

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TRABAJO EXPERIMENTAL
PREVIO A OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA
AMBIENTAL.

TÍTULO:

**“DETECCION DE LAS CONCENTRACIONES DE RADIO-226 EN LOS
ABONOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS EN LA CIUDAD DE CUENCA-
ECUADOR.”**

REALIZADO POR:

ANDRES PATRICIO CORDERO AVILES.

DIRIGIDO POR:

Dr. TONY JESUS VILORIA AVILA, PhD

CUENCA – ECUADOR

2016

CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR.

Yo Andrés Patricio Cordero Avilés, con documento de identificación N° 0105684492, 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 grado titulado "Detección de las concentraciones de Radio-226 en los abonos orgánicos e inorgánicos en la ciudad de Cuenca-Ecuador", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniería Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad 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, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Andrés Patricio Cordero Avilés.

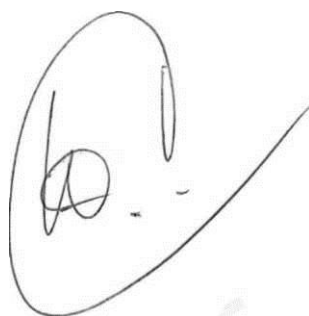
0105684492.

Octubre, 2016.

CERTIFICACIÓN

Yo declaro que bajo mi dirección fue desarrollado el trabajo de titulación **“DETECCION DE LAS CONCENTRACIONES DE RADIO-226 EN LOS ABONOS ORGANICOS E INORGANICOS EN LA CIUDAD DE CUENCA-ECUADOR”**, realizado por **ANDRES PATRICIO CORDERO AVILES**, obteniendo un producto científico que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como Trabajo de Titulación.

Cuenca, Octubre 2016.



TONY JESUS VILORIA AVILA, PhD
TUTOR DE TRABAJO EXPERIMENTAL

No. Pasaporte: 083893634

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD.

Yo, **Andrés Patricio Cordero Avilés** con cédula de identidad número 0105684492 autor de la tesis “**DETECCION DE LAS CONCENTRACIONES DE RADIO-226 EN LOS ABONOS ORGANICOS E INORGANICOS EN LA CIUDAD DE CUENCA-ECUADOR**” certifico que el total contenido de esta investigación es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, Octubre de 2016



ANDRES PATRICIO CORDERO AVILES

010568449-2

DEDICATORIA.

Quiero dedicar mi trabajo a mis padres Freddy Cordero Espinoza, Silvana Avilés Delgado y mi hermana Milena Cordero Avilés, ya que fueron mi sustento para levantarme y poder lograr acabar con éxito mi carrera, así como mi formación como profesional.

A mis abuelos Raúl Avilés y Mercedes Delgado, que han cuidado de mi toda la vida, dándome su infinito amor, comprensión, apoyo incondicional.

Por último dedicar mi trabajo a alguien que es y será mi persona a seguir en muchos aspectos, mío tío Raúl Avilés, que estuvo desde los primeros ciclos conmigo, brindándome sus conocimientos y ayudándome en todo momento.

AGRADECIMIENTO.

Agradecer a Dios, ya que me cuidó de todo mal durante todo mi transcurso de vida universitaria.

Agradecer de forma muy especial a mi director de tesis, el doctor Tony Viloria, que gracias a sus conocimientos compartidos, su entrega y ayuda, se logró cumplir con este primer estudio base sobre las concentraciones de radio y radón en abonos orgánicos e inorgánicos para la ciudad de Cuenca-Ecuador.

A mis padres, que me apoyaron y siempre estuvieron conmigo. Todos los docentes, amigos, compañeros.

RESUMEN.

El propósito del trabajo fue la detección de las concentraciones de radio (^{226}Ra) en los abonos orgánicos e inorgánicos en la ciudad de Cuenca-Ecuador. El trabajo es un estudio de línea de base que permitió la obtención de los primeros valores relativos, relacionados con las concentraciones de radio (^{226}Ra) en los fertilizantes usados en la ciudad de Cuenca-Ecuador.

Esto nos permitirá determinar los riesgos radiológicos a los cuales se exponen las personas que manipulan, con frecuencia, este tipo de productos, ya sea por ingesta o por inhalación de la progenie del radio (^{226}Ra) contenido en los abonos.

Para la selección de las muestras de los abonos, se realizó un muestreo no probabilístico, específicamente por conveniencia, en el cual se seleccionó la mayor variedad de abonos de la ciudad de Cuenca y sus alrededores a los cuales se tuvo acceso.

La estimación de la cantidad de radio (^{226}Ra), fue realizada a través de la técnica de grabado de trazas nucleares en detectores de estado sólido LR-115 tipo II.

Los resultados obtenidos de las concentraciones de radón y radio, indican que el abono inorgánico No.4 (INNUTRI), posee el valor más alto, con una concentración de radón de 12282 (Bq/m^3) y con una concentración de radio de 42.54 (Bq/Kg). Mientras que el valor más significativo en los abonos orgánicos fue el del abono No. 1 (Pollinaza) con una concentración de radón de 4895.95 (Bq/m^3) y una concentración de radio de 16.96 (Bq/Kg).

ÍNDICE DE CONTENIDO.

CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
RESUMEN.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XII
1 Introducción.....	1
1.1 Problema	1
1.2 Delimitación.....	7
1.3 Explicación del problema	7
1.4 Objetivos	10
1.4.1 Objetivo General.	10
1.4.2 Objetivo Específicos.	10
2 Fundamentación Teórica.	10
2.1 Radiactividad.	10
2.1.1 Radiactividad natural.....	11
2.1.2 Radiactividad artificial.	15
2.1.3 Ley de desintegración radiactiva.....	15
2.1.4 Incorporación de radionucleidos al organismo humano.	17
2.2 Efectos radiológicos.....	18
2.2.1 Naturaleza y mecanismos de los efectos biológicos de la radiación Ionizante	20
2.2.2 Manifestaciones clínicas de la lesión.	22
2.2.3 Relación Dosis-Efecto.....	25
2.2.4 Efectos causados por las partículas alfa.	27
2.3 Fertilizantes.....	29
2.3.1 Papel de los elementos nutritivos.....	32
2.3.2 Tipos de fertilizantes.	34

2.3.3 Métodos de aplicación de los fertilizantes.	44
2.4. Radio.....	47
2.4.1 Propiedades físicas.	48
2.4.2 Propiedades químicas.....	49
2.4.3 Propiedades radioquímicas del radio.....	49
2.4.3 Serie de desintegración.....	50
2.5. Técnica.....	52
2.5.1 Detección por trazas en sólidos, DTS.	53
2.5.2. Detector sólido de trazas nucleares (LR-115).	53
2.5.3 Cálculo de las concentraciones de radio (^{226}Ra) y radón (^{222}Rn).....	60
3. Materiales y Métodos.	64
3.1 Toma de muestras de los abonos orgánicos e inorgánicos.	64
3.2 Preparación de la muestra.	67
3.2.1 Deshidratación de las muestras de abonos orgánicos e inorgánicos.	67
3.2.2 Triturado, tamizado y pesaje de las muestras.....	68
3.2 3. Preparación de las cámaras de exposición.	70
3.3 Grabado químico de los detectores sólidos de trazas nucleares (DSTN).	72
3.4 Conteo de trazas nucleares en los detectores LR-115 tipo II.....	74
4. Resultados y Discusión.....	81
4.1. Recolección de los datos.....	81
4.2 Análisis y presentación de los datos.	81
4.3 Discusión.	92
5. Conclusiones y Recomendaciones.....	94
6. Bibliografía.....	95

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Afinidad biológica de algunos elementos radioactivos en los órganos internos.	9
Tabla 2 Dosis debido a fuentes naturales.	14
Tabla 3 Características principales del síndrome de radiación agudo.	24
Tabla 4 Límites máximos de dosis efectiva por radionucleidos.	26
Tabla 5 Límite de actividad alfa y beta total.	26
Tabla 6 Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos.	30
Tabla 7 Los niveles de radio (^{226}Ra) en Hortalizas de hoja y vegetales de raíz y frutas.	61
Tabla 8 Tipos de abonos inorgánicos.	65
Tabla 9 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Pasto).	75
Tabla 10 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (10-30-10).	76
Tabla 11 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (INNUTRI).	76
Tabla 12 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (YARA-MILA-ACTYVA).	76
Tabla 13 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Fertisa-Fertiforraje).	76
Tabla 14 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Fosfato Diamónico).	77
Tabla 15 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Nitrato de Amonio).	77
Tabla 16 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Yara-Mera).	77
Tabla 17 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Pollinaza).	77
Tabla 18 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115.	78
Tabla 19 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Pollo 1).	78
Tabla 20 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Cascarilla de Arroz).	78
Tabla 21 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Hojarasca).	78
Tabla 22 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Abono preparado).	79
Tabla 23 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Bocashi).	79

Tabla 24 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Pollo 2)	79
Tabla 25 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Pollo 3)	79
Tabla 26 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Eco-abonaza)	80
Tabla 27 Determinación de la densidad de trazas, exposición al radón integrado, exhalación por área y masa de abonos inorgánicos para abonos inorgánicos.	82
Tabla 28 Cálculo de la concentración de radón (^{222}Rn) de los abonos inorgánicos (Bq/m^3).	82
Tabla 29 Cálculo de las concentraciones de radio (^{226}Ra) de los abonos inorgánicos (Bq/Kg)	83
Tabla 30 Determinación de la densidad de trazas, exposición al radón integrado, exhalación por área y masa de abonos inorgánicos para abonos orgánicos.	87
Tabla 31 Concentración de radón (^{222}Rn) de los abonos orgánicos (Bq/m^3)	87
Tabla 32 Concentración de radio (^{226}Ra) de los abonos orgánicos (Bq/Kg)	88

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1 Serie de desintegración del ^{238}U	1
Ilustración 2 Nitrogación (aplicación de amoníaco al agua de riego).	46
Ilustración 3, aplicación foliar de B, Mg y Zn en palma de aceite.	47
Ilustración 4. Mecanismos Básicos de grabado Electroquímico.	59
Ilustración 5 Muestras de Abonos Orgánicos.	66
Ilustración 6, Muestra de Abonos Inorgánicos.	66
Ilustración 7 Mufla y Estufa.	68
Ilustración 8 Trituradora.	69
Ilustración 9 Tamizado	69
Ilustración 10 Muestras de abonos orgánicos e inorgánicos.	70
Ilustración 11 Muestras de abonos Inorgánicos.	71
Ilustración 12 Muestras de Abonos Orgánicos.	71
Ilustración 13 Baño María (Equipo empleado para el tratamiento químico).	72
Ilustración 14 Vasos de precipitación con los detectores, después de utilizar El Baño María.	73
Ilustración 15 Agitador Magnético.	73
Ilustración 16 Secado de los detectores colocados en vasos de precipitación.....	74
Ilustración 17 Conteo de Trazas nucleares en el abono inorgánico 4 (INNUTRI).	75
Ilustración 18 Distribución del número de trazas nucleares en abonos inorgánicos.	80
Ilustración 19 Distribución del número de trazas nucleares en abonos orgánicos.	81
Ilustración 21 Concentración de radón (^{222}Rn) de los abonos inorgánicos (Bq/m^3).	83
Ilustración 22 Concentración de radio (^{226}Ra) de los abonos inorgánicos (Bq/Kg).	84
Ilustración 23 Actividad del radón (^{222}Rn) frente a la tasa de exhalación de radón con respecto a su área, en los abonos inorgánicos.	85
Ilustración 24 Actividad del radio (^{226}Ra) frente a la tasa de exhalación de radón con respecto a su área, en abonos inorgánicos.	86
Ilustración 25 Concentración de radón (^{222}Rn) de los abonos orgánicos (Bq/m^3).	88
Ilustración 26 Concentración de radio (^{226}Ra) de los abonos orgánicos (Bq/m^3).	89
Ilustración 27 Actividad del radón (^{222}Ra) frente a la tasa de exhalación de radón con respecto a su área, en abonos orgánicos.	90
Ilustración 28 Actividad del radio (^{226}Ra) frente a la tasa de exhalación de radón con respecto a su área, en abonos orgánicos.	91

1 Introducción

1.1 Problema

Desde los orígenes de la vida en la tierra, los seres vivos han estado expuestos a la radiactividad natural, de origen cósmico y terrestre como el uranio, torio y el potasio (^{40}K). El hombre moderno además de las fuentes de origen natural está expuesto a las radiaciones ionizantes de origen antropogénico como los rayos X.

La serie del uranio (^{238}U) tiene una vida muy larga, de cuatro mil quinientos años por lo que, en toda la historia de la tierra, sólo una parte de la reserva original ha tenido posibilidad de desintegrarse. Este isótopo es el origen de una de las series radiactivas naturales, incluyendo el radio y el polonio y acabando el plomo (^{206}Pb) que no es radiactivo. El uranio (^{238}U) presente en toda la corteza terrestre tiene una concentración promedio en suelos del orden de 35 Bq kg⁻¹ (Benes, 2000).

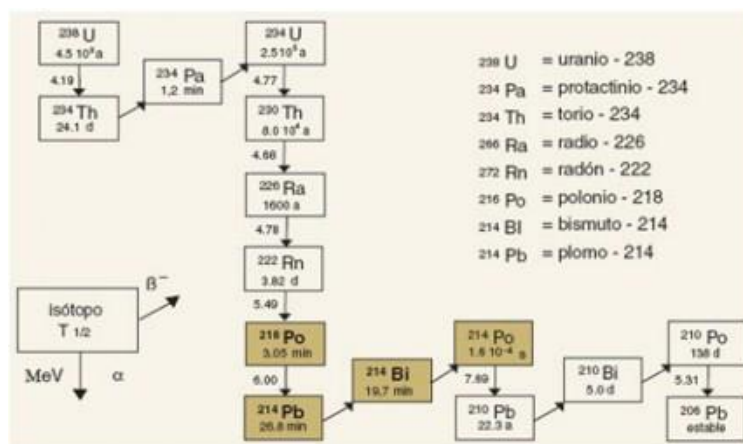


Ilustración 1 Serie de desintegración del ^{238}U .

Fuente: Benes, 2000.

El uranio y sus productos de desintegración son una fuente de radioactividad, el radio es el principal elemento radioactivo de la serie, que está en equilibrio con el radón (^{222}Rn) (BUNU, 1981). Estar expuesto a este elemento a niveles altos producirá un aumento en la tasa de incidencia cáncer de los huesos, hígado, esto es debido a que el cuerpo lo asimila como calcio.

El radio (^{226}Ra) se ha encontrado en muy pequeñas cantidades en el suelo, el agua, rocas carbón, plantas y alimentos ((ATSDR), 1990).

El radio (^{226}Ra), es otro de los elementos radiactivos producto de la desintegración del ^{238}U y su vida media es algo inferior a mil seiscientos años (Benes, 2000).

