UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Ambiental

TRABAJO EXPERIMENTAL:

"PROPUESTA DE PROTOCOLO PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DEL RADIO^{226}, SUELO-PASTO-LECHE DE VACA: DOS GRANJAS BOVINAS, PARROQUIA DE TURI Y TARQUI DE LA CIUDAD DE CUENCA"

AUTOR:

CHRISTIAN ISMAEL SAQUICELA GALARZA

TUTOR:

TONY JESÚS VILORIA ÁVILA, PHD.

CUENCA - ECUADOR

2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Christian Ismael Saquicela Galarza con documento de identificación N° 0104447875, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: **"PROPUESTA DE PROTOCOLO PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DEL RADIO^{226}, SUELO- PASTO-LECHE DE VACA: DOS GRANJAS BOVINAS, PARROQUIA DE TURI Y TARQUI DE LA CIUDAD DE CUENCA"**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Ambiental* en la Universidad politécnica Salesiana facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, junio del 2020

Christian Ismael Saquicela Galarza

C.I. 0104447875

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **"PROPUESTA DE PROTOCOLO PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DEL RADIO^{226}, SUELO- PASTO-LECHE DE VACA: DOS GRANJAS BOVINAS, PARROQUIA DE TURI Y TARQUI DE LA CIUDAD DE CUENCA"**, realizado por Christian Ismael Saquicela Galarza, obteniendo el *Trabajo Experimental* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, junio del 2020

Tony Viloria Ávila, PhD

C.I. 0151688264

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Christian Ismael Saquicela Galarza con documento de identificación N° 0104447875, autor del trabajo de titulación: **"PROPUESTA DE PROTOCOLO PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DEL RADIO^{226}, SUELO- PASTO-LECHE DE VACA: DOS GRANJAS BOVINAS, PARROQUIA DE TURI Y TARQUI DE LA CIUDAD DE CUENCA"**, certifico que el total contenido del *Trabajo Experimental*, es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, junio del 2020

Christian Ismael Saquicela Galarza

C.I. 0104447875

DEDICATORIA

En la aurora de mis sueños, luche por un mañana que parecía utópico en mi realidad, que los fracasos acompañados de la humillación fueron los vestigios de mi vida y que el yugo de un sistema precario, me impulso el libre albedrio de mi ideológica. Es un hoy que cumplí una hazaña de la burocrática, pero gracias a la misma observé mi destino, lleno de lirismo en la filantropía y la revolución, que forjaron las bases de mis valores, además, de impulsar el dualismo de lo científico y lo ético. El mundo Salesiano fue parte importante en el despertar de mi conciencia, como también lo fue, en la quimera que trasmiten a la sociedad, donde prevalece la ley del más fuerte, desde una perspectiva mercantil. El paradigma social no camina ni caminará conmigo, en cambio, si el de un trovador amante de la verdad y la justicia; por ello y mucho más, manifiesto en este pensar, el agradecimiento de mi visión: a Polivio Saquicela, Rosa Saquicela, Cristiam Saquicela, Victor Saquicela, Lorena Saquicela, Ángela Saquicela, Cristiancito Saquicela y Victoria Saquicela; mi familia que me guiaron mi sendero holístico, además, a mis hermanos y hermanas de lucha social: Colectivo Ciudadanos en Acción, Trigales Altos, entre otros grupos de activistas sociales y ambientales que enarbolamos la alforja de la verdad, por un mundo equitativo. Lleno de sentimentalismo en cada palabra expresada en este texto, con la elocuencia de mis ansias y con la retórica de mis deseos, expreso el preludio mis sueños.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar un estudio de línea base, referente a los niveles de Ra^{226} en el suelo, el pasto y la leche de vacas, que pastaron en las zonas de interés, así como de uranio, torio y potasio. Para ello se seleccionaron dos granjas bovinas de las parroquias Tarqui (Sector Zhucay) y Turi (Sector Bellavista), pertenecientes a las zonas rurales de la ciudad de Cuenca-Ecuador. Se utilizaron dos técnicas de medición; espectrometría gamma, haciendo uso de un detector de NaI(Tl) de 3”x3”, y las celdas de centelleo Lucas, con el contador Pylon AB-6. Con la primera técnica se midió la concentración de uranio, torio y potasio en el suelo de las granjas arriba mencionadas, sobre un mallado cuadriculado de 4 metros de lado y 20 puntos de muestreo. Para la detección del Ra-226 en las muestras de suelo y pastos, se tomaron cinco muestras por punto, estas se deshidrataron y colocaron en kitasatos herméticamente sellados por un período de un mes, para luego medir la concentración del Rn-222 acumulado con el Pylon AB-6, de manera análoga se procedió con las muestras de leche, después de haber extraído de ella el Rn-222 inicial. Los resultados por el método de espectrometría gamma en el suelo para uranio, torio y potasio, dieron significativamente diferente en las parroquias de estudio; las concentraciones de ^{235}U fueron de 0,97±0,20 ppm y 0,28±0,07 ppm; en ^{232}Th de 3,2 ± 0,2 ppm y 2,5 ± 0,2 ppm y en ^{40}K de 0,64 ± 0,06 % y 0,38 ± 0,06 % en Tarqui y Turi, mostrando mayor cantidad de estos elementos en la parroquia de Turi estadísticamente. Las concentraciones ^{226}Ra en suelo, fueron analizadas por el método centelleo, haciendo uso de las celdas Lucas, donde se obtuvo que están por debajo de los valores promedios de la UNSCEAR y representan 5,4 ± 0,3 Bq/kg y 4,9 ± 0,4 Bq/kg; mientras que en el pasto las concentraciones son inferiores a los promedios mundiales con valores de 0,233 ± 0,021 Bq/kg y 0,17 ± 0,04 Bq/kg; en la leche de vaca, los resultados conseguidos, fluctúan en valores de promedios de 0,092 ± 0,009 Bq/kg y 0,083 ± 0,008 Bq/kg en Tarqui y Turi respectivamente. En el caso de la leche de vaca, sus concentraciones están por encima de los promedios mundiales de la UNSCEAR y en rangos de los valores del país de Alemania. Los datos obtenidos fueron validados por el software estadístico “SPSS”, mediante la prueba de t-student para igualdad de medias.

Palabras clave: ^{226}Ra, ^{235}U, ^{232}Th, ^{40}K, Espectrometría gamma y Centelleo de celdas Lucas.

ABSTRACT

The objective of this work was to carry out a baseline study, referring to Ra226 levels in the soil, grass and milk of cows, which grazed in areas of interest, as well as uranium, thorium and potassium. For this, two bovine farms were selected from the parishes Tarqui (Sector Zhucay) and Turi (Sector Bellavista), belonging to the rural areas of the city of Cuenca-Ecuador. Two measurement techniques were used; Gamma spectrometry, using a 3 "x3" NaI (Tl) detector, and Lucas scintillation cells, with the Pylon AB-6 counter. With the first technique, the concentration of uranium, thorium and potassium in the soil of the above-mentioned farms was measured, on a grid of 4 meters sideways and 20 sampling points. For the detection of ^{226}Ra in soil and pasture samples, five samples were taken per point, they were dehydrated and placed in hermetically sealed kitasates for a period of one month, then measure the concentration of ^{222}Rn accumulated with the Pylon AB-6, analogously, the milk samples were taken, after having extracted the initial ^{222}Rn from it. The results by the gamma spectrometry method in the soil for uranium, thorium and potassium gave significantly different results in the study parishes; ^{235}U concentrations were 0.97 ± 0.20 ppm and 0.28 ± 0.07 ppm; in ^{232}Th of 3.2 ± 0.2 ppm and 2.5 ± 0.2 ppm and in ^{40}K of 0.64 ± 0.06% and 0.38 ± 0.06% in Tarqui and Turi, showing a greater amount of these elements in the parish of Turi statistically. The ^{226}Ra concentrations in soil were analyzed by the scintillation method, making use of Lucas cells, where it was obtained that they are below the average values of the UNSCEAR and represent 5.4 ± 0.3 Bq / kg and 4.9 ± 0.4 Bq / kg; while in the grass the concentrations are lower than the world averages with values of 0.233 ± 0.021 Bq / kg and 0.17 ± 0.04 Bq / kg; in cow's milk, the results achieved fluctuate in averages of 0.092 ± 0.009 Bq / kg and 0.083 ± 0.008 Bq / kg in Tarqui and Turi respectively. In the case of cow's milk, its concentrations are above the world averages of the UNSCEAR and in ranges of the values of the country of Germany. The data obtained were validated by the statistical software "SPSS", using the t-student test for equal means.

Keywords: 226Ra, 235U, 232Th, 40K, Gamma spectrometry and Lucas cell scintillation.

INDICE

CAPÍTULO I 1

GENERALIDADES 1

1.1 Problema 1

1.2 Delimitación 2

1.3 Objetivo 3

CAPITULO II 4

MARCO REFERENCIAL 4

2.1 Radiactividad 4

2.2 Radiación ionizante 4

2.3 Decaimiento Radiactivo 5

2.4 Tipos de radiaciones 6

2.5 Radio en diferentes suelos 6

2.6 Exhalación del radón 7

2.7 Riesgos para el ser humano 7

2.8 Ionización en el ser humano 8

2.9 Técnicas de Detección 9

2.10 Concentraciones de ^{226}Ra en el mundo 10

CAPITULO III 10

MARCO METODOLÓGICO 10

3.1 Diseño 10

3.2 Técnicas de detección de partículas alfa 11

3.3.3 Protocolo del Coeficiente de Transferencia de ^{226}Ra 23

3.3.4 Análisis Estadístico 24

CAPITULO IV 25

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 25

4.1 Resultados 25

40

CAPITULO V 40

CONCLUCIÓN Y RECOMENDACIÓN 40
5.1 Conclusión 40
5.2 Recomendación..... 41
REFERENCIAS 42

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Distribución de la dosis anual media de radiación ionizante a la que está expuesta la población mundial, en función de su origen. 5
Ilustración 2 Espectrómetro Gamma de Yoduro de sodio. 13
Ilustración 3 Horno Bender en el proceso de incineración del pasto 14
Ilustración 4 . Muestras tamizadas de pasto se colocan en los Kitasatos y se sellan 15
Ilustración 5 Recolección de las muestras de leche. 17
Ilustración 6 Recolección de las muestras de leche. 19
Ilustración 7 Sellado del envase. 20
Ilustración 8 Pylon Celda Lucas. 21
Ilustración 9 Unidad de desgasificación de leche (Modelo WG1001) 22
Ilustración 10 Monitor Pylon radiación portátil (Modelo 6800) analizando el total de conteos de radio en intervalos de tiempo (15minutos) 23

INDICE DE TABLA

Tabla 1 Coordenadas UTM de Tarqui (Zhucay) y Turi (Bellavista). 3
Tabla 2 Concentración de Uranio en tipo de roca 7
Tabla 3 Afinidad biológica de algunos elementos radioactivos en los órganos internos 8
Tabla 4 Concentración de 226Ra (Bq/kg) en suelo, pasto y leche de vaca, en diferentes lugares del mundo 10
Tabla 5 Concentraciones de ^{235}U en las fincas muestreadas de Tarqui y Turi. 26
Tabla 6 Concentraciones de ^{232}Torio en las fincas muestreadas de Tarqui y Turi. 27
Tabla 7 Concentraciones de ^{40}K en las fincas muestreadas de Tarqui y Turi. 29
Tabla 8 Diferencia estadística de concentraciones de ^{226}Ra en el suelo de Tarqui y Turi. . 30
Tabla 9 Prueba de T-student para igualdad de medias de ^{226}Ra en el suelo de Tarqui y Turi. 30
Tabla 10 Diferencia estadística de concentraciones de ^{226}Ra en el pasto de Tarqui y Turi. 32
Tabla 11 Prueba de T-student para igualdad de medias en el pasto de Tarqui y Turi. 32
Tabla 12 Diferencia estadística de concentraciones de ^{226}Ra en la leche de Tarqui y Turi. 34

Tabla 13 Prueba de T-student para igualdad de medias en la leche de Tarqui y Turi..... 34

Índice Ecuaciones

Ecuación 1 Concentración de 226Ra..... 16
Ecuación 2 Concentración del fondo del sistema..... 21
Ecuación 3 Concentración de 226Ra..... 22
Ecuación 4 Coeficiente de transferencia de la planta..... 24
Ecuación 5 Factor de transferencia pasto-suelo 24
Ecuación 6 Factor de transferencia pasto-leche 24

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Problema

Desde sus inicios el radio se considerada como un elemento radiactivo, es descubierto en 1898 por Marie Curie y su marido Pierre, cuando se descubrió que el uranio emitió radioactividad, por lo cual se denotó que los minerales de uranio deberían contener otros elementos desconocidos más radiactivos que este (Menon, 2016). El radio es un elemento que proviene de la desintegración radiactiva del uranio y del torio, está presente en pequeñas cantidades en rocas y suelo. Biológicamente, el radio se concentra en los huesos reemplazando al calcio al ser ingerido, pudiendo provocar trastornos a la salud (Godinez, 1995). Se han descubierto 13 isótopos del radio; todos son radiactivos; cuatro se encuentran en la naturaleza y el resto se producen sintéticamente, también es un emisor alfa y tiene un período de semidesintegración de 1622 años (Cozella, 2014), según los estudios realizados a nivel mundial por la Organización Mundial de la Salud (OMS), las exposiciones elevadas de radio, provocan efectos sobre la salud, como es la fractura de dientes, anemia y cataratas. En el caso de exposiciones en un lapso de tiempo elevado puede producir cáncer y la muerte en los seres humanos. Es posible encontrarlo en el aire o en el agua de ciertos sectores. Además, puede estar presente en la cadena trófica de plantas y animales, debido a la bioacumulación (Morris, 1988).

