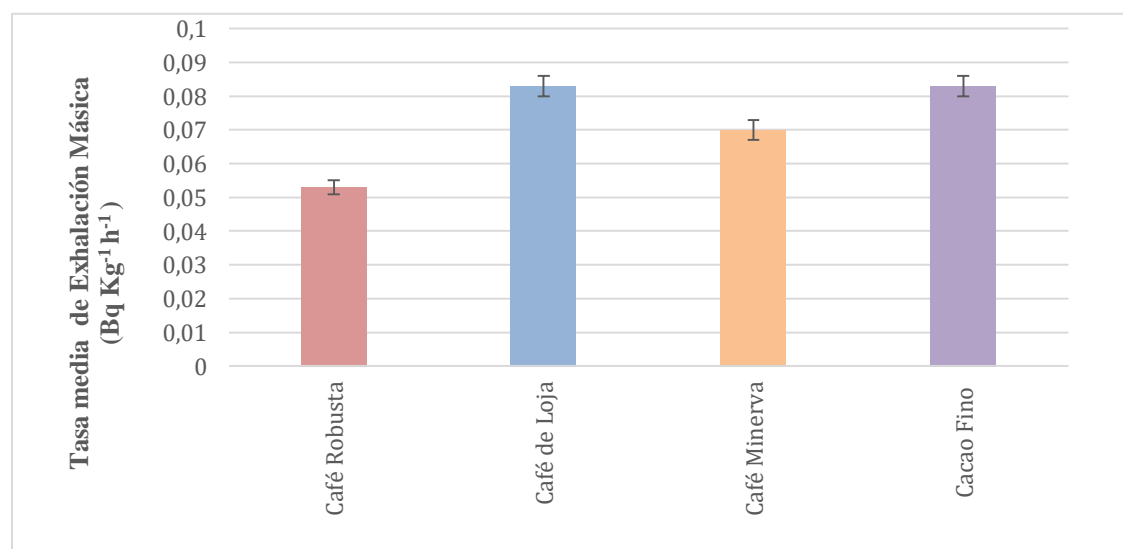
visualizar en las Gráficas (7-3) y (8-3). Los valores de las Tasas de Exhalación para el Café Minerva y Café Loja son el resultado de una sola medida, mientras que los valores del Café Robusta y el Cacao Fino y de Aroma son valores medios de 3 experimentos independientes.

**Tabla 3-3:** Tasas de exhalación másica y superficial de diferentes clases de Café y Cacao Puro y de aroma (1 mm), usando la MCP

Muestra	Tasa Media de Exhalación Másica (Bq kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	Error Absoluto (Bq kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	Error relativo (%)	Tasa Media de Exhalación Superficial (Bq m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	Error absoluto (Bq m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	Error relativo (%)
Café Robusta	0,053	0,002	4	0,421	0,022	5
Café Loja	0,083	0,003	4	0,712	0,032	4
Café Minerva	0,070	0,003	4	0,580	0,032	5
Cacao Fino y de Aroma	0,083	0,003	4	0,662	0,024	4

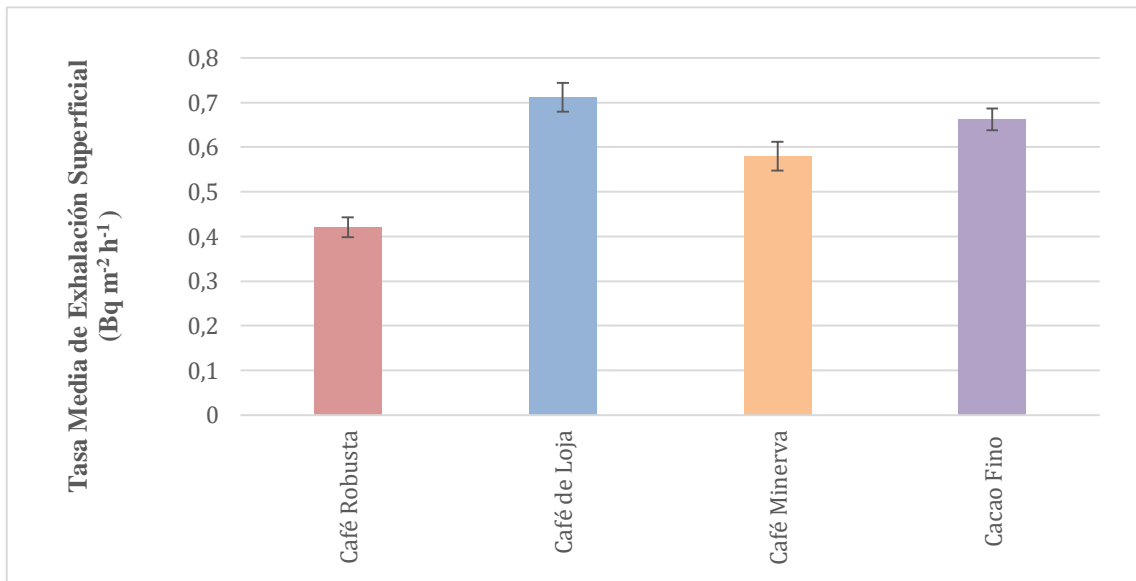
Realizado por: Tello Jaime, 2021.