Desde la década de 1950, la aplicación de nutrientes para las plantas, incluyendo los fertilizantes fosfatados se ha incrementado sustancialmente. Más de 30 millones de toneladas métricas de fertilizantes fosfatados se consumen anualmente en todo el mundo, lo que aumentará la producción de cultivos y la recuperación de tierras (Lambert, 2007).

Los abonos inorgánicos, están compuestos principalmente por tres elementos, Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K). Los fertilizantes fosfatados son usados en grandes cantidades alrededor del mundo, dado que son esenciales para la producción de alimentos

Hoy en día el uso de fertilizantes químicos, incluyendo los fertilizantes fosfatados son un componente esencial de las actividades agrícolas, ayudan a aumentar la producción de cultivos, mejora las propiedades de la tierra deficientes en nutrientes. Sin embargo un posible efecto negativo de los fertilizantes fosfatados es la contaminación de las tierras cultivadas por trazas de metales y algunos materiales radioactivos naturales (Lambert, 2007).

El uso de los fertilizantes es la principal fuente antropogénica de la entrada del uranio en el medio ambiente (alrededor del 73% de la entrada total del uranio) (Stojanović M, 2012).

Recibir exposiciones a altos niveles de radio (^{226}Ra) puede causar efectos perjudiciales, entre ellos la fractura de dientes, anemia y cataratas, y si la exposición es larga puede causar cáncer, lo cual produciría la muerte. Las vías de entrada en el ser humano de estas sustancias tóxicas presentes en los suelos contaminados por estos residuos son fundamentalmente, la ingestión directa del polvo y alimentos contaminados, inhalación de sustancias volátiles, uso de aguas superficiales y subterráneas afectadas por la contaminación de estos suelos y la vía dérmica (Benes, 2000)

La fuente natural del fósforo para uso agrícola es la roca fosforada, asociada a roca caliza unida a pizarra marina (Eisenbud M., 1997).

Para la fabricación del fertilizante fosfatado, se deriva de un mineral de roca llamado apatita, que contiene altos niveles de radio y otros elementos radiactivos como el polonio (^{210}Po) y plomo (^{210}Pb) (Abbady, 2005).

El potasio (K) es otro elemento que se añade al suelo como fertilizante, este elemento posee como isótopo inestable al potasio (^{40}K), el cual es un emisor de partículas betas (positivas - negativas), teniendo un periodo de semi desintegración de $1,26 \times 10^9$ años (Eisenbud M., 1997).

De acuerdo con las proyecciones del Banco Mundial, la población mundial aumentaría de seis mil millones de personas en 1999 a más de siete mil millones en 2020. (ONU, 2002), lo que crea la imperiosa necesidad de producir más alimentos en las mismas

áreas de cultivo, necesitando de retornar rápidamente minerales que sirven de nutrientes a las plantas.

Los fertilizantes son esenciales en la agricultura, debido a que suministran nutrientes a los campos de cultivo y a su vez es un factor clave para aumentar su producción agrícola. Relativamente grandes concentraciones de radionucleidos naturales presentes en los fertilizantes de fosfato contaminan el medio ambiente y la agricultura durante el cultivo (IAEA, 1989)

Con los fertilizantes se pueden producir más alimentos y cultivos comerciales, y de mejor calidad, además se puede mejorar la baja fertilidad de los suelos que han sido sobreexplotados. Existen dos principales tipos para la exposición humana hacia la contaminación de radio (^{226}Ra)

- Suelo-Cultivo-Humano (vía cadena alimentaria).
- Suelo-Humano (ingestión accidental del suelo).

Las plantas toman alguna fracción de la radioactividad presente en los abonos aplicados al suelo. Los seres humanos están expuestos interna y externamente a la radioactividad debido a la ingestión de plantas criadas en el suelo fertilizado y la inhalación de roca y polvo de fertilizante (Milica M. Rajačić, 2013).

Otra forma en que puede entrar el radio (^{226}Ra) al cuerpo es a través del consumo de agua contaminada con dicho elemento. El principal peligro ambiental que representa el radio (^{226}Ra) es por tanto que con el tiempo podría llegar a las aguas superficiales y ser ingerido por los humanos. El radio (^{226}Ra) tiene propiedades químicas similares a las del calcio y se transfiere a la estructura ósea de los humanos (Guevara, 2015).

La exposición a largo plazo a cantidades tan pequeñas como 1 μg de radio (^{226}Ra) retenido en el cuerpo puede producir graves daños a los huesos (J. Glynn Henry, 1999).

Con este dato se puede concluir que por más pequeña que sea la exposición al radio (^{226}Ra) a largo plazo afectará la salud del ser humano.

Existen varios informes sobre la presencia de radionucleidos de origen natural en el tabaco, especialmente en polonio (^{210}Po) que ha ganado una significativa importancia por las interacciones de partículas alfa con cromosomas de las células, causando la evolución de la arteriosclerosis temprana en fumadores de tabaco (Mahabir Naina, 2008).

El suelo para cultivar tabaco se trata generalmente con los fertilizantes inorgánicos, los más usados los fertilizantes fosfatados. El agricultor enfocado en generar grandes ganancias utiliza de forma excesiva los fertilizantes inorgánicos elevando el fondo radiactivo del suelo, de manera considerable.

Uno de los mecanismos implicados aquí es el fenómeno de la absorción de radionucleidos en las raíces del suelo. Esto también se puede esperar en las hojas de tabaco en los campos lixiviados en gran medida con los fertilizantes fosfatados (Sam, 1999).

Muchos productos alimenticios, especialmente los frutos secos, frutas y plantas de hoja como el tabaco, hortalizas absorben elementos radiactivos directamente de la atmósfera o del suelo, concentrándolos dentro de sí mismos (Ekdal, 2006). La importancia de este estudio base es cuantificar la concentración de radio en los diferentes tipos de fertilizantes como punto de partida para la investigación más detallada como la cuantificación del coeficiente de transferencia a los diferentes rubros, la distribución en el rubro.

La vida media del radio (^{226}Ra) es de 1600 años y se desintegra emitiendo una partícula alfa y da como resultado la formación del radón (^{222}Rn). El radio puede ingresar al cuerpo por el consumo de alimentos (ingestión), consumo de agua potable, o al respirar (inhalación).

Como se mencionó antes el comportamiento metabólico del radio en el cuerpo es similar a la del calcio, por esta razón, una fracción apreciable se deposita preferentemente en los huesos y en los dientes.

La relación hombre-suelo-planta es la vía principal que se está estudiando para la transferencia de radionucleidos para los seres humanos.

La planta absorbe principalmente elementos químicos como el uranio, torio, potasio y el radio, esto es debido a la gran necesidad de la planta de nutrientes. Una vez que absorbidos estos elementos, la planta transfiere sustancias radiactivas naturales que se acumulan en las partes vitales de la planta, incluyendo los comestibles. De esta manera, los radionucleidos entran en la cadena alimentaria humano (Pulhani, 2004).

Existen estudios acerca de la detención de radio (^{226}Ra) en abonos inorgánicos en países como Estados Unidos y Europa, pero a nivel nacional no existe estudio determinado acerca de dicho tema, además de no existir alguna normativa o ley.

Este es un estudio base que pretende clasificar los diferentes fertilizantes que se comercializan en la ciudad de Cuenca según su índice de concentración de radio (^{226}Ra).

1.2 Delimitación

La delimitación geográfica del trabajo experimental fue dirigida para la ciudad de Cuenca-Ecuador.

1.3 Explicación del problema

El radio está siendo producido constantemente por el decaimiento radioactivo del uranio y torio, sus niveles muy bajos en rocas y en el suelo y puede adherirse firmemente a estos materiales (abonos). Se ha estimado que cada kilómetro cuadrado de la superficie de la tierra (a una profundidad de 40 cm) contiene 1 gramo de radio (Kotlyarov, 1997).

El radio (^{226}Ra) está presente de forma natural en el medio ambiente, en pequeñas cantidades, pero debido a las actividades del ser humano estos niveles han ido aumentando, y causando varios problemas a la salud. También está presente en el suelo que luego es tomado por las plantas y entra al cuerpo al momento de ingerir el alimento, y tiende a seguir el proceso metabólico del calcio, con el fin de concentrarse en los huesos (Shakir, 2010).

Al estar presente el radio (^{226}Ra) en el ambiente en pequeñas cantidades, el ser humano siempre estará expuesto a la sustancia química, ya sea por contaminación de aire (inflación), por contaminación de agua, o por contaminación de suelos (donde el radio se adhiere a los cultivos y posterior a esto son ingeridos por el ser humano) (IAEA, Measurement of Radionuclides in Food and the Environment., 1989)

Es químicamente similar al calcio, y es absorbido del suelo por las plantas y llega a los seres humanos a través de la cadena alimentaria. Cantidades microscópicas de radio en el ambiente pueden conducir a una cierta acumulación de radio en el tejido óseo mediante

el cual se degrada la médula ósea y puede mutar las células óseas, a lo largo del tiempo (Mahur et al., 2008a).

Los fertilizantes se han convertido en un factor esencial para el campo agrícola en todo el mundo, ya que ayuda a aumentar la producción de cultivos y mejora las propiedades deficientes en nutrientes de las tierras (Pooja Chauhan, 2014)

El uso de fertilizantes en el suelo puede causar un aumento en el contenido de radionucleídos causado alta absorción de radionucleidos. Los radionucleídos (uranio, torio, radio, polonio) se puede transferir desde el suelo a la raíz y trasladar / acumularse en varias partes de plantas como hojas, grano y el tallo. El radio (^{226}Ra) tiene mayor potencia para el desplazamiento y la acumulación en el tejido de planta con brotes (Knight, 1983)

Existen plantas que crecen en suelos fosfatados, acumulando mayor radioactividad que se va distribuir por la misma planta de diferente forma entre las raíces, el tallo y las hojas. En un estudio se concluyó que la leche tiene un mayor contenido de radio (^{226}Ra), cuando las vacas fueron alimentadas con alfalfa cultivada en arcillas fosfatados (CIOROIANU, 1997).

Una vez depositada en el tejido óseo el radio (^{226}Ra) tiene un alto potencial de causar daños biológicos a la irradiación continua del esqueleto humano durante años y puede inducir sarcoma óseo. (Kumar. S, 1986). La radiación emitida por el radio bombardea la médula ósea y destruye los tejidos que producen las células rojas de la sangre (Mahaur, 2008).

El hombre puede recibir mayor contaminación por radio (^{226}Ra) cuando ingiere alimento de origen animal, donde los animales son criados con plantas comestibles

naturales, cultivadas en suelos con aplicaciones de fertilizantes fosfatados líquidos, que cuando el animal recibe productos fosfatados como suplemento (Jimenez, 2002).

Se prevén efectos radiológicos perjudiciales para la salud debido al consumo de agua si ésta contiene concentraciones de radionucleidos mayores que los niveles de referencia, equivalentes a una dosis efectiva comprometida mayor que 0,1 mSv/año (WHO., 2008).

Durante la manipulación, envasado y transporte de los fertilizantes, algunos trabajadores pueden recibir la exposición a dosis de hasta 0.8 mGy. h⁻¹ (Abbady, 2005)

Por eso es importante medir la radioactividad natural en fertilizantes y subproductos, debido a que el alto contenido radioactivo puede dar lugar a una exposición significativa de los mineros, fabricantes y los usuarios finales. (Alharbi, 2012). Es de gran importancia realizar estudios que determinen la cantidad de ²²⁶Ra presentes en los fertilizantes que son utilizados en las cosechas de diferentes tipos de alimentos que luego serán consumidos por el ser humano.

Tabla 1 Afinidad biológica de algunos elementos radioactivos en los órganos internos.

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

Fuente: Observatorio de Energía a Catalunya.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General.

Detección de la concentración de Radio-226 en Abonos Orgánicos e Inorgánicos en la Ciudad de Cuenca, Ecuador.

1.4.2 Objetivo Específicos.

- Seleccionar muestras estadísticamente representativas de los abonos orgánicos e inorgánicos de la ciudad de Cuenca.
- Determinar los niveles de concentración de radio (^{226}Ra) de las muestras seleccionadas.

2 Fundamentación Teórica.

2.1 Radiactividad.

Al inicio del siglo XX, existieron grandes descubrimientos como los rayos X en 1895, la radiactividad en 1896 por Becquerel, la postulación de la naturaleza corpuscular de los rayos catódicos en 1897 por J.Thompson, etc. La radiactividad fue descubierta como consecuencia directa de los rayos X, y desde ese entonces los conocimientos sobre sus efectos han ido avanzando. La utilización de las radiaciones en medicina, con fines terapéuticos o de diagnóstico, constituye sin duda uno de los aspectos más destacados del beneficio que éstas suponen para la humanidad, pero en su desarrollo también se causaron exposiciones a los pacientes, que en la actualidad serían injustificables, provocando en ciertos casos el desarrollo de daños atribuibles a la radiación recibida (Gallego, 2010)

La Radiactividad es un fenómeno natural por el que un núcleo atómico emite uno o varios tipos de partículas, transmutándose a un estado menor de energía. Los tipos más frecuentes son las conocidas: Alfa, Beta, y Gamma, así como la fisión y emisión de nucleones (Soria, 2007).

La radioactividad es el proceso de la desintegración espontánea y transformación de los núcleos atómicos inestables acompañado de la emisión de partículas nucleares o radiación electromagnética (Annunziata, 2007)

2.1.1 Radiactividad natural.

La radiactividad es un fenómeno natural, existe independientemente de la acción humana y se encuentra extendida prácticamente por todos los lugares de nuestro planeta. Esto constituye lo que hoy se denomina radiactividad natural. La radiactividad no es más que la emisión espontánea de partículas por los núcleos atómicos (Nuñez, 2004).

Se encuentra ampliamente extendida en el medio ambiente terrestre y existe en diferentes formaciones geológicas, suelos, rocas, plantas, el agua, el aire y en los materiales de construcción (Ramasoy et al., 2004 y Rati et al., 2010) (V. Ramasamy, 2009).

A partir de los materiales terrestres los seres humanos construyen estructuras, por ello los materiales de construcción presentan radiactividad y al igual realizar casas, edificios puentes; estos presentarán radiactividad. El hombre al consumir alimentos y al respirar el aire está permitiendo que ingrese radiactividad a su cuerpo debido que estos elementos son radiactivos.

Las sustancias radiactivas emiten continuamente partículas alfa, beta y fotones gamma, las cuales por hallarse dotadas de una energía pueden atravesar la materia, incluida los tejidos vivos, produciendo un deterioro de mismo, que puede ocasionar ciertos trastornos y eventualmente la muerte del individuo.