En muchos países europeos y de norte américa existen normas básicas para la protección sanitaria de la población contra los peligros que resultan de la exposición a los materiales radiactivos de origen natural (NORM); su aprobación se fundamenta en numerosos análisis científicos. Como por ejemplo podemos resaltar el artículo 30 del Tratado Constitutivo de la Comunidad Europea de la Energía Atómica, como una legislación específica a nivel europeo que garantiza la protección radiológica de sus habitantes (España, 2016).

Se registran los niveles de ^{226}Ra en el suelo, pasto, leche de vaca y cantidades de uranio, torio y potasio en el suelo de la parroquia Tarqui (Sector Zhucay) y Turi (Sector Bellavista) de las zonas rurales de la ciudad de Cuenca-Ecuador; con lo cual se cuantifica el riesgo al que se exponen los habitantes que consumen leche; estimando el coeficiente de transferencia de

radio en el suelo (presencia de uranio, torio y potasio), en el suelo, pasto y en la leche de vaca.

Las limitaciones, son debido a la magnitud geográfica del territorio, siendo lo ideal levantar la información de un área de superficie significativa del sector de Tarqui y Turi; por cuestiones de tiempo y falta de personal investigativo, el estudio se llevó a cabo en una granja bovina en cada sector. El informe que se emite pretende establecer criterios de análisis de los diferentes sectores lecheros.

1.2 Delimitación

1.2.1 Delimitación Espacial

El presente trabajo se realiza en la ciudad de Cuenca, a una altitud de 2535m sobre el nivel del mar, abarca el 69.7% de la población de la provincia del Azuay. Tiene 505.585 habitantes, además tiene una superficie de 15.730ha (Cuenca, 2012). Se delimita para el análisis la zona de Tarqui (sector Zhucay), que es una parroquia rural del cantón Cuenca, ubicada al sur oeste de la ciudad, con una altura promedio de 2542msnm (Ortega, 2016); y la zona de Turi (sector Bellavista) que se encuentra ubicada hacia el sur del área urbana de la ciudad de Cuenca, ocupa la parte norte de la provincia del Azuay, con una altitud de 2555 msnm y 3035 msnm (Pañi, 2015). Para las dos zonas se lleva a cabo estudios de coeficientes de transferencia de ^{226}Ra, por lo cual se realiza previamente un muestreo del suelo de manera aleatoria en 20 puntos de la parroquia de Tarqui (Sector Zhucay) y Turi (Sector Bellavista), donde se mide uranio (ppm), torio (ppm) y potasio (%), mediante la técnica de espectrometría gamma, denotando diferencias estadísticas en las concentraciones de dichos elementos; en el primer y segundo análisis se obtiene 5 muestras de suelo y pasto segmentadas en 20 puntos del terreno y el tercer análisis es de la leche de vaca, en una población muestral de 5 individuos, obteniendo el mismo valor en cada una de las parroquias, se realizan mediante la técnica de celdas de Centelleó Tipo Lucas, que determinan la concentración de ^{226}Ra (Bq/lt); la información utilizada es para el cálculo del coeficiente de transferencia del radio, en el suelo, al pasto y en la leche de vaca; y finalmente se compara las diferencias porcentuales entre los dos sectores.

Sector	Cordenadas (UTM)	
Tarqui (Zhucay)	716740,993	9672571,514
Turi (Bellavista)	720999,475	9675348,720

Tabla 1 Coordenadas UTM de Tarqui (Zhucay) y Turi (Bellavista).

Fuente. Autor.

1.2.2 Delimitación Sectorial

El presente estudio se encamina a la población en general de estudiantes, docentes, ciudadanos y GAD Municipales, para concientizar sobre la importancia de generar normativas ambientales que controlen y regulen las concentraciones ^{226}Ra, ya que sus explosiones prolongadas representan riesgos mortales para los seres humanos

1.3 Objetivo

1.3.1 Objetivo General

Proponer un protocolo para el cálculo del coeficiente de transferencia del contenido de ^{226}Ra en suelo, pasto y leche de vaca, en las parroquias de Turi y Tarqui de las zonas rurales de la ciudad de Cuenca.

1.3.2 Objetivo Específico

- Establecer los niveles de concentración de uranio, torio y potasio en los suelos de Tarqui y Turi.
- Determinar los niveles de concentración de ^{226}Ra en el suelo, pasto y leche de vaca en granjas bovinas de Tarqui (sector Zhucay) y Turi (sector Bellavista).
- Calcular el coeficiente de transferencia de ^{226}Ra de suelo-pasto-leche

CAPITULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Radiactividad

La radiactividad es un fenómeno natural que radica en la emisión espontánea de partículas o radiación electromagnética por un núcleo. Debido a ello, el núcleo original (núcleo padre) se convierte en otro núcleo (núcleo hijo). Los seres humanos no están dotados de ningún órgano o sentido capaz de detectar la radioactividad, se necesita para ello un equipo de detección. El efecto que tiene la radiactividad sobre cualquier materia es ionizar los átomos con que se encuentra en su camino, es pues una radiación ionizante (Nuñes, 2011). La radioactividad también tiene un origen nuclear, debido a la liberación de energía de los núcleos energéticamente excitados.

Existen series radiactivas naturales de origen terrestre, ^{238}U, ^{235}U y ^{232}Th, de los isótopos de radio en la tierra, dos de ellos, son emisores de partículas alfa siendo de estudios ambientales. Existiendo dos tipos: el ^{226}Ra, descendiente de la cadena del uranio y el ^{224}Ra de la cadena del torio (Martinez, 1991). La mayor contribución a la población debida a la radiación de origen natural es debida a las emanaciones del gas radón ^{222}Rn (Garcia P. , 2014).

2.2 Radiación ionizante

Las radiaciones ionizantes están formadas por ondas electromagnéticas de muy alta frecuencia (rayos gamma o rayos X) o por partículas (partículas alfa y beta o neutrones), con suficiente energía como para poder producir la ionización y romper los enlaces atómicos que mantienen unidas las moléculas en las células. Según la dosis de radiación recibida, las alteraciones pueden ser de mayor o menor gravedad (Garcia P. , 2014).

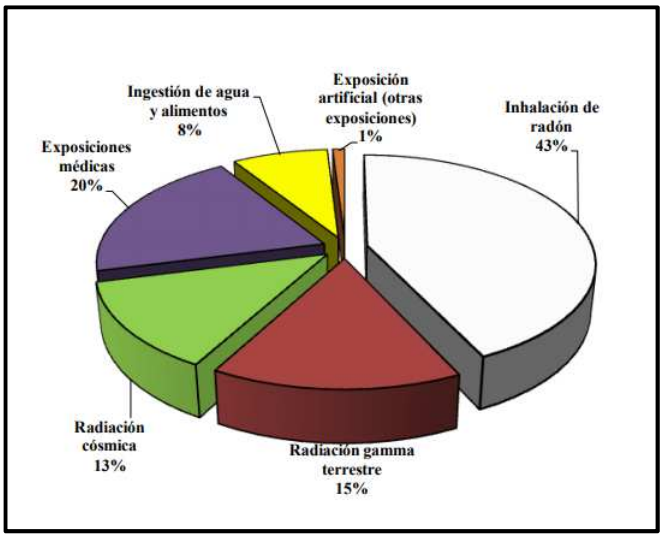


Ilustración 1 Distribución de la dosis anual media de radiación ionizante a la que está expuesta la población mundial, en función de su origen.

Fuente: (UNSCEAR, 2000).

Además, se puede especificar estos tipos de radiaciones ionizantes:

- Rayos-X: Es similar a la radiación gamma, generalmente los rayos-X poseen menos energía. Se producen en las máquinas de rayos-x y la emisión finaliza cuando la máquina se apaga (Greenpeace, 2005).
- Emisión de neutrones: Se produce durante ciertos procesos nucleares como la "fisión" dentro de un reactor donde un núcleo pesado es dividido en dos y libera neutrones. Los neutrones no tienen carga eléctrica y tienen un gran poder de penetración

2.3 Decaimiento Radiactivo

Un proceso radiactivo es una transición espontánea desde un estado energético inicial del núcleo a un estado final y que se produce debido a que la energía total del sistema inicial es superior a la del sistema final, se pueden distinguir:

Radiactividad alfa, formada por partículas pesadas con carga positiva, un núcleo de He formado por dos neutrones y dos protones. Sólo la pueden presentar nucleídos con número másico A>150, y tiene una capacidad limitada de penetración en la materia (Greenpeace, 2005).

Radiactividad beta, partículas ligeras formadas por positrones (con carga positiva) y por electrones (carga negativa). Tiene una capacidad de penetración en la materia ligeramente superior a la radiación alfa, pero menos intensa. Este tipo de emisión la puede presentar cualquier nucleído sea cual sea su número atómico Z (Pereira, 2015).

Radiactividad gamma, formada por fotones sin carga ni masa. Se considera la radiación más penetrante de todas. Este tipo de radiación se emite cuando un núcleo pasa de un estado excitado a otro de menor energía (España, 2016).

2.4 Tipos de radiaciones

La radiactividad es un fenómeno que se presenta en determinados núcleos atómicos considerados inestables respecto a las fuerzas que los gobiernan. Estos núcleos, denominados "padre" tienden a estabilizarse emitiendo energía y/o partículas y originando un núcleo "hijo" distinto al original cuyas características dependen del tipo de reacción, núcleo de origen y de sus características, pudiendo resultar que a su vez sea también inestable. Este fenómeno se denomina decaimiento radiactivo. La radiación emitida puede interaccionar con el entorno, cediendo parte de la energía y provocando ionizaciones de átomos (Jimenez, 2010).

2.5 Radio en diferentes suelos

El ^{226}Ra está presente en diferentes suelos, en mayor o menor cantidad según el tipo de roca; en el agua, cuando se disuelve en ella el gas, o en los materiales de construcción, si utilizan como materias primas elementos con un alto contenido de radio (Pereira, 2015). Tenemos diferentes fuentes de radón:

Suelo: principal fuente de ^{226}Ra y su procedente el ^{222}Rn. Según el tipo de roca y la cantidad de uranio que contiene, el suelo o terreno tendrá mayor o menor tendencia a generar ^{226}Ra. Para conocer la capacidad de generación se ha de tener en cuenta el tipo de roca, así como la permeabilidad del terreno. En función de este factor, la capacidad de escape el mismo desde la estructura rocosa, y su transporte desde los poros de las rocas hasta la superficie terrestre.