Entre las diferentes clases de café analizadas, el Café Loja presenta la mayor exhalación tanto másica como superficial ( $0.083 \pm 4\%$  Bq kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> y  $0,712 \pm 4\%$  Bq m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup> respectivamente), seguido del Café Minerva y el Café Robusta. El Cacao Fino y de Aroma muestra una exhalación másica igual al Café Loja y una exhalación superficial compatible, pero tasas de exhalación másica y superficiales del Cacao Fino y de Aroma claramente son superiores al Café Minerva y Café Robusta.



**Gráfica 1-3:** Tasa de exhalación másica de las diferentes clases de Café y el Cacao Puro y de aroma (1 mm), usando la MCP

Realizado por: Tello Jaime, 2021.



**Gráfica 2-3:** Tasa de exhalación superficial de las diferentes clases de Café y el Cacao Puro y de aroma (1 mm), usando la MCP.



## CONCLUSIONES

- Las tasas medias de exhalación superficial y másica del Café Robusta con granulometría de 1mm y con la Metodología de Corto Plazo son compatibles con la granulometría de 3mm, mientras que para el Cacao Fino y de Aroma son más altas que con granulometría de 3mm. Los resultados con la Metodología de Largo Plazo muestran que para el Café Robusta y el Cacao Fino y de Aroma de 1mm exhalan más que las muestras de 3mm, por lo que se puede deducir que *la granulometría de las muestras influye en la exhalación de gas radón*.
- El estudio de las metodologías para evaluar las tasas medias de exhalación superficial y másica de radón del Café Robusta y el Cacao Fino y de Aroma, sugiere que la Metodología de Corto Plazo es *recomendable* respecto a la Metodología de Largo Plazo, debido al tiempo necesario para realizar una medida (7 días) y la precisión y exactitud en los resultados. La fuga de radón del acumulador en un periodo largo de exposición (30 días) puede llegar a ser significativa.
- La comparación de las tasas medias de exhalación másica y superficial de las tres clases de café estudiadas, Café Robusta (cultivado en la provincia de Orellana), Café Minerva y Café Loja (comprados en el Supermaxi de Riobamba) con granulometría de 1mm y usando la MCP, muestra que el Café Loja presenta la mayor exhalación tanto másica como superficial ( $0.083 \pm 4\% \text{ Bq kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  y  $0,712 \pm 4\% \text{ Bq m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ), seguido del Café Minerva ( $0.070 \pm 4\% \text{ Bq kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  y  $0,580 \pm 5\% \text{ Bq m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ) y el Café Robusta ( $0.053 \pm 4\% \text{ Bq kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  y  $0,421 \pm 5\% \text{ Bq m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ).
- El Cacao Fino y de Aroma (cultivado en la provincia de Orellana) de granulometría 1mm con la MCP, muestra una tasa de exhalación másica ( $0.083 \pm 4\% \text{ Bq kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) igual al Café Loja ( $0.083 \pm 4\% \text{ Bq kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ), mientras que la tasa de exhalación superficial ( $0,662 \pm 4\% \text{ Bq m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ) es compatible dentro de los errores experimentales al Café Loja ( $0.712 \pm 4\% \text{ Bq m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ). La comparación con el Café Minerva y Café Robusta muestra que el Cacao Fino y de Aroma tiene tasas de exhalación másica y superficial claramente superiores.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda el cálculo de las tasas de exhalación másica y superficial de otros productos ecuatorianos de exportación como el banano y el camarón.
- Se recomienda realizar experimentos que permitan obtener las curvas y ecuaciones de calibración para E-PERMS a corto y largo plazo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ADORACIÓN, B Y ENRIQUE, G.** *Radiaciones ionizantes: normas de protección.* NTP 614, 2001.