Los miembros de las cadenas de desintegración radiactiva de torio (^{232}Th) (14%), uranio (^{235}U) y uranio (^{238}U) (55,8%), además de potasio (^{40}K) (13,8%) son los responsables de las principales contribuciones a la dosis de radiación natural. En la serie de uranio, el segmento de cadena de desintegración a partir del radio (^{226}Ra) es radiológicamente el más importante y, por lo tanto, se hace a menudo referencia a radio en lugar de al uranio. (L.Bruzzi, 1999)

La radioactividad terrestre y la exposición debida a la radiación gamma dependen principalmente de las condiciones geológicas y aparecen en diferentes cantidades en los suelos de cada región del mundo (Akhtar, 2006). La radioactividad natural se divide en radiación cósmica, radionucleidoscosmogénicos y la radiación terrestre (Picon, 2007).

1) Radiación Cósmica.- Se origina en el espacio exterior, es una radiación de alta energía 2000 Megaelectrovoltio (MeV) que se ha comprobado su capacidad de penetración hasta más de un kilómetro bajo la superficie de la tierra. La radiación cósmica varía con la altura sobre el nivel del mar y la latitud, por ejemplo, la dosis a nivel del mar es de 0.03 $\mu\text{Sv/hora}$, y a los 2000 metros sube a 0.1 $\mu\text{Sv/hora}$ es decir a mayor altura mayor exposición.

2) Radionucleidoscosmogénicos.- Se forma por la interacción entre la radiación cósmica, la atmosfera y las aguas naturales, (los más importantes son el Carbono14, Berilio7 y 10, Sodio22 y Tritio).

3) Radiación Terrestre.- Proveniente de los elementos radiactivos presentes en las aguas y corteza terrestre desde la formación del planeta (series o familias radiactivas del Uranio, Torio y Actinio que en total suman unos 42 radionucleídos) además de 18 radionucleídos que decaen por una sola etapa como el potasio (^{40}K). Cabe destacar que todos ellos tienen un período de semidesintegración mayor a 100 millones de años por lo que son llamados primordiales.

Una radiación interna proveniente de los elementos radiactivos que se fijan y permanecen en nuestro organismo como potasio (^{40}K), radio (^{226}Ra), carbono (^{14}C), y Uranio (^{238}U), no son radiaciones con valores constantes por lo tanto la exposición va a depender del lugar, alimentos que se consumen, tipo de vivienda, y en el caso de radiación interna el paseo de la persona.

Otra fuente importante de radiación natural es la exposición debida a los productos de decaimiento de las series radiactivas como la del uranio (^{238}U), que tiene entre sus “hijos” radiactivos al radio (^{226}Ra) y al radón (^{222}Rn) que por ser un gas está permanentemente emanando de la corteza terrestre y de los materiales de construcción de nuestros hogares y edificios.

Tabla 2 Dosis debido a fuentes naturales.

Dosis debida a Fuentes Naturales de Radiación.		
Fuente.	Dosis Media Mundial. Dosis efectiva (mSv/año)	Rango Típico Dosis efectiva (mSv/año)
Exposición Externa.		
Rayos Cósmicos.	0,4	0,3-10
Rayos Gamma Terrestres.	0,5	0,3-10
Exposición Interna		
Inhalación.	1,2	0,2-10
Ingestión.	0,3	0,2-0,8
Total.	2,4	1-10
Fuente: (UNSCEAR)		

El Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) estima regularmente las dosis debidas a las fuentes naturales, y da un valor mundial medio de 2,4 mSv para un habitante adulto (Tabla 1).

Por último, con los alimentos y bebidas también ingerimos radionucleidos naturales, destacando el uranio y sus descendientes y sobre todo el potasio (^{40}K), del que el organismo humano es portador de una cantidad suficiente como para que cada hora se desintegren en él unos 15.000.000 de átomos. Algunas aguas minerales, procedentes de macizos graníticos ricos en uranio y ciertos alimentos como el marisco, son especialmente ricos en material radiactivo natural. Esta contribución viene a suponer el 12% de la dosis media mundial (ICRP, 1996).

2.1.2 Radiactividad artificial.

Fue descubierta por la pareja de físicos y químicos Jean Frédéric Joliot-Curie e Irène Joliot-Curie al bombardear núcleos de boro y aluminio con partículas alfa α . La radiactividad artificial se produce cuando se bombardean ciertos núcleos estables con partículas apropiadas, la energía de éstas tiene un valor adecuado penetrando dentro del núcleo bombardeado y forman uno nuevo que, si es inestable se desintegra después radioactivamente.

2.1.3 Ley de desintegración radiactiva.

Existen nucleídos inestables cuya inestabilidad se manifiesta por la emisión de partículas o fotones. La radiactividad es una propiedad nuclear, donde el átomo va hacer radiactivo si lo es su núcleo. Cualquier molécula que contenga un núcleo radiactivo, será asimismo radiactivo, por lo tanto cuando se habla de átomos o sustancia radiactivas, se entiende que la radiactividad es la del núcleo, por ejemplo todos los compuestos naturales y artificiales que contengan uranio serán radiactivos. A consecuencia de este proceso radiactivo los átomos de la sustancia van desapareciendo y convirtiéndose en los átomos de sus descendientes, un ejemplo es el de ^{238}U , donde los átomos de esta sustancia, tras la emisión de una partícula alfa, se transforma en su descendiente el torio (^{234}Th) (Ruipérez, 1980).

La velocidad en la que transcurre la desintegración radiactiva se denomina actividad evidentemente como la ley de variación del número de átomos desintegrados en función del tiempo.

Cuando un nucleído emite un solo tipo de radiación (partículas alfa), entonces la actividad coincide numéricamente con la velocidad de emisión de partículas, aunque existen casos en donde durante la desintegración de un nucleído pueden emitir más de una partícula.

No hay manera de predecir cuándo se desintegrara un átomo determinado de cierto elemento radiactivo. Puede expulsar una partícula alfa o una partícula beta dentro de unos pocos segundos, o puede permanecer estable por un tiempo muy largo (Picon, 2007).

2.1.3.1 Tipos de decaimiento.

- Decaimiento alfa (α).

En un intento por reducir la repulsión, se forma un núcleo de Helio y luego se emite. La forma en que funciona es que los núcleos de Helio están en constante colisión con las paredes del núcleo (Ferbel, 2003).

La alta masa y carga de partículas alfa, en relación con otras formas de radiación nuclear, le dan mayor poder de ionización, pero una menor capacidad de penetrar la materia. En el aire las partículas alfa pueden viajar a solo unos pocos centímetros, este corto recorrido depende de la energía inicial de la partícula (Annunziata, 2007).

- Decaimiento beta (β).

La radiación β consiste en partículas cargadas negativamente. A diferencia de las partículas α , las partículas β tenían un espectro continuo de velocidades muy altas (Ferbel, 2003).

Otras mediciones revelaron que las partículas β tenían rangos más largos y eran menos ionizantes que las partículas α . La desintegración beta ocurre en núcleos que tienen demasiados neutrones o muy pocos neutrones para la estabilidad (Fathiya, 2012).

- Decaimiento gamma (γ).

La radiación gamma es una radiación electromagnética que es emitida por un núcleo inestable de un átomo durante la desintegración radiactiva. Un núcleo en un estado inestable puede caer a un estado más estable por la emisión de energía como radiación gamma. A diferencia de la desintegración α o de la desintegración β , ni el número de masa A ni el número atómico Z cambian durante la desintegración γ . Debido a que este tipo de desexcitación es electromagnética, esperamos que los tiempos de vida de tales procesos sean muy pequeños (unos 10⁻¹⁶ segundos) (Serway, 2004)

2.1.4 Incorporación de radionucleidos al organismo humano.

Las principales vías de entrada son la inhalación de partículas radiactivas en suspensión, la ingestión de sustancias contaminadas (alimentos o agua). La entrada de material radiactivo al organismo es de dos tipos: (ICRP100, 2006)

- Directa: Al órgano de transferencia (Sangre) a través de la piel o heridas.
- Indirectas. Hasta el órgano de transferencia a través de las vías respiratorias (inhalación) y del trato gastrointestinal (ingestión de alimentos y agua).

Una vez que el material radiactivo se encuentra en el cuerpo el comportamiento de transferencia (sangre y linfa), se distribuye por todo el cuerpo pudiéndose fijarse en órganos que presentan gran afinidad (tiroides, hueso, hígado).

2.1.4.1 Magnitudes y límites de aplicación utilizados en Dosimetría Interna.

En protección radiológica, se introduce el concepto de dosis como la cantidad de radiación a la que un objeto (cuerpo humano), es expuesto. Ahora bien, desde el punto de vista de la inducción de efectos, lo que importa en realidad es la cantidad de energía que el objeto expuesto absorbe como de radiación. Esa energía es la causante de los efectos finales que puedan detectarse a causa de la exposición (CSN, 2013).

La magnitud fundamental en dosimetría de radiaciones es la dosis absorbida que se define precisamente como la energía por unidad de masa, esto independiente de que se trate de exposición interna o externa o del tejido u órgano irradiado.

2.2 Efectos radiológicos.

Los primeros efectos fueron las lesiones debidas a la exposición excesiva de la radiación, entre los primeros radiólogos, que todavía no eran conscientes de sus riesgos (Brown, 1993) Se notaron lesiones en las manos de quienes trabajaban con los primeros equipos de radiología, posterior a esto surgió los primeros casos de canceres atribuidos a la radiación (Stone, 1959)

Las exposiciones de las radiaciones pueden dañar los organismos vivos, ocasionando diferentes tipos de alteraciones en función del tipo de radiación, de la dosis, del tiempo de exposición, y de la sensibilidad del receptor. Los efectos biológicos debido a las radiaciones ionizantes provocan cambios sucesivos a nivel molecular, celular, tisular, e incluso a nivel global del organismo (NAS-NRC, 2006).

El daño se ocasiona fundamentalmente en el ADN, que se encuentra en el núcleo celular y es encargado de transmitir la información que pasa de una célula a otra, los más

preocupantes son los que afectan a las células madre. Las formas más comunes de radiación ionizante son las partículas alfa y beta, o gamma y rayos X (UNSCREAR, 2008.)

Los efectos perjudiciales producidos por dosis altas de radiación, que pueden llegar a producir la muerte de los individuos expuestos se denominan efectos deterministas, en razón de la relación de causa-efecto bien definida entre la dosis recibida y los efectos clínicos.

La radiactividad se mide en unidades de Becquerel (Bq), donde 1 Bq es igual a 1 evento de emisión de radiación por segundo. Un viejo y todavía popular unidad de medición de la radiactividad es el Curie (Ci) donde $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$. Obviamente, una Curie es una gran cantidad de radiactividad, comúnmente utilizada subunidades (es decir, μCi , nCi y pCi) (Fathiya, 2012).

La exposición alfa, beta y rayos gamma se expresa a menudo en unidades de Roentgen (R) que se refiere a la cantidad de ionización presente en el aire. Roentgen fue definido por última vez por el Instituto de Normas y Tecnología de Estados Unidos con el valor de $2.58 \times 10^{-4} \text{ G/Kg}$ (UNSCEAR, 2000).

Cuando la radiación ionizante interactúa con el cuerpo humano, da su energía a los tejidos del cuerpo. La cantidad de energía absorbida por unidad de peso del órgano o tejido se denomina dosis absorbida y se expresa en unidades de Gray (Gy). La dosis de radiación se expresa como dosis equivalente en unidades de sievert (Sv), es decir la dosis en Sv es igual a la dosis absorbida multiplicada por un factor de ponderación de la radiación (Ehman W., 1993, Ralph E.L. et al, 1972).

La dosis efectiva es una medida en que se tiene en cuenta el tipo de radiación y la sensibilidad de los tejidos y órganos. Algunos órganos son más sensibles a la radiación que otros. (Ehman, 1993)

2.2.1 Naturaleza y mecanismos de los efectos biológicos de la radiación Ionizante

2.2.1.1 Deposición de energía.

La radiación ionizante es capaz de depositar suficiente energía localizada para arrancar electrones de los átomos con los que interactúa. La distribución espacial de los fenómenos ionizantes depende del factor de ponderación radiológica w_R de la radiación.

2.2.1.2 Efectos sobre el ADN.

Cualquier molécula de la célula puede ser alterada por la radiación, pero el ADN es el blanco biológico más crítico, debido a la redundancia limitada de la información genética que contiene. Una dosis absorbida de radiación bastante grande para matar la célula media en división —2 gray (Gy) — basta para originar centenares de lesiones en sus moléculas de ADN (Ward, 1988)

La mayoría de estas lesiones son reparables, pero las producidas por una radiación ionizante concentrada (por ejemplo, un protón o una partícula alfa) son en general menos reparables que las generadas por una radiación ionizante dispersada (por ejemplo, un rayo X o un rayo gamma) (Goodhead 1988). Por lo tanto, las radiaciones ionizantes concentradas (alta TLE) tienen por lo común un mayor efecto biológico relativo (EBR) que las radiaciones ionizantes dispersadas (baja TLE) en casi todas las formas de lesión (CIPR, 1984)

2.2.1.3 Efectos sobre los genes.

El daño del ADN que queda sin reparar puede manifestarse en forma de mutaciones, cuya frecuencia parece aumentar como función lineal ((NRC), 1990).

El hecho de que la tasa de mutaciones parezca ser proporcional a la dosis se considera indicativo de que una sola partícula ionizante que atraviesa el ADN es suficiente, en principio, para causar una mutación.

2.2.1.4 Efectos sobre los cromosomas.

Producen cambio en el número y la estructura de los cromosomas, modificaciones cuya frecuencia se ha observado que aumenta con la dosis en trabajadores expuestos. La relación dosis-respuesta para las aberraciones cromosómicas en linfocitos de sangre humano se ha determinado con bastante exactitud de manera que la frecuencia de aberraciones en esas células puede servir de dosímetro biológico útil (OIEA, 1986).

2.2.1.5 Efectos sobre la supervivencia celular.

Entre las reacciones más tempranas a la irradiación figura la inhibición de la división celular, que aparece en seguida tras la exposición, aunque su grado y duración varían con la dosis. La lesión radiológica de genes y cromosomas puede ser letal para las células de división, que en conjunto son muy sensibles a la radiación.

2.2.1.6 Efectos sobre los tejidos.

Las células maduras que no están en división son relativamente radioresistentes, pero las que se dividen dentro de un tejido son radio sensibles, por lo que la irradiación intensiva pueda matar un número suficiente para que el tejido se atrofie.

2.2.2 Manifestaciones clínicas de la lesión.

Los efectos de la radiación abarcan una amplia variedad de reacciones, varían de modo notable en su relación dosis-respuesta, manifestaciones clínicas, cronología y pronóstico (Mettler, 1995). Los efectos suelen dividirse en dos grupos (1) efectos heredables, que se manifiesta en los descendientes de los individuos expuestos y (2) efectos somáticos, que se manifiestan en los propios individuos expuestos.