Tipo de Roca	Concentración de Uranio ^{238}U(ppm)
Basálticas	1
Granitos	5
Arcillas	3.7
Arenas	0.5

Tabla 2 Concentración de Uranio en tipo de roca

Fuente. (Medina, 2016)

Agua: el ^{226}Ra puede disolverse en aguas subterráneas procedente de la superficie terrestre, donde es transportado hacia ríos, manantiales, estanques, etc. El ^{226}Ra en agua puede ser bioacumulado en la cadena trófica, permitiendo un aumento de la concentración en plantas, animales para posteriormente la ingesta en el último eslabón, que es el ser humano.

Materiales de construcción: debido a la desintegración del ^{226}Ra, se produce la emanación del gas ^{222}Rn, el cual, se concentra en algunos materiales de construcción, los mismos que están formados por materias primas que contienen este gas, tales como ladrillos cerámicos, hormigón, yesos, cementos o cenizas volantes. Se recomienda utilizar materiales con bajo contenido del contaminante, además, evitar la estanqueidad y encerramiento de espacios interiores, con el fin de evitar la exhalación del ^{222}Rn.

2.6 Exhalación del radón

Se menciona que la vida media del ^{222}Rn es lo suficientemente larga para que pueda migrar desde la roca en que se produce a través del suelo hacia el aire. Algunos de los átomos de radón son generados por la desintegración del ^{226}Ra contenido en los granos minerales del medio consiguen alcanzar el espacio entre granos, salen de la matriz sólida dando lugar al fenómeno conocido como emanación (Lastra, 2016). La emanación de radón a la atmosfera se la denomina exhalación, además, se produce también en otros materiales de construcción.

2.7 Riesgos para el ser humano

Según la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los EEUU denota que el ^{226}Ra es causante de cáncer en los huesos por sus concentrarse en ellos, incrementa su riesgo cuando la persona se encuentra en crecimiento (niños), El volumen del hueso disminuye 1%

anualmente en personas expuestas a esta radiación, ocasionando sarcomas óseos (Crawford, 2002).

Órgano	Elemento Radiactivo
Tiroides	I-131
Piel	S-35
Pulmones	Rn-222, U-233, Pu-239
Hígado	Co-60
Riñones	Ru-106
Huesos	Ra-226, Sr-90
Músculos	Cs-137

Tabla 3 Afinidad biológica de algunos elementos radioactivos en los órganos internos

Fuente. Observatorio de energía en Catalunya

Desde 1998, el radón y sus descendientes están considerados como carcinógenos humanos del Grupo 1 según la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Medina, 2016).

2.8 Ionización en el ser humano

2.8.1 Aspectos generales

Las principales vías de entrada son la inhalación de partículas radioactivas suspendidas, otra es la ingestión de sustancias contaminadas (agua). La entrada del material radioactivo al organismo es de dos tipos:

Directo: Al órgano de transferencia (sangre) a través de piel o heridas.

Indirecto: Hasta el órgano de transferencia a través de las vías respiratorias (inhalación) y del trato gastrointestinal (ingestión agua y alimentos)

Cuando el material radiactivo se encuentra en el cuerpo el comportamiento de transferencia (sangre y linfa), se distribuye por todo el cuerpo fijándose en órganos que presentan afinidad (tiroides, hueso y hígado) (Valentin, 2006) .

2.8.2 Aspectos específicos por la ingesta de ^{226}Ra

El radio ingresa al cuerpo humano por la ingesta de agua o alimentos contaminados con el mismo, se estima que el 80% del contaminante se elimina mediante las heces fecales, el

sobrante se queda en la sangre 20%. Según la (EPA) el ^{226}Ra es causante de cáncer en los huesos por concentrarse en ellos, incrementa su riesgo cuando la persona se encuentra en crecimiento (niños), además, tras una irradiación prolongada, pudiera provocar anemia y neoplasias cancerosas (Godinez, 1995), entre otros daños provocan efectos sobre la salud, como es la fractura de dientes, anemia y cataratas (Greenpeace, 2005). En el caso de exposiciones en un lapso de tiempo elevado puede producir cáncer y la muerte en los seres humanos.

2.9 Técnicas de Detección

2.9.1 Espectrometría Gamma (yoduro de sodio)

Los espectrómetros portátiles de rayo gamma son utilizados para estudios de campo. Los espectrómetros portátiles de umbral tienen hasta 100 cm3 de cristales de NaI (T1) como detectores, y varios umbrales de energía de cambio-operación. El umbral se puede fijar a una energía baja para la medida de la cuenta total, y a las energías levemente por debajo de 1.46MeV, 1.76MeV, y 2.62MeV para la medida de K, U, y Th, respectivamente (Hernandez, 2011). Los espectrómetros de rayo gamma portables más modernos son espectrómetros diferenciados. Generalmente tienen por lo menos 350 cm3 de NaI (Tl).

Los instrumentos pueden registrar el espectro de rayo gamma completo, así como el total de canales sobre las ventanas amplias de energía para la valoración "in-situ" de concentraciones de cuerpo simple radiactivo de K, U y Th. Las constantes de calibración se almacenan en la memoria del instrumento, con gran cantidad de medidas de campo o espectros de energía (Loria, 2002).

2.9.2 Método de Centelleo con Celdas Lucas

Nos permite analizar la detección de radón o radio, estas celdas tienen un recipiente en el que su pared interna tiene ZnS(Ag) con concentración de 20-40 mg/cm2. Este recipiente termina en una ventana que enlaza con el fotomultiplicador.

En el lado contario al fotomultiplicador, se encuentran una o dos válvulas para la introducción del aire. Contiene un volumen de 50-200 cm3 y posee una eficiencia de detección de 0,7 cuentas por desintegración alfa (Hoyo, 2015).

2.10 Concentraciones de ^{226}Ra en el mundo

Los estudios realizados a nivel mundial, determinan las concentraciones permisibles de ^{226}Ra, según la legislación vigente en cada país, enfocado en la evaluación de las matrices ambientales. Las mismas se mencionan a continuación:

Producto alimenticio	Ramsar-Iran	UNSCEAR	North America	Asia	Europa
Suelo	8-55	32	Costa Rica 11-130 Unit States 8-160	China 2-440 Japon 6-98 India 7-81	Alemania 5-200 Polonia 5-120 Romania 8-60 España 6-250
Leche	0,004-0,064	0,005	Unit States 0,0057	China 0,006 Japon 0,012	Italia 0,003-0,019 Alemania 0,002-0,13 Polonia 0,01 Romania 0,0009-0,044 UK 0.0004-0,2
Vegetales	0,01-0,53	0,05	Unit States 0,056	China 0,075	Italia 0,027-0,044 Alemania 0,006-1,15 Polonia 0,037-0,043

Tabla 4 Concentración de 226Ra (Bq/kg) en suelo, pasto y leche de vaca, en diferentes lugares del mundo

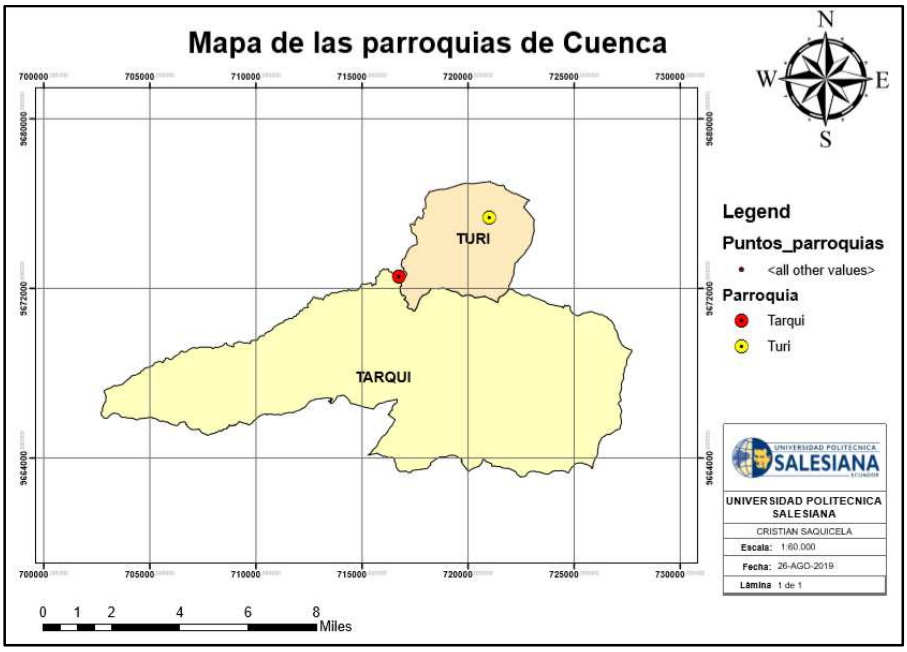
Fuente. (Deevband, 2017), (UNSCEAR, 2000).

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Diseño

Para determinar las concentraciones de ^{226}Ra en el suelo-pasto-leche se realiza un protocolo del coeficiente de transferencia de radio, mediante una investigación exploratoria. Delimitando dos granjas bovinas de las parroquias rurales de Turi (Sector Bellavista) y Tarqui (Sector Zhucay) de la ciudad de Cuenca, expuestas a continuación en el siguiente mapa:



Mapa 1 Puntos de muestreo de las parroquias Tarqui y Turi.

Fuente: Autor

3.2 Técnicas de detección de partículas alfa

Estas técnicas nos permiten identificar la emisión de radiactividad de tipo alfa, la cual se da en átomos de elementos pesado, como el uranio, el torio o el radio; además detectan los índices altos de energía de las radiaciones naturales.

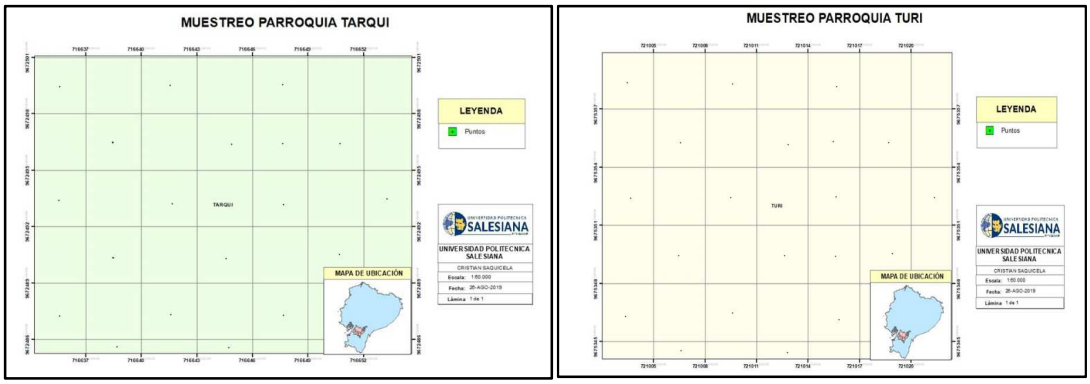
3.2.1 Espectrometría Gamma (yoduro de sodio)

La técnica de espectrometría gamma, contiene detectores y varios umbrales que pueden fijar una energía baja para la medida de la cuenta total de los espectrómetros de rayo gamma; está diseñado para la detección de uranio, torio y potasio, además, su gran funcionalidad radica en que es un instrumento de medición “in-situ”, que es fácilmente transportable al campo de donde se requiere llevar acabo el estudio. Para la determinación del U, Th y K en el suelo se lleva acabo los siguientes pasos:

3.2.1.1 Delimitación y mallado el sitio de estudio

La delimitación de las áreas de estudio, se ejecutan en base a 2 sectores con alta productividad lechera de la provincia del Azuay, pertenecientes a Tarqui y Turi, además, por las diferencias significativas en los elementos de U, Th y K en términos estadísticos; los terrenos tienen un área aproximada de 2688m2, por lo cual, sobre esta área se realizó un mallado. Delimitando

42 puntos en toda su extensión, de los cuales se seleccionó aleatoriamente 20 puntos de muestreo de suelo, cada cuadrilla tiene la medida de 8m cada lado, por ello, se recomienda utilizar la selección aleatoria simple (Chile, 2012)



Mapa 2 Puntos de muestreo de la parroquia Tarqui y Turi (Suelo).