**ALASBIMN.,** El efecto nocivo de niveles bajos de radiación en la salud humana ha sido extensamente estudiado. Los datos epidemiológicos provenientes de poblaciones expuestas a explosiones atómicas, 2008, pp. 11

**BRITO, C. y SEBASTIÁN, G.** *Detección de las concentraciones de radio-226 y exhalación de radón-222 en algunos materiales de construcción de la ciudad de Cuenca, Ecuador.* 2016

**CARRANZA, M. y LÓPEZ, B.** “Estudio del efecto del radón en los casos de muerte por cáncer pulmonar en la población de Mexicali, Baja California, México”. *Radon determination by activated charcoal adsorption and liquid scintillation measurement* [En línea], 1999, (México) vol. 240, n° 1, pp. 237-241. [Consulta: 01 enero 2021]. Disponible: DOI 10.1007/BF02349160.

**CONSEJO DEL EURATOM.** “Reglamentos”. Vol. 4, 2016. pp. 2-11.

**EPA.** “*Manual Informativo Sobre El Radón La guía para proteger a su familia y a usted del radón*”. 2016

**FABRIKANT, J.** “Radon and lung Cancer: THE NEIR IV REPORT”. Vol. 59, n° 1 (1990), pp. 89-97.

**GALICIA, X.** Guía de recomendaciones de mitigación en viviendas existentes. 2018, pp. 1-43.

**GOBIERNO DE ESPAÑA.** *Exposición laboral al radón Guía para la prevención.* 2017

**GOD, F. y ECORFAN, L.** *La producción y el consumo del café.* 2015. [Consulta: 01 enero 2021]. ISBN 9786078324491.

**GUTIERREZ, L.** Título: manual de producción de cacao fino de aroma a través de manejo ecológico. 2012

**HEREDIA, B.** *Guía Técnica para el Cultivo del Café.* 2011

**MINISTERIO DEL TRABAJO DE ESPAÑA.** Ministerio de trabajo y asuntos sociales, Instituto Nacional de seguridad E higiene en el trabajo, NTP 440: *Radón en ambientes interiores*. 2011.

**KOTRAPPA, P., DEMPSEY, J. C., RAMSEY, R. W. et STIEFF, L. R.** A practical e-perm™ (Electret passive environmental radon monitor) system for indoor<sup>222</sup>Rn measurement. *Health Physics*. [En línea], 1990, 58 (4), pp. 461-467. [Consulta: 30 enero 2021]. Disponible: DOI 10.1097/00004032-199004000-00008.

**KOTRAPPA, P. y JESTER, W A.** ELECTRET ION CHAMBER RADON MONITORS MEASURE DISSOLVED <sup>222</sup>Rn IN WATER. N° July 1992.

**LASTRA, M.** *Estudio de diferentes técnicas para la medida de exhalación de radón en suelos* *Research about different measurement techniques of radon exhalation in soils* Autora : Marta Fuente Lastra. 2016

**NÚÑEZ, M.** Efectos biológicos de las radiaciones - Dosimetría. *Escuela Universitaria de Tecnología Médica UdelaR, Montevideo, Comité de Tecnólogos de Uruguay*. 2008

**PICON, F.** Datación Radiactiva. 2007.

**RAMIREZ, F.** Detectores de RADIACION. 1928, pp. 3-6.

**ROSELLI, C, DESIDERI, D, RONGONI, A, SAETTA, D y FEDUZI, L,** 2013. Radioactivity in coffee. pp. 1813-1818. DOI 10.1007/s10967-012-2101-7.

**SINGH, S., MEHRA, R., SINGH, K,** 2005. MANUAL DE LA OMS SOBRE EL RADÓN EN INTERIORES. Vol. 39, pp. 7761-7767. DOI 10.1016/j.atmosenv.2005.08.030.

**STEINER, A,** 2016. *Radiación: efectos y fuentes, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*. [Consulta: 01 enero 2021]. Disponible: ISBN 9789280735994.

**SUBILS, J.** NTP 440: Radón en ambientes interiores. 2011

**VAZQUEZ, A.** ELCAFE: NUEVAS APLICACIONES EN 15 RECETAS DE SAL Y DULCE, 2011, pp. 1-123.

**VELASTEGUI, P.** Investigación del cacao de Santo Domingo de los Tsáchilas para sus múltiples usos en la gastronomía Paula Nikole Velastegui Ruiz. 2019.

**WILLIAN, J. y GUADALUPE, X.** “Guía técnica del cultivo de cacao manejado con técnicas agroecológicas”. 2011