2.2.2.1 Efectos agudos.

Tienen su origen sobre todo a la depleción de células progenitoras en los tejidos afectados y solo puede inducirse por dosis bastante grandes para matar muchas de estas células. Por este motivo, tales efectos se consideran de naturaleza no estocástica, o determinista ((NRC), 1990) en contraste con los efectos mutágenos y cancerígenos de la radiación, que se consideran fenómenos estocásticos resultantes de alteraciones moleculares aleatorias en células individuales que aumentan como funciones lineales, sin umbral, de la dosis (CIPR, 1984).

Una exposición amplia de las lesiones por radiación escapa al ámbito de esta revisión, pero las reacciones agudas de los tejidos más radio sensibles son de interés general, por lo que se describen brevemente en las secciones siguientes.

- Piel. Las células de la capa germinal de la epidermis son muy sensibles a la radiación, en consecuencia, la rápida exposición de la piel a una dosis de 6 Sv o más provoca enrojecimiento de la zona expuesta, que aparece dentro del primer día. Si la dosis supera los 10 a 20 Sv, en dos o cuatro semanas puede surgir ampollas, necrosis y ulceración seguidas de fibrosis de la dermis y los vasos subyacentes

- **Medula Ósea y Tejido linfoide.** Una dosis de 2 a 3 Sv irradiada en poco tiempo a todo el cuerpo puede destruir un número suficiente de ellos para que disminuya el recuento de linfocitos periféricos y la respuesta inmunitaria se deteriore en pocas horas. Si la dosis es mayor, estas disminuciones del recuento de granulocitos y plaquetas pueden ser lo bastante graves como para originar hemorragia o una infección mortal (Tabla 3).
- **Intestino.** La denudación de una superficie grande de la mucosa puede dar lugar a un síndrome fulminante similar a la disentería que causa rápidamente la muerte.
- **Gónadas.** Los espermatozoides maduros pueden sobrevivir a dosis grandes (100 Sv), pero los espermatogonios son tan radio sensibles que una dosis de 2 a 4 Sv pueden provocar esterilidad permanente. Una dosis rápida de 1,5 a 2,0 Sv aplicada a ambos ovarios origina esterilidad temporal, y una dosis mayor, esterilidad permanente, en función de la edad de la mujer en el momento de la exposición (CIPR, 1984)
- **Aparato Respiratorio.** Una dosis de 6 a 10 Sv puede hacer que en la zona expuesta se desarrolla neumonía aguda en el plazo de uno a tres meses. Si se afecta en gran cantidad puede causar insuficiencia respiratoria al cabo de unas semanas o también puede provocar fibrosis pulmonar (CIPR, 1984)
- **Lesión radiológica de todo el cuerpo.** La exposición rápida de una parte importante del cuerpo a una dosis superior a 1 Gy puede producir el síndrome de radiación agudo, que comprende: (1) una fase inicial prodrómica, caracterizada por malestar general, anorexia, náuseas y vómitos, (2) seguida de un período latente, (3) una segunda fase (principal) de enfermedad y (4) por último, la recuperación o la

muerte. La fase principal de la enfermedad adopta por lo general una de las formas siguientes, según la localización predominante de la lesión radiológica: (1) hematológica, (2) gastrointestinal, (3) cerebral o (4) pulmonar.

Tabla 3 Características principales del síndrome de radiación agudo.

Tiempo desde la irradiación.	Forma Cerebral (>50 Gy).	Forma gastrointestinal (10-20 Gy)	Forma hematopoyética (2-10 Gy)	Forma Pulmonar (>6 Gy a pulmones).
Primer día.	Nauseas, vómitos, diarreas, convulsiones, coma, muerte.	Nauseas, vómitos, diarrea.	Nauseas, vómitos, diarrea.	Nauseas, vómitos.
Segunda semana.		Nauseas, vómitos, diarrea, fiebre, eritema, postración, muerte.		
Tercera-Sexta semana.			Debilidad, vómitos, diarrea, fiebre, epilación.	
Segundo a Octavo meses.				Tos, fiebre, dolor, fallo respiratorio.

Fuente: CIPR, 1984

2.2.2.2 Efectos cancerígenos

Apareció al principio de este siglo, cuando se dieron los primeros casos de cáncer a la piel y leucemia en las primeras personas que trabajaban con la radiación (Upton, 1986).

Los tumores benignos y malignos inducidos por la irradiación se caracterizan

porque tardan años o decenios en manifestarse y no presentan ningún rasgo conocido que permita distinguirlos de los producidos por otras causas.

Es más, con pocas excepciones, su inducción sólo ha podido detectarse después de dosis equivalentes relativamente grandes (0,5 Sv), y ha variado con el tipo de neoplasia, así como con la edad y sexo de las personas expuestas (NAS-NRC, 2006).

2.2.3 Relación Dosis-Efecto

Con respecto a la relación dosis-efecto, en riesgos atribuibles a una irradiación de bajo nivel solo pueden estimarse por extrapolaciones, basadas en modelos que incorporan hipótesis sobre dichos parámetros. Existen los efectos somáticos y efectos genéticos (Nuñez, 2004).

La dosis absorbida es la cantidad dosimétrica fundamental de la radiación ionizante, es la energía que la radiación ionizante imparte a la materia por unidad de masa. (Ferrer, 2006)

La dosis equivalente permite medir los efectos de la radiación sobre los seres vivos, dado que, cada tipo de radiación produce efectos biológicos diferentes y la probabilidad de destrucción de las células es distinta por cada radiación (alfa, beta o gamma). (Ferrer, 2006)

La dosis efectiva se define como la media ponderada de la dosis equivalente recibida en distintos órganos, cuando la radiación es depositada en un órgano o tejido. El daño biológico que la radiación producirá en un órgano o tejido, depende de la sensibilidad para absorción de la sustancia radioactiva por parte del órgano del cuerpo (Ferrer, 2006).

Tabla 4 Límites máximos de dosis efectiva por radionucleidos.

Radionúclido	Límite máximo dosis efectiva (μSV)
U-235	13.04
Cs-134	3.52
I-131	1.22
Ra-226	25.9

Fuente: EPA, 2011

Tabla 5 Limite de actividad alfa y beta total.

Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido (NORMA INEN)	Límite máximo permitido (OMS)
Radiación total α	Bq/l	0.1*	0.5
Radiación total β	Bq/l	1.0**	1.0

*Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ^{210}Po , ^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{234}U , ^{238}U , ^{239}Pu

** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ^{60}Co , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{129}I , ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs

Fuente: Norma INEN, 2011 y OMS, 2008

2.2.3.1 Efectos somáticos.

En los efectos somáticos, están involucrados las células diploides, al momento de absorber la radiación se puede clasificar en efecto determinísticos o efecto no determinísticos.

Los efectos determinísticos están relacionados con dosis altas sobre porciones grandes del cuerpo. Se pueden presentar los efectos de forma inmediata donde ocurren en el primer año después de la exposición, están relacionados con el número de células muertas, o se pueden presentar efectos tardíos, ocurren después del año de exposición, y están

relacionadas con el daño inicial producido por la dosis y el deterioro debido a los mecánicos de reparación. Los efectos no determinísticos ocurren a niveles bajos de exposición a la radiación, el daño será estocástico (es decir efectos que pueden aparecer, pero no lo hacen necesariamente).

2.2.3.2 Efectos genéticos.

Describen las alteraciones genotípicas hereditarias, resultantes de mutaciones en los genes o cromosomas de células germinales. Los efectos genéticos involucran primariamente las células germinales haploides. Además tienen una similitud en cuanto a la relación dosis-efecto con los efectos estocásticos. En cuanto la afección individual, el efecto es estocástico o incierto y solo puede ser definido como el riesgo asociado a la dosis.

2.2.4 Efectos causados por las partículas alfa.

La contaminación radioactiva alfa está determinada por la concentración de radionucleídos emisores alfa. Las partículas alfa, son partículas muy pesadas, núcleos de helio formados por dos protones y dos neutrones. Estas partículas al ser incorporadas por contaminación interna traen riesgos graves a nivel celular, interactuando rápidamente con las moléculas del medio (Guevara, 2015).

La fisiología y metabolismo de las plantas se ven alterados por el uso de diferentes fertilizantes en términos de la absorción de diferentes elementos y de radionucleídos. El uso de fertilizantes en el suelo puede causar un aumento en el contenido de radionucleídos, por ejemplo el uranio, torio, radio, polonio puede ser transferido desde el suelo a la raíz y se acumulan en diferentes partes de la planta como las hojas, granos y el tallo. De los

radionucleídos mencionados, el radio (^{226}Ra) tiene mayor potencial para la traslocación y acumulación en el tejido de la planta con brotes (Knight, 1983).

La contaminación radioactiva viene dada por un fenómeno físico, particular del núcleo atómico producido por transmutación o desexcitación a un estado menor de energía emitiendo uno o varios tipos de partículas, transformándose en otro diferente al original. Las partículas emitidas como producto de la desintegración radioactiva del núcleo atómico son alfa, beta o gamma (Ferrer, 2006).

Dentro del cuerpo humano cada forma de radiación interactúa de manera diferente y con ello pueden traer consigo problemas de desarrollo, defectos de nacimiento no hereditarios, efectos genéticos, que podrían ser heredados por las generaciones futuras y varios tipos de cáncer. Todos los radionucleídos son considerados como agentes causantes de cáncer (AWWA., 2010). Por ejemplo el efecto adverso principal del uranio es la toxicidad en los riñones humanos.

Los tres isótopos de radio de preocupación son el radio (^{224}Ra), radio (^{226}Ra), radio (^{228}Ra), estos pueden generar partículas alfa y beta. La vida media del ^{226}Ra se mide en años. Como se ha venido mencionando el radio químicamente es similar al calcio, al ser ingerido un 80% del porcentaje absorbido se retiene en los huesos y el porcentaje restante comprende como depósito en otros órganos, la eliminación es a través de la orina y heces fecales. Los efectos a la salud derivados de la presencia de este radioisótopo en el cuerpo humano se manifiestan en orden de importancia, como desarrollo de cáncer de hueso, cáncer en los senos paranasales, mielomas múltiples y daños en los huesos (K. Eckerman, 2012).

De los tres isotopos naturales del potasio presentes en la naturaleza solamente el ^{40}K es radioactivo, tiene un tiempo de vida media de 1.28×10^9 año. Es la principal fuente de dosis interna en el cuerpo humano, principalmente en el tejido muscular y gónadas, sin embargo, como la absorción del Potasio elemental por el cuerpo humano está bajo un estricto control homeostático, no es influenciado por variaciones en los niveles ambientales, razón por la cual este radioisótopo no se considera específicamente en las recomendaciones (DÁVILA R., 2001).

2.3 Fertilizantes.

El fertilizante es cualquier sustancia orgánica o inorgánica, natural o sintética que aporta a las plantas uno o varios elementos químicos como nutrientes indispensables en su desarrollo normal. Su demanda de uso a lo largo del tiempo ha aumentado de una forma considerable con el fin de suplir alimento a la población. Estudios realizados en diversas partes del mundo revelan la presencia de radio (^{226}Ra) en fertilizantes fosfatados, el fertilizante hoy en día tiene una gran demanda mundial, lo cual hace que el radio sea considerado como contaminante radiactivo al medio ambiente.

El uso de fertilizantes comenzó hace más de un siglo, y está basado en el concepto químico de la nutrición de las plantas, este uso ha influido ampliamente en el incremento de la producción agrícola y el mejoramiento de la calidad de alimentos. Un efecto benéfico del uso de los fertilizantes ha sido su contribución en la estabilización de los rendimientos de cultivo (Tabla 2), induciendo resistencia a ciertas enfermedades, plagas o estrés climático. Además, las tasas de retorno del capital invertido a los sistemas de producción se han incrementado con base a una producción más eficaz (FINCK, 1985).

Las últimas predicciones de FAO (Food and Agriculture Organization), indican que para el año 2050, la población mundial será de 9.100 millones, esto conlleva a un aumento en la producción en los cultivos. Los fertilizantes aumentan los rendimientos de los cultivos.

Los propósitos del uso de los fertilizantes, especialmente para obtener un incremento de los rendimientos, son casi iguales en los climas tropicales como en climas templados

- Suplementar los nutrientes del suelo para satisfacer la demanda de los cultivos con alto potencial de rendimiento.
- Compensar los nutrientes perdidos por lixiviación o remoción por la planta.
- Mantener buenas condiciones para el cultivo.

Tabla 6 Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos.

Efecto en el Rendimiento de diversos Cultivos en Estados Unidos sin aplicación de N como fertilizante.			
Cultivo	Rendimiento Estimado Con nitrógeno.	Rendimiento Estimado sin nitrógeno.	Reducción a partir de no aplicar el N(%)
Maíz.	7,65	4,52	41
Algodón.	0,76	0,48	37
Arroz.	6,16	4,48	27
Cebada.	2,53	2,04	19
Trigo.	2,15	1,81	16
Soya.	2,28	2,28	0

Fuente: FAO

Los fertilizantes son entonces, las sustancias que suplementan nutrientes para las plantas o mejoran la fertilidad del suelo, a través de ellos se incrementan los rendimientos

de los cultivos y así mejorará la calidad de los alimentos que serán consumidos por los seres humanos, con ellos existirán el alimento disponible para abastecer a la población.

- Los fertilizantes orgánicos son nombrados propiamente abonos orgánicos, ya que no solo actúan como fertilizantes al suministrarle nutrientes a los suelos, sino que, además, actúan como mejoradores de las propiedades físicas de estos.
- Los fertilizantes inorgánicos contienen uno o más nutrientes, que están contenidos en forma concentrada y fácilmente soluble. Casi la totalidad de ellos contienen una cierta cantidad de nutrientes secundarios, como por ejemplo: sulfatos, cloruros, calcio, etc., que en parte favorecen también al crecimiento de la planta.

Para la obtención de los fertilizantes se parte de materiales que contienen nitrógeno, fósforo y potasio. Generalmente el nitrógeno se deriva de una base de material de amonio, el fósforo se obtiene de la roca fosfórica y el potasio se obtiene de la potasa. El fosfato contiene concentraciones substanciales de uranio y sus productos de decaimiento. La porción de nitrógeno contiene radiactividad despreciable (Guimond, 1990)

Aunque la roca fosfórica tiene muchas aplicaciones el 85% se utiliza a nivel mundial en la producción de fertilizantes, incluyendo aquellos que se aplican directamente en el suelo. Algunos radionucleidos presentes en la roca fosfórica como es el caso del ^{226}Ra presentan gran interés debido a su vida media (1622 años), a la radiotoxicidad y a su relativa movilidad física y biológica (Josh, 1983).