Fuente: Autor

3.2.1.2 Detección de U, Th y K mediante Espectrómetro Gamma (Yoduro de Sodio)

Las mediciones de U, Th y K se llevaron a cabo, mediante el uso de un detector de NaI(Tl) en modo estático; este se colocó sobre la superficie del suelo de interés. Según Hernández, 2012, si las rocas son altamente radiactivas se recomienda un tiempo de detección de 2 minutos y de 6 minutos para rocas con baja actividad. Para nuestro caso, el equipo esta calibrado para una espera de tiempo de 3 minutos hasta que el mismo mida el U, Th y K en el suelo. Los datos observados, se almacenan en memoria interna, para posteriormente procesar la información.

Ilustración 2 Espectrómetro Gamma de Yoduro de sodio.

Fuente. Autor

3.2.2 Método de Centelleo con Celdas Lucas

3.2.2.1 Detección de ^{226}Ra en Suelo

Para la determinación de ^{226}Ra en el suelo se lleva a cabo los siguientes pasos que se describen a continuación:

3.2.2.1.1 Campo de intervención

Para la intervención del terreno se delimito un área de 2688m2 aproximadamente entre las dos parroquias de Tarqui (Sector Zhucay) y Turi (Sector Bellavista), una vez analizada su extensión se procede a cuadricular las mismas, cada cuadrilla tiene la medida de 8m por lado donde se considera 20 puntos aleatoriamente dentro de su área, segmentándoles en 5 tramos del cual se extrae la misma cantidad de muestras para el análisis de suelo.

3.2.2.1.2 Recolección de muestras

Las muestras se toman en diferentes puntos de las 2 parroquias, se extraen 5 ejemplares de suelo por cada sector, se lo realiza en una funda plástica, con un peso de 300gr, además, se lleva un registro de los datos (fecha, hora, lugar) por cada una de las muestras. Para posteriormente trasladarlas al laboratorio.

3.2.2.1.3 Deshidratación de las muestras

En el laboratorio procedemos a colocar en una bandeja para la deshidratación al aire libre, se lleve a cabo en un lapso de tiempo de 24h (Campoverde, 2018). Ya cuando tenemos las muestras, se procede a pesar 100gr de las mismas, mediante una balanza analítica.

3.2.2.1.4 Incineración en horno

Culminado el tiempo de deshidratación, las muestras se colocan en un recipiente de aluminio, donde se calientan en el horno a temperatura de 200ºC, durante 12h, hasta que las mismas se convierten en cenizas y el proceso se realiza para las 10 muestras.

Ilustración 3 Horno Bender en el proceso de incineración del pasto

Fuente. Autor

3.2.2.1.5 Triturado, tamizado y pesaje de las muestras

Luego de la incineración del suelo, se procede con la trituración de cada muestra de 300gr, se lo lleva acabo en el mortero de manera manual hasta que se conviertan en polvo; posteriormente se realiza el tamizado en una apertura de 100 micras; finalmente pesamos en la balanza analítica 100gr de la muestra tamizada, la cual tiene una sensibilidad de 0.01.

3.2.2.1.6 Alcance del equilibrio secular en el suelo

Colocamos las muestras en los envases de vidrio denominado kitasatos, los cuales deben estar sellados cada una de sus aperturas, con silicón para evitar el escape del gas radón y una manguera para la trasferencia hacia el Pylon AB6A, el tiempo de espera para alcanzar el equilibrio secular es de 31 días (Pylon, 2018).

Ilustración 4 . Muestras tamizadas de pasto se colocan en los Kitasatos y se sellan

Fuente. Autor

3.2.2.1.7 Medición de fondo

La medición se utiliza para determinar el fondo del sistema Pylon (modelo AB6A) y el sistema del detector. Esto asegura resultados precisos, permitiendo generar resultados para los diferentes cálculos posteriores (Pylon, 2018).

El proceso inicia al destapar la cobertura del sistema Pylon AB6A, luego se coloca la celda Lucas a la espera de 20 minutos de fluorescencia, culminado el tiempo se inicia con la configuración manual del sistema operativo, aplicando la medición de fondo que dura 12 minutos, obteniendo el resultado del sistema en conteos por minuto (CPM).

3.2.2.1.8 Transferencia de Radón

Para la transferencia del radón desde los kitasatos hacia la celda Lucas, se conecta el filtro procedente del monitor Pylon a la válvula del kitasato, sin quitar el grillete, de ahí se coloca la válvula de salida con la entrada de conexión de la celda Lucas, después se desconecta el grillete, se espere un lapso de tiempo de 1 minuto conectada hasta que la celda concentre el gas para la determinada medición.

3.2.2.1.9 Medición del Stan Graph

El método Stand Graph estándar permite medir una muestra de radio en una instancia específica en el tiempo. Este método permite obtener datos para el cálculo de la concentración real de radio en el instante del muestreo (Pylon, 2018).

Para iniciar con la medición Stand Graph, las celdas Lucas deben alcanzar el equilibrio secular en un tiempo de 3,5 horas, una vez culminado el tiempo de espera, se procede a colocar la celda en el monitor de Pylon y la muestra de gas se mide de acuerdo con las técnicas de medición estándar. Los recuentos de medición se usan en la fórmula adecuada para proporcionar la concentración de radio en el suelo.

$$\text{Concentración Ra}^{226} = \frac{\mathbf{NCPM}}{\mathbf{\#AE * CF * Effc * WS * A2 * EffD * G}} \text{ (Bq/Kg)} \qquad (1)$$

Ecuación 1 Concentración de 226Ra

DONDE:

#AE = cuentas netas por minuto (TCPM – SBG)

TCPM = Numero de emisores alfa (Valor 3 para radón)

CF = 60 desintegraciones por minuto (dpm) a Bq (dps)

Effc = Eficiencia de la celda 0,745 cpm/dpm

WS = El peso de la muestra

A2 = Factor de correlación

EffD = Eficiencia de la celda 0,745 cpm/dpm

G = Factor de corrección de crecimiento

3.2.2.2 Detección de ^{226}Ra en Pasto

Para la determinación de ^{226}Ra en pasto se llevan a cabo los siguientes pasos que se describen a continuación:

3.2.2.2.1 Campo de intervención

Para la intervención en las dos parroquias, se procede a cuadricular las mismas, cada cuadrilla tiene la medida de 8m por lado, se selecciona 20 puntos de manera aleatoria con respecto al área del terreno, de los cuales se consideró 5 tramos, obteniendo el mismo valor de muestras de pasto.

3.2.2.2.2 Recolección de muestras

Para la recolección se extraerán 5 ejemplares de pasto por cada sector, se lo realiza en una funda plástica, con un peso de 1125gr, además, se lleva un registro de los datos (fecha, hora, lugar) por cada una de las muestras. Para posteriormente trasladarlas al laboratorio.

3.2.2.2.3 Deshidratación de las muestras

En el laboratorio procedemos a picar cada muestra de pasto en segmentos de 5–10cm, cuando se culmina se coloca las muestras sobre una mesa, separadas 50cm para evitar que se mesclen y permitir que la deshidratación al aire libre, se lleve a cabo en un lapso de tiempo de 24h (Campoverde, 2018). Ya cuando tenemos las muestras, se procede a pesar 600gr de las mismas, mediante una balanza analítica.

3.2.2.2.4 Incineración en horno

Culminado el tiempo de deshidratación, las muestras se colocan en un recipiente de aluminio, donde se calientan en el horno a temperatura de 120ºC, durante 8h (Hernadez, 2012), hasta que las mismas se convierten en cenizas y el proceso se realiza para las 10 muestras.

Ilustración 5 Recolección de las muestras de leche.

Fuente. Autor

3.2.2.2.5 Triturado, tamizado y pesaje de las muestras

Luego de la incineración del pasto, se procede con la trituración con un peso de cada muestra de 200gr, se lo lleva acabo en el mortero de manera manual hasta que se conviertan en polvo; posteriormente se realiza el tamizado en una apertura de 100 micras, que cumple la función de cernidero a un diámetro inferior del grano de pasto; finalmente pesamos en la balanza analítica 100gr de la muestra tamizada.

3.2.2.2.6 Alcance del equilibrio secular en el pasto

Colocamos las muestras en los envases de vidrio denominado kitasatos, los cuales deben estar selladas cada una de sus aperturas, con silicón para evitar el escape del gas radón y una manguera para la trasferencia hacia el Pylon AB6A, el tiempo de espera para alcanzar el equilibrio secular es de 31 días (Pylon, 2018).

3.2.2.2.7 Medición de fondo

El proceso inicia al destapar la cobertura del sistema Pylon AB6A, luego se coloca la celda Lucas a la espera de 20 minutos de fluorescencia, culminado el tiempo se inicia con la configuración manual del sistema operativo, aplicando la medición de fondo que dura 12 minutos, obteniendo el resultado del sistema en conteos por minuto (CPM).

3.2.2.2.8 Transferencia de Radón

Para la transferir el gas radón desde los kitasatos hacia la celda Lucas, se conecta el filtro procedente del Pylon a la válvula del kitasato, sin quitar el grillete, de ahí se coloca la válvula de salida con la entrada de conexión de la celda, después se desconecta el grillete, se espere un lapso de tiempo de 1 minuto conectada hasta que la celda concentre el gas para la determinada medición.

3.2.2.2.9 Medición del Stan Graph

Para poder realizar la medición del Stand Graph, se tiene que alcanzar el equilibrio secular en un tiempo de 3,5 horas, una vez culminado el tiempo de espera, se procede a colocar la celda en el monitor de Pylon y la muestra de gas se mide de acuerdo con las técnicas de medición estándar. Los recuentos de medición se usan en la fórmula para proporcionar la concentración de radio en el pasto.

3.2.2.3 Detección del ^{226}Ra en leche de vaca

Para la determinación de ^{226}Ra en la leche de vaca se llevaron a cabo los siguientes pasos que se describen a continuación:

3.2.2.3.1 Campo de acción

De las 10 vacas que se encontraban en cada una de las zonas de estudio, Tarqui (sector Zhucay) y Turi (sector Bellavista), se seleccionaron para este trabajo, 5 al azar. De cada vaca

se extrajeron 5 muestras de leche por un período de 10 semanas, para un total de 50 muestras de leche.

Las zonas en las cuales pastaron las vacas seleccionadas median, aproximadamente, 2688 m^2; sobre este se dibujó un mallado. La delimitación de los terrenos tiene un área aproximada de 2688m2.

3.2.2.3.2 Obtención de muestras de leche

El volumen de muestra que se requiere es de 0.05 a 1 litro para aplicar la técnica establecida, según (Leaney & Herczeg, 2006) el polietileno (PET) y el vidrio son materiales adecuados para la recolección. Este paso se realiza la obtención de las muestras de leche de cada vaca y se guarda en un frasco de vidrio. Las muestras de leche se colocan y sellan en contenedores o botellas de vidrio de 500ml. El método de obtención para la muestra de leche es de **vertimiento** que consiste en (Pylon, 2018):

1. Retirar la tapa de la muestra
2. Verter lentamente en el recipiente de vidrio, hasta que se produzca el derrame de la leche y tapar de manera inmediata evitando el ingreso de aire dentro del envase
3. Verificar el envase, mediante el volteo del mismo se debe observar que no exista burbujas, garantizando la eficiencia del proceso
4. Registro del sector, tipo de muestra, hora y fecha.

Ilustración 6 Recolección de las muestras de leche.

Fuente. Autor

3.2.2.3.3 Desgasificación primaria del Radón

La medición de ^{226}Ra concentrado en la leche de vaca, se procede con la eliminación del ^{222}Rn presente en la muestra y se procede con el sellado del envase, llevado a cabo mediante el burbujeo de la leche por un tiempo aproximado de 15 minutos con nitrógeno comprimido. Se debe tener en cuenta los datos de identificación de la muestra.

3.2.2.3.4 Alcance del equilibrio secular en la leche

El proceso consiste en traspasar del frasco inicial de 500ml de leche, a un posterior frasco de vidrio de 200ml mediante el vertimiento, llenándola por completo y evitando la presencia de burbujas, la eliminación del radio tiene un tiempo de duración de 3,8 días, por lo cual se lo mantiene en refrigeración a una temperatura de 4 - 6ºC (Albujar, 2009) para evitar el daño de la leche, hasta cumplir con el tiempo previsto.

Ilustración 7 Sellado del envase.

Fuente. Autor

3.2.2.3.5 Medición de fondo

Para la medición de fondo, se da inicio el proceso al destapar la cobertura del sistema Pylon AB6A, luego se coloca la celda Lucas a la espera de 20 minutos de fluorescencia, culminado el tiempo se inicia con la configuración manual del sistema operativo, aplicando la medición de fondo que dura 12 minutos, obteniendo el resultado del sistema en conteos por minuto (CPM) este valor se utiliza para calcular la concentración de ^{226}Ra.

Ilustración 8 Pylon Celda Lucas.

Fuente. Autor

El método de fondo del sistema utiliza la siguiente fórmula para calcular el fondo del sistema AB6A y del detector:

$$\mathrm{SBG} = \frac{\mathbf{TC}}{(\mathbf{\#Int} - \mathbf{\#DInt} * \mathbf{IntLen})} \qquad (2)$$

Ecuación 2 Concentración del fondo del sistema

DONDE:

SBG = Fondo del sistema en cpm

TC = Cuentas totales de los intervalos de interés.

$TC_{x,\ x+1x+2x}$ = Cuentas totales en el intervalo especificado de interés medidos por el monitor

#Int = Número total de intervalos

#DInt = Número de intervalos para descartar.

3.2.2.3.6 Desgasificación Secundaria

Se procede a la utilización del sistema desgasificador de líquidos, el mismo que permite extraer los gases disueltos en la muestra de leche y colocar la muestra de gas que contiene el radón o radio dentro de la celda activa tipo Lucas (Desgacificador, 2018).

La celda de tipo Lucas es conectada en la unidad de desgasificación de leche, el sistema se evacua a 20 pulgadas de vacío de mercurio con la bomba de mano suministrada, el valor se lo controla con el manómetro. Luego, se extrae aire a través de una piedra de difusión porosa en una cantidad medida de la muestra de leche. El aire elimina el ^{222}Rn de la leche y la mezcla

de aire fluye a través del tubo de secado a la celda de centelleo. Una válvula de medición fina regula la velocidad a la que el aire pasa a través de la muestra de leche y el tubo de secado elimina la humedad que podría condensarse en la celda, todo el proceso explicado tiene una duración de 3 minutos para posteriormente retirar la celda Lucas. Las celdas deben alcanzar el equilibrio secular en un tiempo de 3,5 horas.

Ilustración 9 Unidad de desgasificación de leche (Modelo WG1001)

Fuente. Autor

3.2.2.3.7 Medición de radio (Stand Graph)

Para iniciar con la medición Stand Graph, las celdas Lucas deben alcanzar el equilibrio secular en un tiempo de 3,5 horas, una vez culminado el tiempo de espera, se procede a colocar la celda en el monitor de Pylon y la muestra de gas se mide de acuerdo con las técnicas de medición estándar. Los recuentos de medición se usan en la fórmula adecuada para proporcionar la concentración de radio en la leche.

El Pylon AB6A utiliza la siguiente fórmula para calcular la concentración de radio:

$$\text{Concentración radio} = \frac{\mathbf{NCPM}}{\mathbf{\#AE * CF * E * V * A}} \qquad (3)$$

Ecuación 3 Concentración de 226Ra

DONDE:

NCPM = cuentas netas por minuto (TCPM – SBG)

TCPM = Total cuentas por minuto $\frac{TC}{(\#Int - \#DInt) * IntLen}$

TC = Cuentas totales $TCx + TC_{X+1} + TC_{x+2} \ldots\ldots.. TC_{x+n}$

$TC_{x,\ x+1x+2}$ = Cuentas totales en el intervalo especificado de interés medidos por el monitor

#Int = Número total de intervalos

#DInt = Número de intervalos para descartar

IntLen = Duración de intervalos convertidos en minutos

SBG = Fondo del sistema cpm

Ilustración 10 Monitor Pylon radiación portátil (Modelo 6800) analizando el total de conteos de radio en intervalos de tiempo (15minutos)

Fuente. Autor

3.3.3 Protocolo del Coeficiente de Transferencia de ^{226}Ra

El Factor de Transferencia, permite definir la concentración de radionucleicos en el pasto con respecto al suelo, demostrando la capacidad que tienen el mismo de asimilar el ^{226}Ra, además, la concentración en el pasto, con respecto a la leche de vaca que conlleva a la acumulación del contaminante en dichos elementos (Damacia, 2014).

Para determinar la cantidad de ^{226}Ra, se realiza mediante la relación:

“peso seco del suelo = peso de la planta” (Gomez, 2014).

$$\mathbf{Cplanta = FT * Csuelo} \quad (4)$$

Ecuación 4 Coeficiente de transferencia de la planta

Tomando en cuenta la variabilidad de los factores (climáticos, biológicos y genéticos) y parámetros (pH, CIC suelo, MO y textura del suelo).

Para el análisis del "Factor de Transferencia" se considera el tipo de respuesta de la planta al radionucleico, donde se acumulan los mismos, debido al transporte del ^{226}Ra, para los cuales se definen las siguientes ecuaciones:

$$\textbf{Factor de Transferencia} = \frac{\textbf{226Ra pasto}}{\textbf{226Ra suelo}} \quad (5)$$

Ecuación 5 Factor de transferencia pasto-suelo

$$\textbf{Factor de Transferencia} = \frac{\textbf{226Ra leche}}{\textbf{226Ra pasto}} \quad (6)$$

Ecuación 6 Factor de transferencia pasto-leche

La transferencia de radio se considera para evaluar la capacidad de asimilación de los radionucleicos en la cadena trófica de alimentación de la vaca.

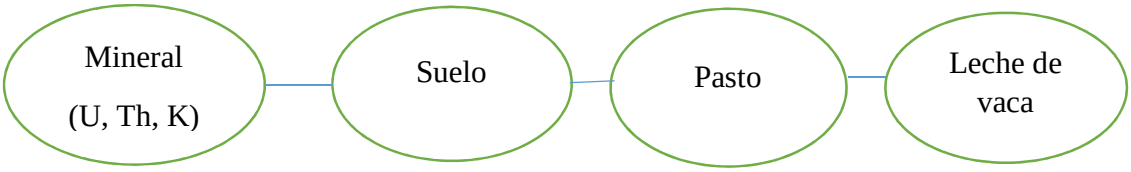


Diagrama 1. Transferencia del Radio^{226}

Fuente. Autor

3.3.4 Análisis Estadístico

Para el análisis del presente trabajo, se plantea el estadístico t-student, para muestras independientes, en el software SPSS, para la aplicación de dicha prueba se tiene que validar

con tres aspectos: el valor numérico, la normalidad y la homocedasticidad de los datos, asimismo, se procede a calcular los siguientes descriptores de conjuntos de datos: media geométrica, desviación estándar geométrica, media aritmética, desviación estándar, media del error estándar, valores mínimos y máximos, además, de sus respectivas gráficas. Se trabaja con los datos de las concentraciones medias del ^{226}Ra, obtenidas de los resultados de las muestras recolectadas. El análisis que se realiza determina los niveles de radiactividad en el suelo, pasto y la leche de vaca, pertenecientes a las parroquias rurales de Tarqui (sector Zhucay) y Turi (sector Bellavista) de la ciudad de Cuenca.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

En el presente trabajo se llevó a cabo un análisis comparativo entre los elementos radiactivos ^{235}U, ^{232}Th, ^{40}K y ^{226}Ra, contenidos en el suelo, el pasto y la leche de vaca, para estimar concentraciones y correlaciones entre los mismos.

4.1.1 Análisis comparativo

En este apartado se procede a comparar las concentraciones de ^{235}U, ^{232}Th y ^{40}K en el suelo mediante la técnica de espectrometría gamma, en las siguientes tablas y gráficos, además, de las concentraciones de ^{226}Ra en el suelo, pasto y leche de vaca por la técnica de centelleo, haciendo uso de celdas Lucas, en las parroquias de Tarqui y Turi respectivamente, los cuales se muestran a continuación:

4.1.1.1 Detector de Espectrometría Gamma de Campo.

Mediante el detector de espectrometría gamma, se analizó las concentraciones de ^{235}U, ^{232}Th y ^{40}K en el suelo de dos granjas bovinas de las parroquias de Tarqui (Zhucay) y Turi (Bellavista), para ello se utilizó el estadístico t-student, para muestras independientes, en el software SPSS, para la comparación de las medias de las concentraciones, donde se obtuvo como resultado:

4.1.1.1.1 Resultados de Uranio en suelo

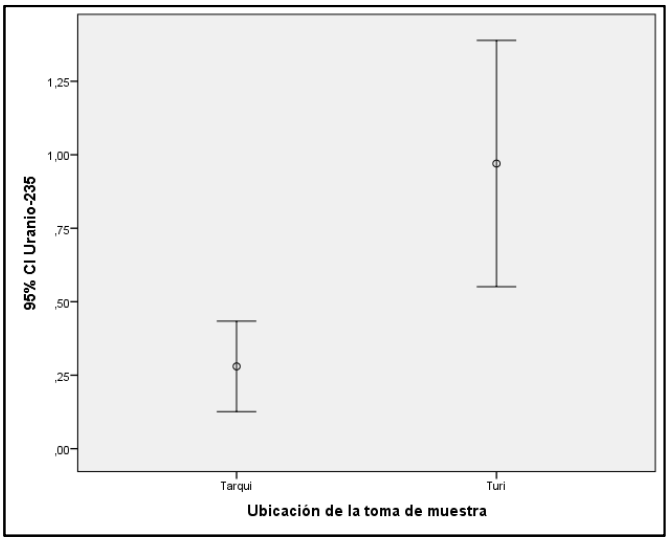
A continuación, se presentan los valores de las medias de las concentraciones de Uranio en los suelos de las fincas muestreadas (tabla 5).

	Zona de muestreo	Número muestras	Media (ppm)	Desviación estándar	Media de error estándar
^{235}U	Tarqui	20	0,28	0,33	0,07
	Turi	20	0,97	0,90	0,20

Tabla 5 Concentraciones de ^{235}U en las fincas muestreadas de Tarqui y Turi.

Fuente. Autor.

En la tabla 5, se expresan los valores obtenidos de las medias de las granjas de las parroquias de Turi y Tarqui comparativamente.



Gráfica 1 Comparación de las concentraciones de ^{235} U en el suelo de las zonas de estudio.

Fuente. Autor

Según los resultados obtenidos en la Gráfica 1, la diferencia entre las concentraciones de ^{235}U, se identificó con mayor concentración en Turi con una media de 0,97±0,20 ppm y con menor concentración en Tarqui, con una media de 0,28±0,07 ppm, por lo cual es apreciable la diferencia estadística. Según sus respectivos PDOT en ambas parroquias se emplea el suelo para pastos, con una mayor capacidad para la agricultura en Turi en base a las características

de su suelo, por ello es superior su contenido de ^{235}U, debido a que se atribuyen mayores cantidades en suelos con depósitos de fosfatos, también se asume a que se encuentra altos índices en suelos con depósitos o betas de dicho elemento, además, el uranio procede a transformarse en torio y emite radiación en forma de partículas alfa, por lo cual éste continúa transformándose en radio y radón como subproductos.

4.1.1.1.2 Resultados de Torio en el suelo

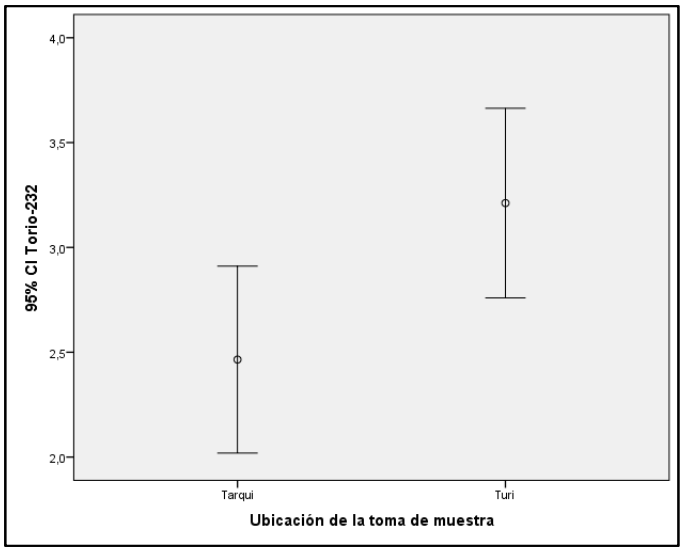
A continuación, se presentan los valores de las medias de las concentraciones de Torio en los suelos de las fincas muestreadas (tabla 6).