El uso de fertilizantes se ha vuelto indispensable debido a la baja fertilidad de la mayoría de los suelos para altos rendimientos y la buena calidad que se esperan en la

actualidad, por lo que hacer un uso adecuada de ellos es importante para una agricultura sostenible.

2.3.1 Papel de los elementos nutritivos.

Los elementos nutritivos juegan un papel específico en la nutrición vegetal. El oxígeno, el carbono, el hidrógeno, el nitrógeno, el fósforo y el azufre son los constituyentes básicos de los tejidos vegetales y participan en las reacciones bioquímicas básicas del metabolismo. El fósforo es un constituyente esencial del ATP (Adenosín Trifosfato), y está ligado a los procesos de intercambio de energía. Los cationes, calcio, potasio y magnesio, regulan los potenciales osmóticos, la permeabilidad de las membranas celulares y la conductividad eléctrica de los jugos vegetales. Por su parte, los micronutrientes son catalizadores de numerosas reacciones del metabolismo vegetal. (Juan Jose Lucena Marrota, 2009)

Carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), que en su mayor parte son tomados del agua y el aire y por lo tanto no se considera como nutrientes minerales y no se relacionan con la industria de los fertilizantes.

2. 3.1.1 Macronutrientes.

Nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), identificados como macronutrientes primarios, por ser absorbidos en altas cantidades por las plantas y frecuentemente se requiere su aplicación como fertilizante (NPFI, 1988).

Calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), llamados macronutrientes secundarios porque aunque se requieren en cantidades relativamente altas por las plantas, sus

deficiencias intrínsecas son poco frecuentes y su aplicación al suelo se debe a la necesidad de corregir problemas diferentes al de su posible deficiencia (Rodríguez, 1982).

1) El nitrógeno (factor de crecimiento y desarrollo), es uno de los constituyentes de los compuestos orgánicos de los vegetales. Interviene en la multiplicación celular y se considera factor de crecimiento; es necesario para la formación de los aminoácidos, proteínas, enzimas, etc. De modo que, el aporte del nitrógeno en cantidades óptimas conduce a la obtención de forrajes y granos con mayor contenido proteico. Además, muy recientemente se ha demostrado la relación directa del nitrógeno con el contenido en vitaminas. La deficiencia en nitrógeno afecta de manera notable al desarrollo de la planta. Se manifiesta, en primer lugar, en las hojas viejas, que se vuelven cloróticas desde la punta hasta extenderse a la totalidad a través del nervio central. Las hojas adquieren un color verde amarillento y en los casos más graves la planta se marchita y muere (fisiopatía provocada en las plantas por falta de clorofila, que precisa cuatro átomos de nitrógeno para cada molécula) (Arevalo, 2009).

2) El fósforo (factor de precocidad) estimula el desarrollo de las raíces y favorece la floración y cuajado de los frutos, interviniendo en el transporte, almacenamiento y transferencia de energía, además de formar parte de fosfolípidos, enzimas, etc. Es considerado factor de precocidad, ya que activa el desarrollo inicial de los cultivos y favorece la maduración. La carencia de fósforo conduce a un desarrollo débil del vegetal, tanto de su parte aérea como del sistema radicular. Las hojas se hacen más delgadas, erectas, con nerviaciones menos pronunciadas y presentan un color azul verdoso oscuro, pudiendo incluso llegar a caer de forma prematura (Arevalo, 2009).

3) El potasio (factor de calidad) en la planta el potasio es muy móvil y juega un papel múltiple. Mejora la actividad fotosintética; aumenta la resistencia de la planta a la sequía, heladas y enfermedades; promueve la síntesis de lignina, favoreciendo la rigidez y estructura de las plantas; favorece la formación de glúcidos en las hojas a la vez que participa en la formación de proteínas; aumenta el tamaño y peso en los granos de cereales y en los tubérculos. La carencia de potasio provoca un retraso general en el crecimiento y un aumento de la vulnerabilidad de la planta a los posibles ataques de parásitos. Se hace notar en los órganos de reserva: semillas, frutos, tubérculos. Si la deficiencia es acusada aparecen manchas cloróticas en las hojas que, además, se curvan hacia arriba. Un correcto abonado potásico mejora la eficiencia y el aprovechamiento del abonado nitrogenado.

2.3.2 Tipos de fertilizantes.

Un fertilizante es cualquier material orgánico o inorgánico, natural o sintético capaz de proporcionar a las plantas uno o más de los elementos químicos esenciales para su normal desarrollo (IFDC-UNIDO., 1998) Existen varios tipos de fertilizantes, lo que los diferencia es su origen, es decir su composición que es la cantidad de nutrientes que contiene. En los fertilizantes simples las unidades que se consideran para el cálculo de composición son: N, P_2O_5 , K_2O , CaO, y MgO, mientras que la composición en los fertilizantes compuestos son: N, P_2O_5 y K_2O .

Para que un material conteniendo alguno de los elementos esenciales, sea capaz de proporcionarlos a la planta a través de las raíces o del follaje, se requiere que tales elementos se encuentren en una forma química susceptible de ser absorbida, es decir en forma asimilable o disponible. Las formas asimilables son desde luego las solubles en

agua, pero también lo son las solubles en ciertas soluciones acidas o alcalinas (Garcia, 2006).

En los fertilizantes nitrogenados y potásicos, su solubilidad en agua es un índice de su aprovechabilidad, sin embargo en el caso de los abonos orgánicos es preferible considerar en nitrógeno total, debido a que durante su mineralización en el suelo pasa a formas aprovechables. De igual forma existen los de lenta solubilidad o con gránulos recubiertos de sustancias semipermeables o temporalmente impermeables, que aunque la mayor parte de su nitrógeno no es inmediatamente soluble al agua, su disponibilidad es total durante un ciclo de cultivo y su eficiencia llega a superar a la de los fertilizantes de alta solubilidad, por reducir las pérdidas por lavado o volatilización.

En cuanto a los fertilizantes fosfatados, los hay desde aquellos totalmente hidrosolubles, como el fosfato monoamónico, hasta los considerados insolubles en agua, como las escorias básicas. Para evaluar su aprovechabilidad, además del fósforo soluble en agua, se mide el soluble en soluciones neutras o alcalinas de citrato de amonio, o bien en soluciones de ácido cítrico o fórmico, o aún el fósforo total, según el material considerado y las normas del país en que se emplea. Por su origen los fertilizantes se clasifican en químicos y orgánicos.

2.3.2.1 Fertilizantes químicos.

También llamados fertilizantes inorgánicos, por su estado físico se dividen en tres:

1. Sólidos: Son los de mayor demanda, su forma varía entre cristales, gránulos o polvo. En algunas ocasiones los fertilizantes sólidos o líquidos son enriquecidos con otros nutrientes además de NPK (Engelstad, 1985).

2. Líquidos: Soluciones nitrogenadas, agua amoniacal, dichas soluciones son las diluciones de los fertilizantes simples o compuestos en agua, generalmente dichas soluciones no sobrepasan las 30 unidades de fertilizantes, esto es debido a la relativa solubilidad de los fertilizantes nitrogenados y a la volatilización del nitrógeno cuando la concentración es mayor del 30% de la solución. Ejemplos: agua amoniacal 20 % de N, o la solución de urea y nitrato de amonio con 28% de N (VAN 28) (Engelstad, 1985 y Núñez, 1990).
3. Gaseoso: Amoniaco Anhídrido.

Teniendo en consideración los elementos nutritivos principales que son el nitrógeno, fósforo y potasio.

2.3.2.1.2 Fertilizantes nitrogenados.

El nitrógeno es un elemento muy móvil en el suelo y puede perderse por diferentes procesos tales como desnitrificación, lixiviación y volatilización. Las plantas absorben el nitrógeno si está en forma soluble como nitratos o amonio. Un exceso de nitrógeno produce tallos débiles, retraso en la madurez de la planta y es la causa de una menor riqueza de azúcar en la fruta (Garcia, 2006).

En algunas especies como maíz, arroz y caña de azúcar el exceso de nitrógeno produce acame; coloración verde intenso en la masa foliar y mayor cantidad de hojas de buena sanidad y calidad (Mengel, 2000).

Por otro lado si la deficiencia de nitrógeno es pequeña, el rendimiento del cultivo disminuirá, y presentaran síntomas como la clorosis (perdida de clorofila, toma un color amarillento). Los tallos pueden volverse rojizos o de color púrpura debido a una producción

excesiva de antocianinas. El desarrollo vegetativo se reduce, provocando la madurez prematura de la planta (Garcia, 2006).

En la elaboración se usa invariablemente el nitrógeno atmosférico como materia prima, donde el proceso consiste en la reacción de hidrogeno y nitrógeno elementales a altas presiones y temperaturas para generar amoniaco. Existen una serie de tipos de fertilizantes nitrogenados tales como:

1. Sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Es una sal cristalina blanca y muy soluble en agua con poca higroscopicidad, lo que facilita su almacenamiento. Debido a su ión sulfato (SO_4) presenta residuos de acidez. (IFDC-UNIDO., 1998). La concentración del nitrógeno es de 20,5 % y del azufre del 24 %, es un fertilizante adecuado para cultivos con altos requerimientos de azufre como son: papas, zanahorias (FUENTES, 1989.)
2. Nitrato de Potasio (KNO_3). Es una sal muy soluble en agua y con propiedades higroscópicas, su presentación es en forma de cristales o gránulos, su tipo de reacción es básica. (ENGELSTAD, 1985.) Se obtiene a partir del ácido nítrico, y compuestos potásicos o tratando químicamente el nitrato de sodio. La concentración del nitrógeno es del 13% y del K_2O varía entre 44 y 45 %.
3. Nitrato de Amonio. Es una sal soluble, su higroscopicidad es elevada, en estado puro posee características oxidantes. Debe tenerse en cuenta buenas condiciones de almacenaje, no exponerlo al fuego y no combinarse con sustancias orgánicas. Presenta una reacción de tipo acidificante (Rodriguez, 1982).
4. Urea $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$. Es un sólido muy higroscópico y soluble en agua, es utilizado en fertilizantes foliares. Para su manejo y aplicación se debe tomar en cuenta. Por su

alta concentración facilita el manejo y almacenamiento, las presentaciones son en polvo, gránulos y cristales, las aplicaciones al suelo se hacen con anticipación por su proceso de transformación. Es de origen animal, su obtención es a través de síntesis química, haciendo reaccionar el amoníaco con el bióxido de carbono CO_2 o anhídrido carbónico. La urea es empleada en la industria plástica y en la alimentación de los rumiantes. La urea es el fertilizante sólido de mayor concentración con 46% de nitrógeno.

2.3.2.1.2 Fertilizantes fosfóricos.

Una vez absorbido como HPO_4 y H_2PO_4 , el fósforo circula y se traslada en el vegetal como fósforo monobásico. Es de gran importancia en la división celular, la respiración, síntesis de azúcar, grasas y proteínas, la acumulación de energía (con los compuestos ATP y NADP), y la regulación del pH de las células. Este elemento se acumula principalmente en los tejidos activos (síntesis y respiración), los meristemos (puntos de división celular) y semillas y frutos (Rodríguez, 1982).

Al faltar fósforo no se produce piridoxal (B6) que es el encargado de esta reacción; por lo que puede haber mucho nitrógeno asimilable sin ser utilizado eficientemente por la planta. Bajo carencias de fósforo no se establece un equilibrio entre los azúcares y almidones acumulándose los primeros, formando una sustancia rojiza (antocianina).

Las ventajas son un mayor desarrollo radicular, crecimiento y desarrollo general de la planta, aceleración de la floración y fructificación y mayor resistencia a las condiciones climáticas adversas (Mengel, 2000). Existen una serie de tipos de fertilizantes Fosfóricos tales como:

1. Roca Fosfórica. Considerada la principal materia prima en la síntesis de los fertilizantes fosfatados, siendo la más común la fluorapatita $((Ca_3 (PO_4))_3 Ca F_2$. Es considerado aprovechable el fósforo la fracción que es hidrosoluble o bien soluble en una solución de citrato de amonio 1N a pH 7. A fin de que el fósforo de la fluorapatita sea aprovechable para las plantas, se le trata con ácido o calor (Rodríguez, 1982; Núñez, 1990). Los ácidos usados para tratar la roca fosfórica son ortofosfórico, sulfúrico, nítrico y superfosfórico.
2. Superfosfato Simple. Se elabora tratando la roca fosfórica con ácido sulfúrico, contiene alrededor de 16-20 % de P_2O_5 , 20% de calcio y 12% de azufre. La presentación es en polvo lo que dificulta su manejo. Presenta en el suelo una reacción ácida y el porcentaje de fósforo asimilable por las plantas es de 80 % (IFDC-UNIDO, 1998).
3. Superfosfato Triple. Se obtiene tratando la roca fosfórica con ácido fosfórico obtenido del proceso húmedo, la concentración es del 46% de P_2O_5 . Su presentación es granular y contiene menos del 1% de azufre derivado de impurezas del H_3PO_4 (Engelstad, 1985).
4. Fosfatos amónicos. Su obtención es a través de la momificación del ácido fosfórico o de una mezcla de ácidos fosfóricos y sulfúricos. El fosfato monoamónico es granular, se presenta en forma cristalina y se utiliza en fertirrigación (Fuentes, 1989), y el fosfato diamónico es igualmente granular. Cuando se aplica en banda al momento de la siembra, puede causar daños en la germinación (Núñez, 1990); por lo que no debe colocarse cerca de la semilla.

2.3.2.1.3 Fertilizantes Potásicos.

El potasio interviene en procesos de síntesis de azúcar y almidón, transporte de azúcares, síntesis de proteínas y estimulación enzimática (Mengel y Kirkby, 2000; Marschner, 1995). Las plantas absorben al potasio de forma catiónica K^+

Las deficiencias del potasio repercuten en los procesos metabólicos, se presenta una reducción general del crecimiento, la resistencia física es menor, al igual que la calidad del fruto, las hojas se tornan con un color amarillo en los márgenes. Dichos síntomas se presentan primero en las hojas inferiores y luego en las posteriores.

El potasio tiene su origen del material original (intemperización de las rocas), cenizas, y descomposición de los residuos orgánicos. Su principal fuente en la producción de fertilizantes son las sales minerales de los yacimientos de carnalita que contiene cloruro de potasio y de magnesio. Las sales reciben un proceso de depuración y un tratamiento químico para la fabricación de los fertilizantes (Núñez, 1990). Existen una serie de tipos de fertilizantes Potásicos tales como:

1. Sulfato de Potasio. Se obtiene a través de las sales potásicas que contiene cloruros de potasio y magnesio, primero se las depura y luego se les da un tratamiento químico con cloruro de potasio puro. La concentración de K_2O es del 50% y azufre es de 18%. Su presentación es en cristales, además aporta azufre al suelo (Engelstad, 1985). Se recomienda para cultivos como tabaco, cítricos, papas, plátano, leguminosa (Fuente, 1989).