	Zona de muestreo	Número muestras	Media (ppm)	Desviación estándar	Media de error estándar
^{232}Th	Tarqui	20	2,47	0,95	0,21
	Turi	20	3,21	0,97	0,22

Tabla 6 Concentraciones de ^{232}Torio en las fincas muestreadas de Tarqui y Turi.

Fuente. Autor

En la tabla 6, se denotan los valores obtenidos de las medias de las granjas de las parroquias de Turi y Tarqui respectivamente.



Grafica 2 Comparación de las concentraciones de ^{232}Th en el suelo de las zonas de estudio

Fuente. Autor.

Los resultados representados en la gráfica 2, muestran claramente la diferencia significativa entre las concentraciones de ^{232}Th, en los suelos de las dos fincas muestreadas. La concentración promedio de ^{232}Th en la finca ubicada en la parroquia de Turi resultó ser mayor a la de la finca en la parroquia de Tarqui, con valores promedios de 3,2 ± 0,2 ppm y 2,5 ± 0,2 ppm, respectivamente. Se plantea como hipótesis, que al tener mayor cantidad de uranio en Turi, existe mayor cantidad de torio en el mismo, debido a la transformación que sufre el uranio en torio, denotando superioridad con respecto a la parroquia de Tarqui. Por lo cual Turi esta propenso a presentar mayor concentración de radio en su suelo, por la desintegración del Torio.

4.1.1.1.3 Resultados de Potasio en el suelo.

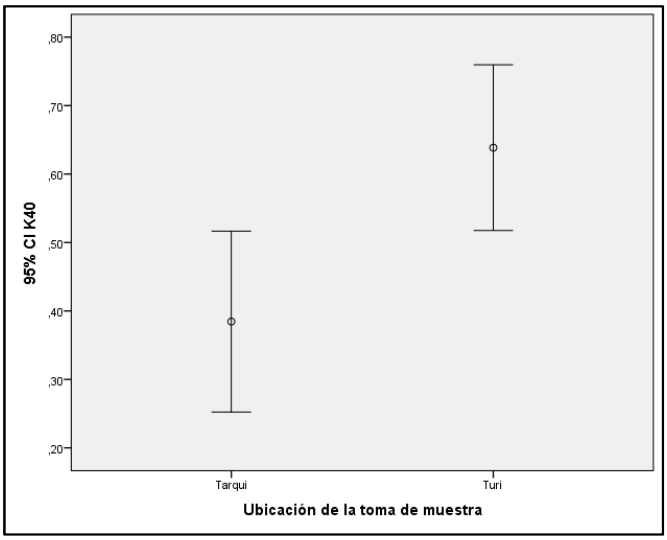
A continuación, se presentan los valores de las medias de las concentraciones de Potasio en los suelos de las fincas muestreadas (tabla 7).

	Zona de muestreo	Número muestras	Media (%)	Desviación estándar	Media de error estándar
^{40}K	Tarqui	20	0,38	0,30	0,06
	Turi	20	0,64	0,30	0,06

Tabla 7 Concentraciones de ^{40}K en las fincas muestreadas de Tarqui y Turi.

Fuente. Autor.

En la tabla 7, se obtuvieron los valores de las medias, en las granjas de las parroquias de Turi y Tarqui de la provincia del Azuay.



Grafica 3 Comparación de las concentraciones de ^{40}K en el suelo de las zonas de estudio

Fuente. Autor.

Como se observa en la Gráfica 3, el ^{40}K sigue el mismo comportamiento que el ^{235}U y el ^{232}Th, resultando ser mayor en la finca de la parroquia de Turi que en la de Tarqui, con valores promedios de 0,64 ± 0,06 % y 0,38 ± 0,06 % comparativamente. Al presentar suelos con mayor capacidad para la agricultura en la parroquia de Turi, existe mayor contenido de Potasio para el desarrollo del mismo, lo cual se denota en sus contenidos elevados con respecto a la parroquia de Tarqui. Este a su vez es un precursor para mejorar la fertilidad del suelo, incrementando los índices de radio en el mismo.

4.1.1.2 Método de centelleo con celdas Lucas

Se determinó el estadístico t-student, para muestras independientes, en el software SPSS, para el análisis de las concentraciones de ^{226}Ra en el suelo, pasto y leche de vaca de dos granjas bovinas de las parroquias de Tarqui (Zhucay) y Turi (Bellavista), donde obtuvimos como resultado:

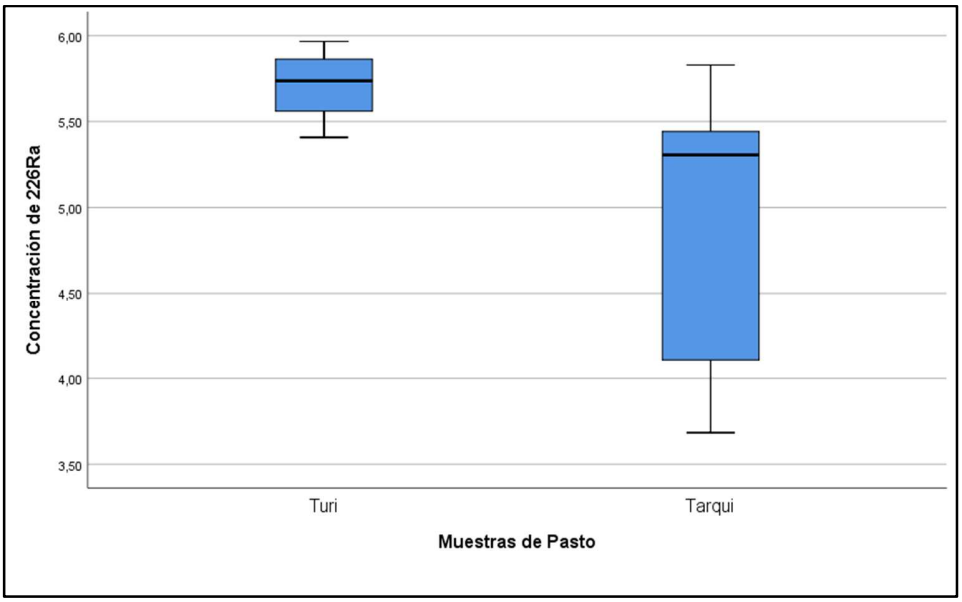
4.1.1.2.1 Concentración de ^{226}Ra en suelo

	Zona de muestreo	Número muestras	Media (Bq/Kg)	Desviación	Error promedio
Concentración ^{226}Ra	Turi	5	5,4	0,7	0,3
	Tarqui	5	4,9	0,9	0,4

Tabla 8 Diferencia estadística de concentraciones de ^{226}Ra en el suelo de Tarqui y Turi.

Fuente. Autor.

Los resultados representados en la Tabla 8, muestran claramente la diferencia significativa entre las concentraciones de ^{226}Ra en términos estadísticos. La concentración de ^{226}Ra obtenida a una profundidad de 20cm, en la finca de la parroquia de Turi resultó mayor a la finca de la parroquia de Tarqui, con valores promedios de **5,4 ± 0,3 Bq/kg y 4,9 ± 0,4 Bq/kg** respectivamente.



Grafica 4 Comparación de 226Ra en muestras de suelo.

Fuente. Autor

En la gráfica 4 de caja y bigote, se observa los valores de las medias, de las muestras de ^{226}Ra en suelo, en las granjas de las parroquias de Turi y Tarqui. Según el PDOT de Turi (2015), indica que el pH en el suelo es de 4, por lo cual las concentraciones de ^{226}Ra son superiores, lo que quiere decir que al disminuir el pH existe una mayor disponibilidad en el suelo, además, sus suelos son inceptisoles de textura franco-arcillosa, con mayor capacidad para la agricultura; en el caso del PDOT de Tarqui (2015), el pH es de 5 donde queda demostrado su menor concentración de ^{226}Ra, también sus suelos son arcillosos, con material duro poco meteorizado, derivado de tobas volcánicas lo cual representa baja o nula materia organica, asimismo la poca fertilidad afecta la asimilación de ^{226}Ra. Según Vandehove (2009) menciona que la materia orgánica absorbe 10 veces mayor cantidad de ^{226}Ra que la arcilla, debido a ello, las parroquias tienen poca o nula materia orgánica, dando como resultado valores inferiores a los estándares internacionales.

Para las comparaciones con los estándares mundiales, tenemos que según la UNSCEAR (2000) las muestras de ^{226}Ra en suelo a una profundidad 5–10cm y 15-20cm, dan concentraciones de 10-50 Bq/kg, además, Ghazwa (2016) manifiesta en la Scientific World Journal, que en China los niveles de ^{226}Ra, representan un valor de 32 Bq/kg y en el caso de

Egipto el rango fluctúa entre 5-64 Bq/kg; demostrando que las concentraciones de ^{226}Ra en el suelo, son inferiores al promedio mundial y a los valores permisibles en China, en cambio, los valores obtenidos se ubican dentro del rango en Egipto.

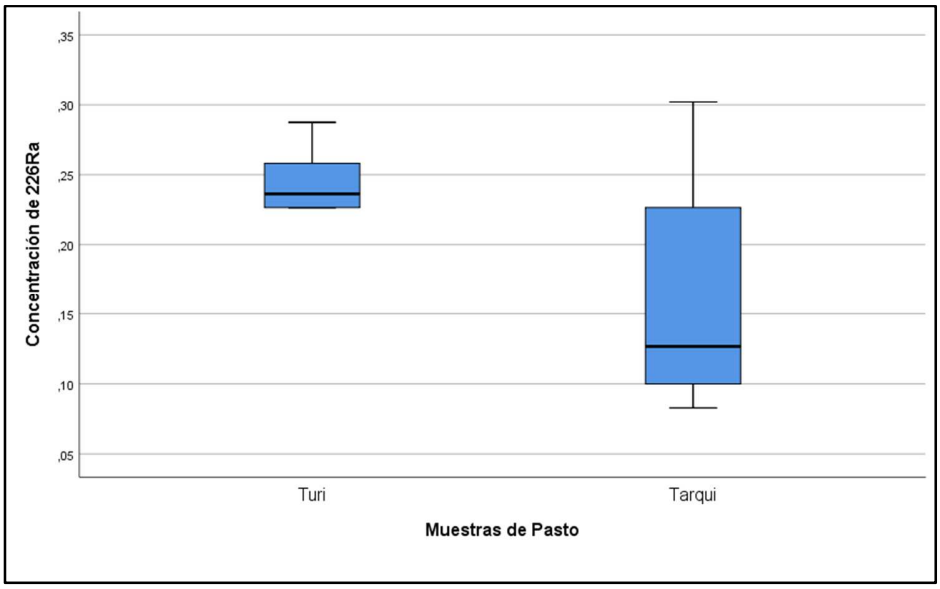
4.1.1.2.2 Concentración de ^{226}Ra en pasto

	Zona de muestreo	Número muestras	Media	Desviación	Error promedio
Concentración ^{226}Ra en el pasto.	Turi	5	0,233	0,048	0,021
	Tarqui	5	0,17	0,09	0,04

Tabla 9 Diferencia estadística de concentraciones de ^{226}Ra en el pasto de Tarqui y Turi.

Fuente. Autor.

Como se observa en la Tabla 10, existe diferencia significativa en las concentraciones de ^{226}Ra, resultando ser mayor en la finca de la parroquia de Turi que en la de Tarqui, con valores promedios de **0,233 ± 0,021 Bq/kg y 0,17 ± 0,04 Bq/kg** comparativamente.



Grafica 5 Comparación de 226Ra en muestras de pasto.

Fuente. Autor.

En la gráfica 5 de caja y bigote, se identifican los valores de las medias en dichas parroquias, para las muestras de ^{226}Ra en pasto. Según el PDOT de Turi (2015) el suelo contiene baja materia orgánica, mientras que PDOT de Tarqui (2015) menciona que sus suelos contienen baja o nula materia organica (MO), la baja cantidad de MO disminuye la absorción de ^{226}Ra y la movilidad de los radionucleicos hacia la raíz del pasto. Por ello, al existir una mejor predisposición de MO en el suelo de Turi, es mayor su concentración de ^{226}Ra, con respecto a Tarqui.

En comparación de los valores obtenidos, con los estándares internacionales, tenemos que para la UNSCEAR la concentración de ^{226}Ra en vegetales es de 0,05 Bq/kg, además, Nedzad (2015) menciona que los niveles de ^{226}Ra en el pasto son de 0,3 Bq/kg y 0,4 Bq/kg en las ciudades de Hadzici y Vlasic, en el país de Bosnia. Por lo cual verificamos que las concentraciones de ^{226}Ra, en el pasto de las parroquias analizadas son bajas, con respecto al promedio mundial de la UNSEAR y se ubican en el rango del país de Bosnia, sin representar riesgos al ganado bovino en el consumo de pasto.

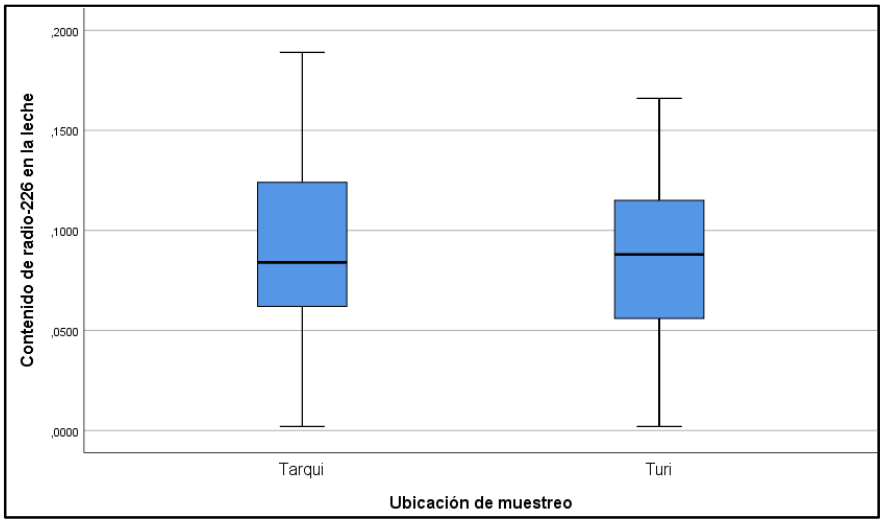
4.1.1.2.3 Concentración de ^{226}Ra en leche

	Muestras de Leche	N	Media	Desviación	Error promedio
Concentración	Turi	25	0,092	0,047	0,009
^{226}Ra	Tarqui	25	0,083	0,042	0,008

Tabla 10 Diferencia estadística de concentraciones de ^{226}Ra en la leche de Tarqui y Turi.

Fuente. Autor.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 12, demuestran la diferencia entre las concentraciones de ^{226}Ra. Los valores promedio en la finca ubicada en la parroquia de Turi son mayores a la de la finca en la parroquia de Tarqui, con valores promedios de **0,092 ± 0,009 Bq/kg y 0,083 ± 0,008 Bq/kg**, comparativamente.



Grafica 6 Comparación de 226Ra en muestras de leche.

Fuente. Autor

En la gráfica 6 de caja y bigote, se identifican los valores de las medias de ^{226}Ra en la leche de vaca, de las granjas de dichas parroquias. Donde se identifica que no hay significancia

estadística en las concentraciones, comportándose de la misma manera, debido a la similitud de sus medias.

En lo que respecta a la comparación con los promedios mundiales, tenemos que según la UNSCEAR (2000) el valor del ^{226}Ra en la leche de vaca es de 0,005 Bq/kg, además, Deevband (2017) menciona que las concentraciones de ^{226}Ra son de 0,004-0,064 Bq/kg en Irán, 0,057 Bq/kg en Estados Unidos y 0,002-0,130 Bq/kg en Alemania. Por ello las concentraciones obtenidas en las parroquias de Tarqui y te Turi, son mayores al promedio mundial en una relación de 18/1 al valor de la UNSCEAR, lo que representa un riesgo, debido a sus valores elevados, se atribuyen hipótesis de dichas concentraciones a factores externos e internos del animal, como el balanceado de la dieta alimenticia, factores nutricionales, mejoramiento de la fertilidad y genética, entre otros. Mientras que los valores obtenidos en las zonas de estudio se encuentran dentro del rango del país de Alemania, lo que no es alentador, debido que es este país se utiliza energía nuclear, por lo cual está normada la permisibilidad de ^{226}Ra en sus concentraciones elevadas, mientras que en Ecuador no utilizamos este tipo de energías, siendo de menester social investigar la posible fuente ^{226}Ra emisora hacia el animal, por ende, hacia la leche.

4.1.1.3 Coeficiente de transferencia ^{226}Ra

Se analiza el coeficiente de transferencia, para demostrar la capacidad de asimilación del ^{226}Ra, lo que conlleva a la bioacumulación del contaminante en dichos elementos, y son analizados a continuación:

4.1.1.3.1 Coeficiente de transferencia suelo-pasto

Se estima la cantidad de ^{226}Ra que el pasto bioabsorbe, proveniente del suelo y comparar entre las parroquias, para atribuir las concentraciones a la trasferencia entre estos elementos o atribuir a factores externos.

4.1.1.3.1.1 Parroquia Turi

Con los valores medios obtenidos de la concentración de radio en el suelo (CR suelo) y el pasto de la parroquia de Turi, procedemos al análisis cuantitativo, de los mismos expresados a continuación:

$$\mathrm{CT} = \frac{CRpasto}{CRsuelo}$$

$$\mathrm{CT} = \frac{0{,}2334\ Bq/kg}{5{,}4180\ Bq/kg}$$

$$\mathrm{CT} = 0{,}0430$$

El valor obtenido del coeficiente de transferencia de suelo – pasto es de 0,0430. Lo que representa un índice bajo en la asimilación del radio. Demostrando que existe una lógica en la transferencia de radio, al ser mayor en el suelo y por ende en la cadena de transferencia disminuye en el pasto, pero con un menor bioacumulación en el mismo según la presente formula. Debido a que los valores de concentración de radio en el suelo y pasto, son inferiores al promedio mundial, el coeficiente de transferencia también será inferior en investigaciones mundiales.

4.1.1.3.1.2 Parroquia Tarqui

Con los valores medios obtenidos del suelo y el pasto de la parroquia de Tarqui, procedemos al análisis cuantitativo, de los mismos se encuentran expresados a continuación:

$$\mathrm{FT} = \frac{CRpasto}{CRsuelo}$$

$$\mathrm{FT} = \frac{0{,}1676\ Bq/kg}{4{,}8733\ Bq/kg}$$

$$\mathrm{FT} = 0{,}0343$$

El coeficiente de transferencia de suelo – pasto es de 0,0343. Denotando un índice bajo en la captación de radio. existe una lógica en la transferencia de radio, al ser mayor en el suelo y por ende en la cadena de transferencia disminuye en el pasto. Debido a que los valores de concentración de radio en el suelo y pasto, son inferiores al promedio mundial, el coeficiente

de transferencia también será inferior a investigaciones mundiales. En comparación con la parroquia de Turi, el coeficiente de transferencia es mayor, debido a los índices mayores en sus concentraciones en el suelo y pasto.

4.1.1.3.2 Coeficiente de trasferencia pasto-leche

Se pretende estimar la cantidad de ^{226}Ra que se asimila del pasto hacia la leche de vaca y comparar entre las parroquias, para atribuir las concentraciones a la trasferencia entre estos elementos o atribuir a factores externos o internos del animal.

4.1.1.3.2.1 Parroquia Turi

Con los valores medios obtenidos del pasto y leche de vaca de la parroquia de Turi, además, de la conversión de unidades de la densidad de la leche, procedemos al análisis cuantitativo, de los mismos se encuentran expresados a continuación:

CR leche = 0,09236 Bq/lt

Conversión unidades

Densidad pura de la leche = 1,032 kg/lt

$$m = d * v$$

$$m = 1{,}032 \frac{kg}{lt} * v$$

$$m = \frac{1}{1{,}032} \frac{lt}{kg} * 0{,}09236 \ \frac{Bq}{lt}$$

$$m = 0{,}0894 \frac{Bq}{kg}$$

CT pasto = 0,2334 Bq/kg

$$\mathrm{CT} = \frac{CRleche}{CRpasto}$$

$$\mathrm{CT} = \frac{0{,}0894\ Bq/kg}{0{,}2334\ Bq/kg}$$

$$\mathrm{CT} = \ 0{,}3830$$

El valor obtenido del coeficiente de transferencia de pasto – leche es de 0,3830. Denotando que no existe una concordancia en la transferencia de radio del pasto hacia la leche, debido a que el resultado final del coeficiente de transferencia, es mayor a la concentración de radio en el pasto de la parroquia de Turi, lo cual indica que existe una asimilación de radio en la leche de la vaca, procedente de factores externos e internos del animal, además, que la transferencia de radio no es en su totalidad procedente del pasto.

4.1.1.3.2.2 Parroquia Tarqui

Con los valores medios obtenidos del suelo y el pasto de la parroquia de Tarqui, además, de la conversión de unidades de la densidad de la leche de vaca; procedemos al análisis cuantitativo, de los mismos expresados a continuación:

CT leche = 0,08343 Bq/lt

Conversión unidades

Densidad pura de la leche = 1,032 kg/lt

$$m = d * v$$

$$m = 1{,}032 \frac{kg}{lt} * v$$

$$m = \frac{1}{1{,}032} \frac{lt}{kg} * 0{,}08343\ \frac{Bq}{lt}$$

$$m = 0{,}0808 \frac{Bq}{kg}$$

CRpasto = 0,1676 Bq/kg

$$\mathrm{CT} = \frac{CRleche}{CRpasto}$$

$$\mathrm{CT} = \frac{0{,}0808\ Bq/kg}{0{,}1676\ Bq/kg}$$

$$\mathrm{CT} = 0{,}4823$$

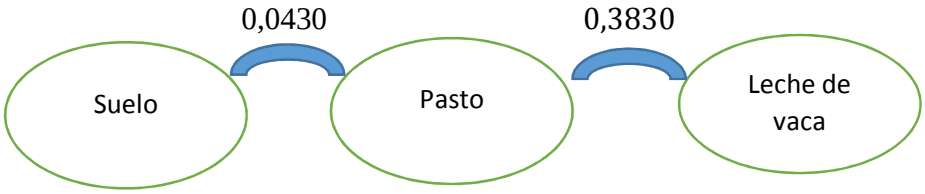
El coeficiente de transferencia de pasto – leche de vaca, es de 0,4823. En el cual queda demostrado que no existe una lógica en la transferencia de radio del pasto hacia la leche, debido a que el resultado final, es mayor a la concentración de radio en el pasto de la parroquia de Tarqui, además, que el coeficiente de transferencia en Tarqui es mayor al de Turi, lo cual atribuye a agentes externos e internos del animal, además, de posibles fluctuaciones de radio en el ambiente de la zona de estudio.

4.1.1.3.3 Diagrama de coeficiente de transferencia

Los valores obtenidos del coeficiente de transferencia en las diferentes parroquias, nos permiten estimar la bioacumulación en la cadena trófica de suelo-pasto-leche de vaca.

4.1.1.3.3.1 Parroquia Turi

El siguiente diagrama expresa las cantidades que se transfieren en dichos elementos y nos permite estimar un espectro amplio de sus orígenes.