2. Fosfato Potásico. Al contener fosforo y potasio lo hace un fertilizante compuesto, es completamente soluble en agua y su mayor consumo es en su forma de fertilizante fluido para su uso en fertirrigación . Su fórmula química es KH_2PO_4 .

2 3.2.2 Abonos Orgánicos.

Aquel que es producido con materiales de origen animal o vegetal, diferentes materiales orgánicos pueden servir para ser abono y suministros de nutrientes para la planta, pueden ser propias de la granja, es decir que los desechos que produce la granja en cualquier actividad podrían ser utilizados para la producción de un abono.

La dependencia hacia los abonos inorgánicos es muy grande en la actualidad, por eso los abonos orgánicos se presentan como una solución ante la necesidad de disminuir tanta dependencia, actualmente son usados en la agricultura ecológica, pero también ya se utiliza para cultivos intensivos. No podemos olvidar la importancia que tiene el mejorar algunas características físicas, químicas y biológicas del suelo y, en este sentido, este tipo de abonos juega un papel fundamental, como por ejemplo aumentar la capacidad que posee el suelo de proveer a las plantas los distintos nutrientes que éstas necesitan.

Esto sin lugar a dudas, es muy importante desde los puntos de vista tanto económico como ecológico por las siguientes razones (Boguslawski y Debruck, 1977; Núñez, 1981).

1. Aun en épocas de máxima producción de abonos químicos, el consumo mundial de N y P en abonos orgánicos ha superado al consumo de abonos químicos.
2. La creciente escasez y alto costo de los energéticos en el mundo restringirá la producción de abonos químicos, por lo tanto debe buscarse el aprovechamiento máximo de los orgánicos.

3. Los problemas de contaminación ambiental derivados de las plantas productoras de fertilizantes, así como del uso excesivo de abonos químicos u orgánicos.

Los abonos orgánicos muestran las siguientes ventajas sobre los químicos.

- Mayor efecto residual.
- Aumento en la capacidad de retención de humedad del suelo a través de su efecto sobre la estructura (granulación y estabilidad de agregados), porosidad y la densidad aparente.
- Formación de complejos orgánicos con los nutrientes manteniendo a estos en forma aprovechable para las plantas.
- Reducción de la erosión de los suelos, al aumentar la resistencia de los agregados a la dispersión por el impacto de las gotas de lluvia y al reducir el escurrimiento superficial.
- Incrementa la capacidad de intercambio catiónico del suelo, protegiéndolos los nutrientes de la lixiviación.
- Liberación de CO₂ que propicia la solubilización de nutrientes.
- Abastecimiento de carbono orgánico como fuente de energía a la flora microbiana y heterótrofa.

Los abonos orgánicos aportan materia orgánica, nutrimentos y microorganismos, lo cual favorece la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas sin embargo, su capacidad como fuente de nutrimentos es baja, respecto a los fertilizantes.

Para satisfacer las necesidades nutricionales de cultivos como el maíz, se requieren altas cantidades de abonos (López-Martínez, 2001) lo que implica una elevada

disponibilidad de residuos orgánicos para su elaboración y condiciones adecuadas para su almacenaje y aplicación. Los abonos orgánicos presentan las siguientes propiedades (Arevalo, 2009).

- **Propiedades Físicas.** Aumentan el poder tampón del suelo, y como consecuencia reducen las asociaciones de pH. De igual manera aumenta la capacidad de intercambio catiónico del suelo, de ésta forma aumenta la fertilidad.
- **Propiedades Biológicas.** Favorecen a la aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y mayor actividad de los microorganismos. Además constituyen una fuente de energía para los microorganismos, por lo que se multiplican rápidamente.

Existen varios tipos de abonos orgánicos tales como:

- **Bocashi.** Es un abono orgánico fermentado hecho a base de desechos vegetales y estiércol de animales. La elaboración del bocashi se basa en procesos de descomposición aeróbica (presencia de oxígeno) de los residuos y temperaturas controladas a través de poblaciones de microorganismos existentes en los residuos, que en condiciones favorables producen un material de lenta descomposición. El objetivo principal del bocashi es activar y aumentar la cantidad de microorganismos benéficos en el suelo, además de suplir nutrientes a los cultivos y alimento (materia orgánica) a los organismos del suelo (Arevalo, 2009).
- **Compost.** Resulta de la descomposición de restos orgánicos como ramas, césped, hojas, plantas cascaras de frutas, hortalizas. Como ventaja de utilizar el compost

como abono, es la regeneración de la vida microbiana de la tierra, además de mejorar las propiedades del suelo como la textura y composición química.

- Humus de Lombriz. Considerado uno de los mejores fertilizantes orgánicos, es obtenido a través de un proceso digestivo de las lombrices. En la aplicación se mezcla con la tierra, posee un pH neutro, por lo que su uso puede ser para cualquier tipo de planta.
- Otros. Pocos usados como abono orgánico de pollo, con hongos, cascarillas de arroz, etc.

2.3.3 Métodos de aplicación de los fertilizantes.

Va a depender del tipo de fertilizante, el cultivo y la época, el fertilizante se puede aplicar en banda o al voleo, donde se inyecta directamente al suelo o al tronco de árbol, asperjado al follaje o mediante al agua de riego. Dependiendo del fertilizante, se debe localizar cerca de las raíces o ponerlo en contacto con las hojas en forma de solución.

En los fertilizantes que en su composición contengan fosforo o potasio, su eficiencia aumenta si se colocan cerca de las raíces para que estas los intercepten y para reducir su fijación.

Los métodos de aplicación están muy relacionados con el aprovechamiento de los nutrientes por las plantas (Núñez, 1990).

2.3.3.1. Aplicación edáfica.

- Al voleo. Consiste en aplicar el fertilizante uniformemente sobre la superficie del suelo, ésta puede ser manual, mecánicamente con las voleadoras o aérea con avión.

Una vez aplicada el fertilizante debe incorporarse al menos con un paso de rastra para evitar pérdidas de nitrógeno por volatilización.

- En banda. Se realiza a unos 15 cm de la hilera de siembra, se puede realizar manual o mecánicamente y resulta muy eficiente pues el fertilizante se coloca cerca de las raíces de los cultivos. La aplicación de fosforo y potasio en banda o hilera ha incrementado más el rendimiento.
- Mateado. Muy utilizado para cultivos como maíz y frijol en terrenos irregulares. El fertilizante se deposita en un hueco abierto con una macana y se tapa con el pie.

2.3.3.2. Al agua de riego.

En los riegos por inundación se colocan las bolsas de fertilizantes en la salida del canal para facilitar su dilución. El amoníaco anhidro se puede inyectar directamente en el canal de riego actividad conocida como Nitrogación (Ilustración 1). En los sistemas de riego por goteo se cuenta con un depósito en el cual se diluye el fertilizante y esta solución se inyecta a los tubos de conducción. Cuando los emisores van enterrados la eficiencia se incrementa considerablemente, pues se evitan las pérdidas por volatilización, ya que los elementos nutritivos son colocados a nivel de las raíces. Bajo este sistema se puede fraccionar la aplicación del fertilizante proporcionando las cantidades requeridas de nutrimentos por el cultivo durante sus etapas de crecimiento.

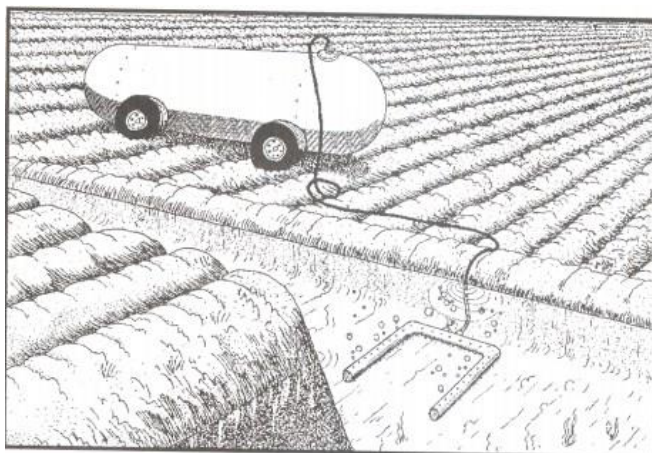


Ilustración 2 Nitrogación (aplicación de amoníaco al agua de riego).

De acuerdo con Bar-Josef, el riego y la fertilización son los factores más importantes, a través de los cuales, los productores pueden controlar el desarrollo de la planta, los rendimientos y la calidad de los frutos (BAR-YOSEF, 1999).

2.3.3.3. Aplicación foliar.

Las aplicaciones de fertilizantes foliares se realizan con la finalidad de corregir deficiencias nutrimentales que por condiciones especiales de suelo o manejo, no es práctico corregir con aplicaciones al suelo. Dependiendo del cultivo se pueden hacer manualmente con bombas de mochila, aplicaciones mecánicas con turbinas o aéreas con avión. Este tipo de aplicación se utiliza como un complemento de la fertilización edáfica. Esta aplicación es más eficaz cuanto mayor es el área foliar de la planta.



Ilustración 3, aplicación foliar de B, Mg y Zn en palma de aceite.

2.4. Radio

La radiactividad se da naturalmente en todos los elementos que tienen un número atómico mayor de 80, aunque, en algunos casos aislados, también se presenta en elementos de número más bajo: el potasio, con número atómico 19, es radiactivo. El radio, que es un metal muy denso, emite partículas alfa y se transmuta lentamente en un nuevo elemento que aparece en su lugar. Si adquiriésemos 100 gramos de radio, nuestros descendientes se encontrarían con que al cabo de unos 1600 años solamente quedaría la mitad. (Avalos, 1994)

Es una sustancia radiactiva formada a partir de la descomposición del Uranio y Torio. La exposición a niveles altos se traduce en un aumento del riesgo del hueso, hígado y cáncer de mama. Adema se ha encontrado en por lo menos en 18 de los 1177 sitios de la lista de Prioridades Nacionales identificados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 1999). El radio se puede encontrar en el aire, agua, suelo cuando lo absorben las plantas, peces y otros organismos acuáticos.

Es de origen natural y presenta un color blanco plateado, puede existir en varias formas denominadas isotopos. Pertenece al grupo de metales alcalinotérreos, es el elemento electronegativo del grupo y sus compuestos son los más iónicos. La formación del radio viene dada cuando el uranio y el torio se descomponen en el medio ambiente. El radio se ha encontrado en muy pequeñas cantidades en el suelo, el agua, rocas carbón, plantas y alimentos (Avalos, 1994).

Al desintegrarse el radio, se divide en dos partes, la primera es llamada radiación y al otro progenie. Al igual que el radio, la progenie es inestable y a su vez se divide en radiación y en otra progenie. Esta división continúa hasta que se forma una progenie estable, no radioactiva. Durante el proceso de desintegración se liberan las radiaciones alfa, beta y gamma. Las partículas alfa solamente pueden recorrer una distancia corta y no pueden penetrar la piel. Las partículas beta pueden penetrar la piel, pero no pueden atravesar el cuerpo (Avalos, 1994).

Sin embargo, la radiación gamma puede atravesar todo el cuerpo. Por consiguiente, existen varios tipos de productos que se derivan de la desintegración del radio (ATSDR, 1990).

El radio presenta varias propiedades: químicas físicas y radioquímicas (Avalos, 1994).

2.4.1 Propiedades físicas.

- El peso atómico es de 226,0254.
- El número atómico es de 88.

- El metal en estado puro tiene un color blanco brillante y en corto tiempo oscurece al exponerse al aire, probablemente debido a la formación de los nitritos.
- Punto de fusión 700 °C.
- Punto de ebullición 1700 °C.
- Densidad (20 °C.) = 5,5 g/ cm³.
- Calor latente de evaporación = 113 KJ/mol.

2.4.2 Propiedades químicas.

Debido a sus características analíticas el radio es muy similar al Bario, las sales de radio son blancas y luminiscentes bajo su propia irradiación alfa, colorean la flama al rojo carmín y en el espectro de flama, presentan bandas en tres intensidades a 676,63 nm 649,8 nm y una factible a 660 nm.

2.4.3 Propiedades radioquímicas del radio.

Actualmente se conocen 24 isotopos de radio, siendo el radio (²²⁶Ra) el isotopo de vida media más larga. Es un radionúclido emisor de partículas alfa con energías de 4,78 MEV (95%) Y 4,6 MEV (6%). Todos los isotopos de radio son radiactivos, sus números másicos están comprendidos entre 206 y 230, su periodo de desintegración varían de 0,003 a 1622 años.

La mayoría son emisores alfa M = 213-224 y 226 y otros son emisores Betas M= 225, 227-230, dando lugar a los núclidos con número atómico de 86 y 89 respectivamente y otros son emisores gamma, M = 226, los isotopos 213 y 219 dan núclidos con número atómico 87 por captura electrónica (Ivanovich., 1982).

2.4.3 Serie de desintegración.

Cada serie de desintegración incluye un número de isótopos que tienen una amplia gama de vidas medias y representar un número de elementos que tienen sustancialmente diferentes características. La concentración de cada isótopo es controlada por la del padre y la cantidad de tiempo desde el fraccionamiento entre el isótopo y su padre (Vandenhove, 2010). Existen dos puntos importantes a tener cuenta:

- En el equilibrio secular, la distribución de un isótopo hijo es controlada por la del isótopo padre, y así en última instancia, todos los isótopos de la serie serán controlados por el padre de larga vida.
- Mientras que las actividades son iguales, las abundancias molares son inversamente proporcionales a las constantes de desintegración.

Cada isótopo de radio produce una cadena de hijos que son de muy corta duración y contribuyen a la carga total de radiación de una sustancia de soporte- Para radio (^{223}Ra) y radio (^{224}Ra) los isótopos hijos tienen una muy corta vida media, de esta forma crecen rápidamente en equilibrio secular con el padre Ra. Para el radio (^{226}Ra), el producto de desintegración inmediata es el radón (^{222}Rn) gas noble, que puede desintegrarse de los materiales no remanentes (Vandenhove, 2010).

Para la obtención de los fertilizantes se parte de materiales que contienen nitrógeno, fósforo y potasio. Generalmente el nitrógeno se deriva de una base de material de amonio, el fósforo se obtiene de la roca fosfórica y el potasio se obtiene de la potasa. Algunos radionucleidos presentes en la roca fosfórica como es el caso del ^{226}Ra que presenta gran

interés debido a su vida media 1622 años a la radiotoxicidad y a su relativa movilidad física biológica (Josh, 1983).

Los fertilizantes fosfatados son usados en grandes cantidades alrededor del mundo, dado que son esenciales para la producción de alimentos, la fuente natural del fósforo para uso agrícola es la roca fosforada asociada a la roca caliza unida a pizarra marina (Einsensbud y Gessell 1997).

Grandes concentraciones de radionucleidos naturales presentes en los fertilizantes fosfatados contaminan el medio ambiente y las tierras agrícolas durante el cultivo (IAEA, Measurement of radionuclides in food and the environment. A guidebook. Vienna, 1989).

La presencia de radiactividad en los órganos vegetales ha sido revisado por varios trabajadores. Existen dos vías principales para la exposición humana a la contaminación del suelo: suelo-planta-humano (vía cadena alimentaria) y el suelo-humano (ingestión de suelo incidental) (Jibiri, 2007).

La migración y acumulación de contaminantes en el sistema suelo-planta es compleja, y los modelos de evaluación comúnmente utilizan una relación de concentración de plantas al suelo, conocido como factor de transferencia (TF), que estima el transporte de radionucleidos a través de la cadena alimentaria. Esta relación describe la cantidad de radionucleidos que entra a una planta del suelo (Chen, 2005).

Estudios realizados en diversas partes del mundo revelan la presencia de radio (^{226}Ra) en fertilizantes fosfatados, el fertilizante hoy en día tiene una gran demanda mundial, lo cual hace que el radio sea considerado como contaminante radiactivo al medio ambiente (Binesh, 2011)

2.5. Técnica.

El radio (^{226}Ra) es un descendiente radiactivo del uranio (^{238}U) y ambos se encuentran en equilibrio secular. La abundancia del elemento radio, está relacionado con la presencia de dos elementos: Torio y el Uranio que varían en los distintos tipos de rocas, minerales y sedimentos. Al aislar el radio en una muestra, se separan simultáneamente el radio (^{223}Ra), radio (^{224}Ra), radio (^{226}Ra), radio (^{228}Ra). Estos isotopos se desintegran, iniciando cadenas radiactivas que tienden al equilibrio secular, estos elementos son los emisores alfa, beta y gamma (Flakus, 1980).

- Radiaciones Alfa. Son núcleos de helio y tienen naturaleza corpuscular, su poder de penetraciones es muy bajo y de corto alcance, tiene un alto poder ionizante y forman iones con facilidad.
- Radiaciones Beta. Son electrones de naturaleza corpuscular.
- Radiaciones Gamma. Son ondas electromagnéticas con alto poder de penetraciones, pero bajo poder ionizante.

El radio (^{226}Ra) es un isotopo radiactivo emisor alfa, de la cadena del uranio natural, inicialmente era el único emisor alfa de su cadena, pero con el tiempo sus descendientes incrementan estas emisiones (Avalos, 1994).

Para la detección de la radiación se realizan de diferentes técnicas que se explicaran a continuación. La evolución de los detectores de radiaciones fueron avanzando conformemente se realizaban las primeras investigaciones con rayos X, o también con las sustancias radiactivas.

2.5.1 Detección por trazas en sólidos, DTS.

Se caracteriza por su simplicidad y por no necesitar grandes recursos tecnológicos para su disponibilidad. Este método se puede resumir en tres pasos (Espinosa, 1994).

Exposición a la radiación ionizante. Son sensibles a partículas alfa, protones, iones pesados y fragmentos de fisión. Se han expuesto materiales detectores como el CR-39 (Espinosa et al. 1987). El detector es expuesto a la radiación ionizante o también puede ser la radiación natural. Cuando se expone el material detector a la radiación se forma la traza nuclear en el material y permanece latente hasta que sea revelada.

- Revelado químico de la traza. Al pasar un determinado tiempo, el material deberá ser sometido a un ataque químico de desgaste superficial. Es decir a través de una solución química se revela los detectores y se cuantifica el número de trazas.
- Caracterización y lectura de la traza. Una vez realizado el revelado química, se obtiene una traza o huella de la radiación recibida a nivel microscópico entre 10 y 100 μm .

Para la lectura de trazas, existen varios tipos, una de ellas a través de una cámara de video asociada a un microscopio óptico. Otros más complejos basados en mediciones de imágenes y actualmente los más avanzando por medio de digitalización de imágenes.

2.5.2. Detector sólido de trazas nucleares (LR-115).

Los primeros intentos de grabar trazas en detectores de Trazas Nucleares de Estado Sólido (SSNTD) (Etching) fueron realizadas por Young en 1958 , Price y Walker en 1962 quienes aparentemente ignoraban el trabajo de Young, mostraron que las soluciones de

grabado químico, atacaban preferentemente las zonas dañadas por el paso de partículas cargadas, produciendo hoyos que pueden ser fácilmente observadas al microscopio óptico, con una apariencia similar a las trazas observadas con emulsiones fotográficas (Delgado, 1989).

Fueron desarrollados por Kodak, y son sensible a la radiación alfa. Están conformados por una película fina de nitrato celulosa de color rojo, revestida con una base de poliéster de 100 μ de espesor, un solo lado de esta película es sensible a la detección de partículas alfa, el cual es el lado menos brillante de ambas caras. A su vez posee una panta convertido de boro litio que cubre la capa sensible de nitrato celulosa. (Barco, 2004) El análisis y conteo de trazas es facilitada por el gran contraste entre las perforaciones, y el fondo de la película es tratada químicamente. Estas perforaciones son contadas fácilmente por medio de un microscopio (Barco, 2004).

Dichos detectores se despliegan generalmente para un periodo de exposición de un mes a un año. Son insensibles a la humedad, temperatura y la radiación beta y gamma de fondo. Son sensibles a las partículas alfa y son los más utilizados para las mediciones de radón (Sofija, 2004).

Cuando las partículas alfa son generadas por productos de desintegración del radón, en la proximidad del material de detección, pueden golpear el material de detección, produciendo áreas microscópicas de daño dentro del plástico en forma de cadenas moleculares rotas y radicales libres (huellas de las partículas alfa) (Frenje, 2002).

Entre los detectores orgánicos SSNTD utilizados para la detección de neutrones térmicos se destacan los siguientes: Policarbonato, nitrato de celulosa (LR-115), acetato de

celulosa y carbonato de diglicol alilo (CR-39), todos sensibles a partículas alfa si son procesados adecuadamente con reactivos alcalinos. Estos detectores pueden utilizarse para distinguir los tipos de energías de las partículas individuales (Nikezic D. , 2004).

El nitrato de celulosa es uno de los detectores más utilizados para la detección de partículas alfa, existen tres tipos de detectores que son fabricados por Kodak, el LR-115, CA-80-15, CN-85 (DAICELL).

El LR-115 consiste en una capa delgada (6 μm o 12 μm) de nitrato de celulosa teñido de rojo sobre una capa base transparente de poliéster de (100 μm), sobre el nitrato tiene una capa de tetraborato de litio alrededor de 30 a 40 μm de espesor que sirve de irradiador (partículas alfa) y que puede removerse una vez irradiada. Cuando las trazas son reveladas, estas aparecen como manchas transparentes sobre el fondo rojo. Estos detectores se han aplicado para las mediciones de radón (^{222}Rn) durante un periodo relativamente largo, por lo general se colocan en la parte superior de un frasco y se lo cierra herméticamente (Nikezic, 2003).

También existe una versión de nitrato de celulosa que puede separarse (strippable) convenientemente después del grabado y ser contada por la técnica conocida como contadora de chispas (Spark Counting) que es una técnica útil para contar bajas densidades de trazas (hasta 3000 trazas/ cm^2 (Somogyi G. Hanyadi I. and Varga, 1978).

El CA-80-15, CN-85 y Daiceli son materiales compactos de 100 a 300 μm , los cuales pueden ser sometidos a grabado químico convencional o grabado electroquímico y contado a través de los contadores de chispas, sin embargo estos materiales ocasionalmente se han usado para dosimetría de neutrones térmicos (Khadduri, 1977).

La traza nuclear se hace visible después de un ataque químico o desgaste superficial, este es el método más sencillo y más utilizado para grabar el daño latente de las trayectorias de las partículas en los sólidos (Aharmim, Sabir, & Marah, 2002).

El grabado químico del material detector de plástico aumenta el tamaño de huella, haciéndoles observables mediante un microscopio óptico, con el fin de poder ser contadas manualmente o por un dispositivo de recuento automatizado. El número de huellas por unidad de superficie después de sustraer el recuento de fondo, es directamente proporcional a la concentración de radón. Las condiciones de grabado químico difieren de un tipo de detector a otro o de la solución química, la concentración, el tiempo y temperatura, por lo general se utilizan hidróxido de potasio (KOH) o hidróxido de sodio (NaOH) (Durrán, 1997).

2.5.2.1. Teoría de formación de trazas en detectores de estado sólido (SSNTI).

Price, sugiere un modelo de formación de trazas en silicatos que denominó "Ion Explosión Spike" y que consiste en que las partículas cargadas, ionizan la región de material por la cual pasan. Los átomos cargados en el material entonces se repelen unos a otros, generando una región de dislocaciones atómicas (Price, 1968).

Dicha región es altamente susceptible a los ataques químicos, por lo tanto es propensa a un grabado por medio un ácido fuerte o una base. Maurette sostiene que el modelo "Ion Explosion Spike" es la mejor explicación para la formación de trazas en minerales (Maurette, 1970).

Johnson y Becker indican que la fragmentación molecular producida por los rayos delta es la más plausible teoría para formación de trazas en polímeros orgánicos.

Katz propone que las trazas grabables en plásticos son formadas por la interacción de rayos delta con los agrupamientos de polímeros, al igual que trazas desarrolladas en emulsiones (Katz, 1984).

2.5.2.2 Técnicas de grabado de trazas nucleares en detectores de estado sólido (SSNTD).

Existen diferentes métodos para hacer posible la visualización de las trazas latentes producidas por las partículas cargadas que inciden en los detectores, el grabado químico, el grabado electroquímico y la técnica de tejido o injerto.

El grabado químico fue el punto de partida de la técnica de grabado de trazas nucleares en los detectores de estado sólido. En 1962 se comprobó que las soluciones de grabado tenían mayor reactividad química con la zona dañada, debido al paso de las partículas cargadas, produciendo hoyos que pueden ser fácilmente observables al microscopio óptico.

Fleisher y Price en 1964 desarrollaron el primero modelo para describir matemáticamente las trazas perpendiculares grabados. De acuerdo a este modelo la velocidad de grabado a lo largo de la traza, es mayor que la velocidad de grabado en el volumen de material no dañado.

Somogyi en 1966, muestra que el diámetro de las trazas depende de la energía y el tipo de partícula responsable del daño. Dependiendo de la carga y las masas de la partícula, se producirán trazas definidas en un detector dado bajo condiciones de grabado específico.

Martin-Borret sostiene que los policarbonatos reaccionan con el NaOH por saponificación, mientras que el nitrato celulosa reacciona por saponificación y degradación por oxidación (Martin-Borret, 1974).

El grabado electroquímico se obtiene cuando el proceso de grabado químico es ejecutado bajo la acción de campos eléctricos variables. Fue desarrollado en 1970, ha tenido una amplia difusión y ha sido usado principalmente para dosimétrica de neutrones de partículas alfa (Delgado, 1989).

Para el proceso de grabado electroquímico, el primer estado consiste en la formación de una traza que será agrandada solamente si la componente perpendicular de la velocidad de grabado a lo largo de la traza es mayor que la velocidad de grabado en dirección perpendicular a la superficie no dañada.

Bajo las condiciones a menudo usadas en el grabado electroquímico, el campo eléctrico en el extremo de la traza puede llegar a ser tan alto como varios MV/cm, iniciándose fenómenos eléctricos que combinados con la acción química del electrolito producen un daño catastrófico en el fondo de la traza y que tiene una forma típica que semeja a un árbol (Delgado, 1989).

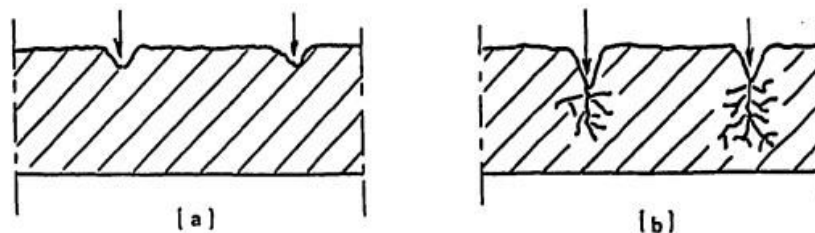


Ilustración 4. Mecanismos Básicos de grabado Electroquímico.

Fuente: Delgado, 1989.

- Formación del hoyo.
- Formación del árbol.

La técnica de teñido es un método para visualizar trazas relativamente nuevo, solo puede ser aplicado a ciertos materiales detectores y para partículas pesadas tales como fragmentos de fisión, iones pesados y partículas alfa. La técnica consiste de: irradiación del detector seguido de un hinchamiento y sensibilización del material y finalmente teñido.

2.5.2.3 Técnicas de conteo de trazas en detectores SSNTD.

Existen diferentes técnicas de conteo según se trate de detectores gruesos o delgados, a continuación se mencionaran los diferentes tipos y sus características principales.

1. Método de evaluación de trazas para detectores delgados SSNTD.

Consiste en que un lado del detector está recubierto con una capa de aluminio, luego una vez que la traza grabada atraviesa el material, se disuelve el aluminio formándose un hoyo en la parte opaca de la película. Esta técnica puede modificarse usando un metal que

no es atacado por el líquido de grabado del material detector, produciéndose de este modo trazas de diámetro más uniforme (Delgado, 1989).

2. Luz transmitida.

Se expone el detector opaco a la luz, esta pasará solo a través de trazas grabadas, la intensidad de la luz que pasa por los hoyos puede ser medida por una unidad fotosensible. Otro método simple que utiliza luz transmitida es el desarrollado por la kodak para su material de nitrado de celulosa LR-115 coloreando de rojo, que junto con luz complementaria verde o azul permite obtener trazas brillantes sobre el fondo oscuro y que pueden ser contadas con ayuda de un microscopio óptico (LABORATORY, 1972).

3. Partículas Cargadas.

Pueden penetrar en un detector a través de los hoyos, mientras que ellas se ven detenidas por aquellas zonas en que no las hay. La penetración de dichas partículas cargadas pueden ser contadas por diferentes métodos, como por ejemplo con un detector de barrera superficial (Delgado, 1989).

2.5.3 Cálculo de las concentraciones de radio (^{226}Ra) y radón (^{222}Rn).

El radio (^{226}Ra) se comporta químicamente como el calcio, que se deposita sobre las superficies óseas y las áreas de metabolismo mineral (Evans, 1974). Está ampliamente distribuido en el medio ambiente, estando presentes en diversas concentraciones en aguas, suelos, sedimentos y rocas (Binesh, 2011).

El radio (^{226}Ra) es un radionucleído común y es padre del radón (^{222}Rn), que se propaga ampliamente en materiales que están hechos de productos minerales (Abumurad, 2001).