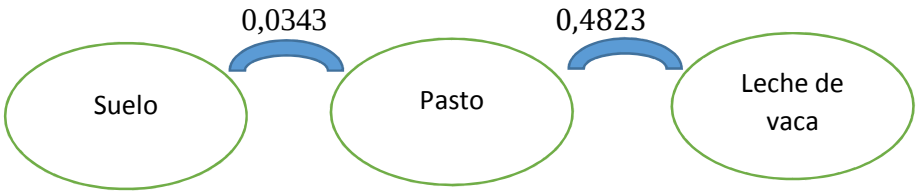


(2)

Diagrama 2 Coeficiente de Transferencia Parroquia Turi

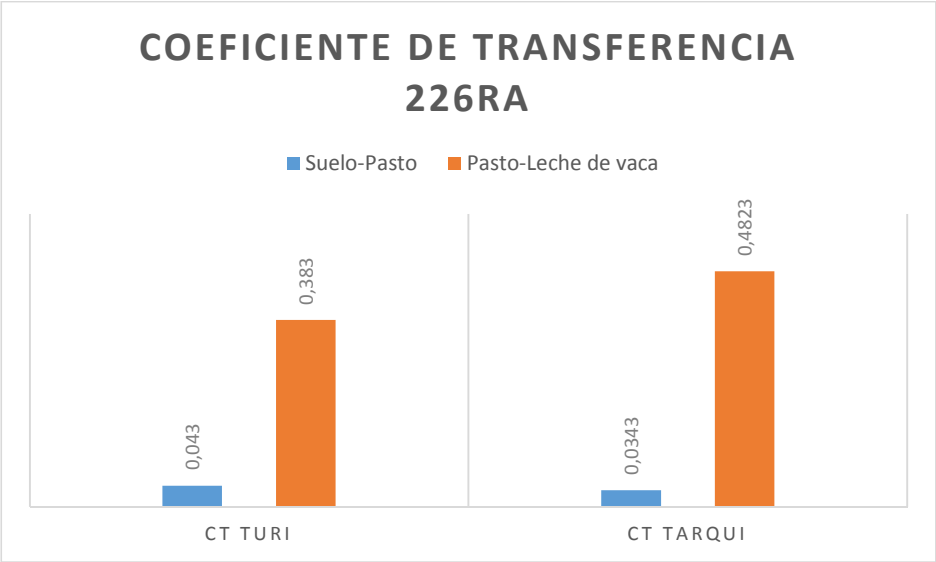
4.1.1.3.3.2 Parroquia Tarqui

El siguiente diagrama expresa las cantidades que se transfieren en dichos elementos y nos permite estimar un espectro amplio de sus orígenes.



(3)

Diagrama 3 Coeficiente de transferencia Parroquia de Tarqui



Grafica 7 Coeficiente de transferencia de 226Ra Suelo-Pasto Pasto-Leche de vaca en las parroquias de Tarqui y Turi

Fuente. Autor

CAPITULO V

CONCLUCIÓN Y RECOMENDACIÓN

5.1 Conclusión

Según los resultados obtenidos, se denota la bioacumulación en la cadena trófica del pasto y la leche de vaca. Por lo cual, después de un análisis estadístico, se encontró una diferencia significativa en los resultados, denotan mayor concentración de ^{235}U, ^{232}Th, ^{40}K y ^{226}Ra en las matrices ambientales de suelo, pasto y leche de vaca, de la parroquia de Turi en comparación con la parroquia de Tarqui, debido a fluctuaciones en el pH, la materia orgánica, la textura, la capacidad de intercambio catiónico y el tipo de suelo, además, de sus características físico-químicas de dichos sectores. Las concentraciones de ^{226}Ra medidos en el suelo y el pasto, están por debajo de los promedios mundiales publicados por la UNSCEAR lo que no representa riesgos en la cadena trófica por sus bajas concentraciones.

Las concentraciones de ^{226}Ra en la leche de vaca, encontradas en este estudio, fueron mayores al promedio mundial publicados por la UNSCEAR, por otro lado, se ubicaron cerca del límite superior de los rangos publicados para Alemania; se evidencia que las altas concentraciones de este elemento, no son procedentes del suelo-pasto, dejando abierta la pregunta sobre el origen de la gran parte del ^{226}Ra encontrada en la leche de vaca muestreada; atribuyendo las concentraciones de ^{226}Ra a factores externos e internos, donde se plantean hipótesis como el

balanceado que se suministra al animal en su dieta alimenticia, factores nutricionales donde se utilizan químicos para el control de enfermedades, mejoramiento de la fertilidad y genética, estrés, entre otros.

En los resultados obtenidos en el coeficiente de transferencia (CT) del ^{226}Ra en suelo-pasto y pasto-leche de vaca, se encontró que en la parroquia Turi el CT suelo-pasto es de 0,04 siendo mayor al de Tarqui, lo cual coincide con la mayor presencia de uranio y torio en el suelo del sector, mientras que en Tarqui el CT pasto-leche es 0,48 el cual es mayor al de Turi, donde se correlaciona con mayores concentraciones de ^{226}Ra debido a agentes externos e internos suministrados o asimilados por el animal en esta parroquia.

5.2 Recomendación

Se recomienda continuar los estudios iniciados en el presente trabajo, considerando que los resultados del mismo no arrojan suficiente información para concluir sobre el origen del ^{226}Ra en la leche de vaca muestreada, además porque los niveles obtenidos indican un potencial riesgo para la salud de los que consumen esta leche, según los valores promedios que se reflejan en la literatura especializada (UNSCEAR); se recomienda prestar especial atención a los factores nutricionales y fisiológicos del animal.

Las limitaciones que se presentaron, fueron debido a la magnitud geográfica del territorio, siendo lo ideal levantar la información de diferentes puntos productivos lecheros de la provincia del Azuay, para obtener un espectro amplio de la realidad radioactiva de las zonas, además, de un futuro generar un mapa radiológico del catastro lechero; para ello, se debe contar con una planificación integral en concomitancia con instituciones públicas y privadas, que aporten el financiamiento de recursos y personal investigativo para el desarrollo del mismo.

REFERENCIAS

Albujar, R. (2009). *Evaluación de la conservación de leche cruda en distintas regiones del Perú, mediante la activación del sistema lactoperoxidasa .*

Campoverde, C. (2018). *Relaciónentre la disponibilidadprimaria de los pastizales yla producción de leche en vacas alpastoreo, en los sistemas ganaderos en la zona occidental de la provincia del Azuay.* Cuenca-Ecuador.

Castellanos, C. (1997). *Criterios fundamentales para resolver problemas de resistencia de materiales.*

Chile, C. g. (2012). *Guia practica para la construcción de muestras.*

Coconi, E. (2011). *Adquisicion, interpretacion de datps espectrometricos (torio,potasio y uranio) en la region de Tecuanipan.*

Cozella, M. (2014). *Aplicación de un método de separación química y de la espectrometría de masa para la determinación de radio-226 en aguas superficiales .*

Crawford, J. (2002). *National Water Quality.*

Cuenca, M. d. (2012). *Informacion turistica de la cuidad de Cuenca.*

Damacia, B. M. (2014). *DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN Y TRASLOCACIÓN DE METALES PESADOS EN EL Juncus arcticus Willd. Y Cortaderia rudiuscula Stapf, DE ÁREAS CONTAMINADAS CON EL PASIVO AMBIENTAL MINERO ALIANZA - ANCASH 2013.*

Deevband. (2017). *Analytical study of 226Ra activity concentration in market consuming foodstuffs of Ramsar, Iran.* J Environ Health Sci Eng.

Desgacificador, M. (2018). *Sistema de desgacificacion de agua al vacio.*

España, M. d. (2016). *Criterios radiologicos de la caidad de agua.*

Espinoza, A. (2013). *ANÁLISIS DE RIESGOS Y VULNERABILIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL DEL SECTOR GUZHO EN LA AUTOPISTA CUENCA-AZOGUEZ DESDE EL KM 0 HASTA EL KM 1,4 .*

Garcia, L. (2013). *Parámetros de Calibración del Sistema de Medición de 222Rn Basado en LR-115* .

Garcia, P. (2014). *RADON GAS. ENVIRONMENTAL CONCENTRATION MEASURES AND REMEDIATION ACTIONS IN EXPOSED BUILDINGS* .

Godinez, M. (1995). *Determinacion de Ra-226 en fertilizantes fosfatados y en yeso mediante espectometria gamma.*

Gomez, p. A. (2014). *Transferencia de elementos traza suelo-planta en suelos con influencia salina.* Murcia-España: Universidad de Murcia.

Gómez, P. A. (2014). *Transferencia de elementos traza suelo-planta en suelos con influencia salina* .

Greenpeace. (2005). *Conceptos basicos cobre la radiacion.*

Hernadez, S. (2012). *CARACTERIZACION RADIACTIVA DE LOS SUELOS Y PRODUCTOS AGRiCOLAS DE LA REGION CENTRO-SUR DE CUBA* .

Hernandez, H. (2011). *CORRELACIÓN GEOLÓGICA CON ESPECTROSCOPIA DE RAYOS GAMMATh,K,U. EN LA REGIÓN DE ACTOPAN HIDALGO BLOQUE 7.*

Hoyo, B. D. (2015). *Estudio de la determinación del radón-222 en un monitor de radiación gamma ambiental en aerosoles por filtro de papel.*

ICRP. (2006). *Comicion Internacional de Proteccion contra las Radiaciones.*

Jimenez, F. (2010). *DETERMINACIÓN Y SEGUIMIENTO DE 131I y 210 Po y otros radionucleicos en diferentes entornos laborales.*

Julca, A. (2006). *LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA.*

Lastra, M. (2016). *Research about di□erent measurement techniques of radon exhalation in soils.*

Leaney, F., & Herczeg, A. (2006). A rapid field extraction method for determination of radon-222 in natural waters by liquid scintillation counting. *Limnol. Oceanogr. Methods*, 254-259.

Lives, F. A. (2011). Protecting Peopleand and families from radon.

Liza, R. (2016). *Mapeo de los Niveles de Radon-222 en el distrito de San Martin de Porras (Lima-Peru).*

Loria, L. (2002). *ANALISIS POR ESPECTROMETRIA GAMMA DE FERTILIZANTES DE USSO EN COSTA RICA.*

Martinez, A. (1991). *Radioactividad natural en diversos comportamientos naturales de andalucia.*

Medina, A. N. (2016). *Desarrollo de metodologias para la mediciones de exalacion de radon 222.* Valencia-España: Universidad Politecnica de Valencia.

Menon, C. (2016). *Descubrimiento del radio y la serie radiactivo del uranio.*

Morris, J. (1988). *Exposición de los animales y sus productos a la radiacion.*

Muños, M. (2018). *Medidas de radiactividad en Agua.* Valladolit-España.

Muñoz. (2018). *Singularidades en el diseño de soluciones de protección frente a gas radón. Singularities in the design of protection solutions against radon gas.*

Nuñes, R. (2011). *La radioactividad ambiental.*

Ortega, L. (2016). *ANÁLISIS DEL POTENCIAL TURÍSTICO DE LA PARROQUIA TARQUI PARA DESARROLLAR TURISMO RURAL.*

Osores, J. (2007). *Radiactividad en productos lácteos de Perú .*

Pañi, P. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Turi.*

Pereira. (2015). *MEDICIONES DE LA CONCENTRACIÓN DE RADÓN 222 EN RESIDENCIAS DE LIMA Y CALLAO – PERÚ.* Peru.

Perez, F. (2003). *Chemical characterization of groundwaters in wells and a water distributor of Zimapan State of Hidalgo, Mexico.*

Pylon, M. (2018). *Monitoreo Pylon.*

Rojas, J. (2018). *A semi-empirical approach to estimate the parameters determining the LR115 detector response in radon measurements.* Peru.

S.P. (2005). *Calidad del Aire.*

Sosa, M. (2006). IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DOSIMETRÍA TERMOLUMINISCENTE PARA TRATAMIENTO DE CÁNCER.

Suarez, O. (2010). *TENORM EN EL ECUADOR: INVENTARIO PRELIMINAR Y EL PAPEL DE LA AUTORIDAD REGULADORA.*

Toribio, J. (2018). *MEDICION DE LA PROGENIE DEL RADON EN MUESTRAS DE POLVO AMBIENTAL.*

UNSCEAR. (2000). *SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION.* New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.

Valentin. (2006). *ICRP 100: Human Alimentary Tract Model for Radiological Protection.*

Vandehove, H. (2009). *Proposal for new best estimates of the soil-to-plant transferfactor of U, Th, Ra, Pb and Po.*

Velez, P. (2010). *Geologia del Azuay.*

Villalba, L. (2003). *Actividades de Uranio y Radio en Muestras de Agua Subterránea de las principales cuidades del estado de chiguagua.*