Tabla 7 Los niveles de radio (^{226}Ra) en Hortalizas de hoja y vegetales de raíz y frutas.

Vegetales de Hoja.		Hortalizas y Frutas de Raíz.	
Country.	^{226}Ra (Bq/Kg)	Country.	^{226}Ra (Bq/Kg)
United States.	0.056	United States.	0.007-0.047
China.	0.075	China.	0.063
Germany	0,006- 1.150	Germany	0.005 - 9.400
Italy.	0.027-0.044	Italy.	0.014 - 0.025
Poland.	0.037-0.043	Poland.	0.011 - 0.215
U.K	0.022-0.170	U.K	0.009 - 0.041

Fuente: UNSEIR, 1993

Una vez revelada y contada el número de trazas en los detectores se procede a calcular lo siguiente;

2.5.3.1 Densidad promedio de trazas.

La densidad de trazas se calcula a través del número total de trazas que contabilizaron en el microscopio, dividido para el número de campos de visiones multiplicado por el área de visión, el resultado estará expresado en Trazas/cm² (Lymburner., 2003).

$$\rho = \frac{\sum T}{n. Ar}$$

(1)

2.5.3.2 Exposición de radón integrado.

La exposición de radón integrado se calcula a través de la densidad promedio de trazas multiplicada por el tiempo de exposición en horas, dividido para el factor de calibración, multiplicado por los días expuestos. El resultado estará expuesto en Bq.h/m³

$$C = \frac{\rho \cdot t}{d \cdot K}$$

(2)

2.5.3.3 Estimación de las tasas de exhalación de radón (Masa).

La tasa de exhalación del radón en términos de masa, viene expresado en Bq/Kg.h , donde C es la exposición del radón integrado; M es la masa de la muestra expresada en kilogramos (Kg) ; V es el volumen de aire en el recipiente expresado en metros cúbicos (m³); T es el tiempo de exposición expresado en horas (h) y λ es la constante de desintegración del radón (Mahur A. K., 2008).

$$EM = \frac{C \cdot V \cdot \lambda}{M \cdot [T + \left(\frac{1}{\lambda}\right) \{\exp(-\lambda T) - 1\}]}$$

(3)

2.5.3.4 Estimación de las tasas de exhalación del radón (Área).

La tasa de exhalación del radón en términos de área, viene expresado en Bq/m².h , donde C es la exposición del radón integrado; A es el área de vacío entre el detector y la muestra de abono expresado en metros cuadrados (m²) ; V es el volumen de aire en el

recipiente expresado en metros cúbicos (m^3); T es el tiempo de exposición expresado en horas (h) y λ es la constante de desintegración del radón (Abu-Jarad, 1998).

$$EA = \frac{C.V.\lambda}{A.[T + \left(\frac{1}{\lambda}\right)\{\exp(-\lambda T) - 1\}]}$$

(4)

2.5.3.5. Concentración de radón (^{222}Rn).

Las concentración de radón (^{222}Rn) (CRn) están expresados en Bq/m^3 y resulta de división de la densidad promedio de trazas para el factor de sensibilidad K por el número de días expuestos (Hussein, 2013).

$$CR_n = \frac{\rho}{d.K}$$

(5)

2.5.3.6 Concentración de radio (^{226}Ra).

Las concentración de radio (^{226}Ra) (CRa) están expresados en Bq/Kg y resulta de división de la densidad promedio de trazas multiplicado por la altura (distancia entre el detector y la parte superior de la muestra y el área (sección transversal), dividido para el factor de sensibilidad K, por el número de días expuestos y por la masa de la muestra (Somogyi, 1990).

$$CR_a = \frac{\rho.h.A}{K.d.M}$$

(6)

3. Materiales y Métodos.

Se realizó un análisis comparativo de la cantidad de radio presente en los abonos orgánicos e inorgánicos, en la ciudad de Cuenca, este procedimiento tuvo cuatro fases, la primera fue la de campo, donde se tomaron las muestras de fertilizantes, la segunda consistió en la preparación de las matrices a analizar, en la terca fase se llevó a cabo el tratamiento químico de los detectores sólidos de trazas nucleares LR-115 tipo II, y en la cuarta y última fase se hizo el conteo de trazas sobre el detector y un análisis estadístico.

3.1 Toma de muestras de los abonos orgánicos e inorgánicos.

Las muestras de los abonos fueron tomadas en cuatro puntos diferentes y se obtuvieron 10 muestras de abonos orgánicos y 10 de abonos inorgánicos. Los puntos de toma de muestra fueron los siguientes: Feria libre, autopista Cuenca-Azogues (Chauillacamba), San Joaquín (Finca Agruco), entrada a Misicata. Los abonos orgánicos a los cuales se tuvo acceso fueron los siguientes (Ver ilustración 5).

1. Abono orgánico-Pollinaza.
2. Abono orgánico-De champiñones.
3. Abono orgánico de pollo No.1 (obtenido en la Autopista Cuenca-Azogues (Chauillacamba), abono orgánico de pollo No. 2 (obtenido San Joaquín-Finca Agruco), y abono orgánico de pollo No.3 (Obtenido San Joaquín-Finca Agruco).
4. Abono orgánico- Cascarilla de arroz.
5. Abono orgánico- Hojarasca.
6. Abono orgánico-Preparado.
7. Bocashi.
8. Abono orgánico-Eco abonaza.

La composición química de las 10 muestras de los abonos inorgánicos se muestra en la tabla 8.

Tabla 8 Tipos de abonos inorgánicos.

Tipo de Abono-Inorgánico.	Composición.
1. Urea.	
2. Pastos.	
3. Fertilizante 10-30-10	Nitrógeno (N), 10%, Fosforo (P_2O_5), 30%, Potasio, (K_2O), 10%
4. INNUTRI.	Nitrógeno (N) 5%, Fosforo (P_2O_5) 10%, Potasio (K_2O) 20%, Azufre (S) 5.60%, Calcio (CaO) 2%, Materia Orgánica (M.O) 15%, Carbono Orgánico 8.70%, Ácidos Húmicos 2.40%.
5. Yara-Mila ACTYVA.	Nitrógeno (N) 27%, Nitrógeno Amoniacal (NH_4^+) 15.2%, Nitrógeno Nítrico (NO_3^-) 11.8%, Fosforo (P_2O_5) 5%, Potasio (K_2O) 5%, Azufre (S) 3%.
6. Fertisa-fertirorraje.	Nitrógeno (N) 21%, Fosforo (P_2O_5) 12%, Potasio (K_2O) 15%, Magnesio (Mg) 3%, Azufre (S) 4%.
7. Fosfato Diamónico.	Nitrógeno (N) 18%, Fosforo (P_2O_5) 46%, Potasio (K_2O) 6%.
8. Nitrato de Amonio.	NH_4NO_3 , 33.5%
9. Yara-Mera.	Nitrógeno (N) 40%, Nitrógeno Amoniacal (NH_4^+) 5%, Nitrogeno Ureico 35%, Azufre (S) 5,6%.
10. Sulfato de Amonio.	$(NH_4)_2SO_4$, 21%.

Fuente: Autor.



Ilustración 5 Muestras de Abonos Orgánicos.

Fuente: Autor



Ilustración 6, Muestra de Abonos Inorgánicos.

Fuente: Autor

3.2 Preparación de la muestra.

3.2.1 Deshidratación de las muestras de abonos orgánicos e inorgánicos.

Una vez obtenidas todas las muestras, se procedió a pesar 150 g de estas, para ello se utilizó una balanza analítica, con una sensibilidad de 0.01 y una capacidad para pesar sustancias, de 200 gramos.

Luego de pesar las muestras se colocaron en un recipiente de aluminio donde se introdujeron en una mufla (Ver ilustración 7), a una temperatura entre 90 y 140°C , en el caso de los abonos orgánicos, debido a que contenían mayor grado de humedad, por lo tanto necesitaban estar más tiempo y a una temperatura mayor para acelerar el proceso. Este proceso se repitió para cada una de las 10 muestras de los abonos orgánicos, las muestras permanecieron en la mufla un tiempo estimado de 8 horas.

Para el caso de los abonos inorgánicos se utilizó la estufa (Ver ilustración 7), la cual se calibró para un tiempo máximo de 8 horas, a una temperatura entre 60 y 90 °C. Durante este proceso se llevaron a cabo protocolos específicos con el fin de evitar la contaminación del laboratorio debido a la composición del abono.

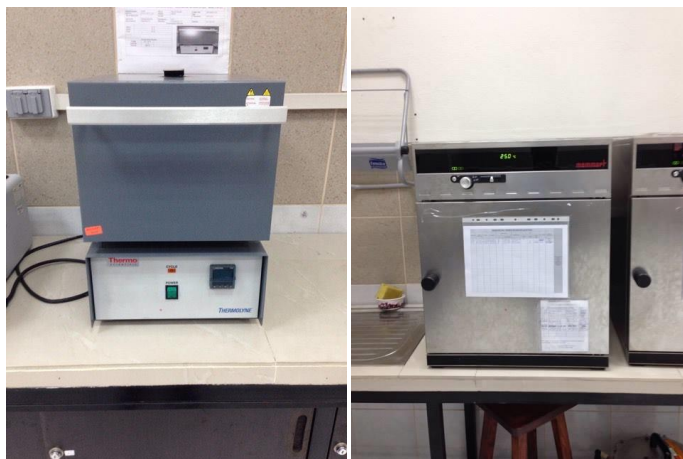


Ilustración 7 Mufla y Estufa.

Fuente: Autor

3.2.2 Triturado, tamizado y pesaje de las muestras.

Después de deshidratación de las muestras se procedió a la trituration de las mismas, que se llevaron a cabo en la licuadora "HEAVY DUTY BENDER" modelo CB15 (Ver ilustración 8), pertenecientes al laboratorio de química de la universidad, en la cual se vertieron los 150 gramos de cada muestra.

Una vez obtenida la muestra del triturado, la siguiente etapa fue la del tamizado donde se utilizó el tamiz "ADVANCE TEACH DURATAP" (Ver ilustración 9), con una apertura de 300 micras.

En una balanza analítica se procedió a pesar 100 g de la muestra tamizada, para luego ser colocada en un envase de vidrio con medidas de 12,5 cm de alto por 8,5 cm de ancho.



Ilustración 8 Trituradora.

Fuente: Autor



Ilustración 9 Tamizado

Fuente: Autor

3.2 3. Preparación de las cámaras de exposición.

La preparación de las cámaras de exposición se realizó de la siguiente manera.

Para la colocación del detector se siguieron los siguientes pasos:

1. Se cortaron y pegaron 20 círculos de cartón en el interior de las tapas de las cámaras de exposición, estos círculos tienen un orificio donde se hará pasar un hilo que contendrá una tira metálica con una medida de 6 cm.
2. En el exterior de la tapa cámaras de exposición se pegaron 2 imanes en cada borde, el cual sostuvo a la tira metálica. (Ver ilustración 10)



Ilustración 10 Muestras de abonos orgánicos e inorgánicos.

Fuente: Autor

3. Se colocó en el círculo interior de cartón, ubicado en la parte interna de la tapa de la cámara de exposición, un detector sólido de trazas nucleares (LR-115) tipo II, de dimensiones de 1.5 cm de ancho por 1.0 cm de largo. El cual fue cubierto por la tira metálica durante dos semanas.

4. Transcurrida las dos semanas, se procedió a retirar los imanes pegados en la tapa del envase, que contenían las muestras de abonos, permitiendo la caída de la lámina metálica y la exposición del detector al radón en el interior de la cámara, exhalada por la muestra.
5. El tiempo de exposición de los detectores fue de 90 días (Ajay, 2014), una vez transcurrido este tiempo, se procedió al revelado del detector a través del grabado químico. (Ver ilustraciones 11,12)



Ilustración 11 Muestras de abonos Inorgánicos.

Fuente: Autor



Ilustración 12 Muestras de Abonos Orgánicos.

Fuente: Autor.

3.3 Grabado químico de los detectores sólidos de trazas nucleares (DSTN).

Para revelar las trazas latentes que se obtienen de la interacción de las partículas alfa con el nitrato de celulosa del detector LR-115, tipo II, los detectores son tratados químicamente en una solución de NaOH a 2.5 N a 60°C, (Nikolaev & Gromov, 2001).

Cuando el vaso de precipitación se haya enfriado, procedemos a colocar los detectores, para esto se utilizó un mecanismo de alambres que servían para el sustento de dichos detectores. Para finalizar se colocó el vaso de precipitación con los detectores dentro del Baño María, durante un tiempo de 90 minutos. (Ver ilustración 13).



Ilustración 13 Baño María (Equipo empleado para el tratamiento químico).

Fuente: Autor

Una vez transcurrido el tiempo, las muestras fueron retiradas con mucha precaución hacia otro vaso de precipitación que contenía agua destilada. Al momento del traspaso se procuró evitar grandes movimientos, con el fin de no perder la información revelada en los detectores, por desgaste del nitrato de celulosa, al movimiento del hidróxido de sodio (Ver ilustración 14).



Ilustración 14 Vasos de precipitación con los detectores, después de utilizar El Baño María.

Fuente: Autor

Se utilizó el agitador magnético en el vaso de precipitación con los detectores, con el objetivo de mantener el movimiento del agua destilada hacia los detectores. (Ver ilustración 15)

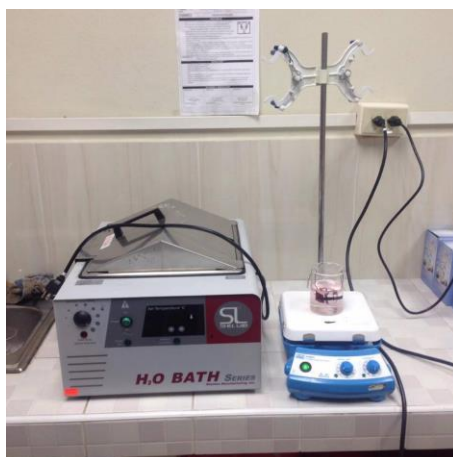


Ilustración 15 Agitador Magnético.

Fuente: Autor

Los vasos de precipitación permanecieron 30 minutos en el agitador magnético, al finalizar el tiempo, los detectores son retirados y posteriormente secados. (Ver ilustración 16).



Ilustración 16 Secado de los detectores colocados en vasos de precipitación.

Fuente: Autor

3.4 Conteo de trazas nucleares en los detectores LR-115 tipo II.

Para la recolección de datos, se utilizó un microscopio óptico de pantalla ampliada "MICROS AUSTRIA", que es un instrumento de uso cotidiano en los laboratorios de investigación y posee las siguientes características (Montalvo, 2010).

Para el conteo de trazas se utilizó el objetivo de 10x, cada uno de los detectores fue colocado en el microscopio óptico y se contabilizó el número aproximado de las trazas, para esto, se señaló un área específica de área igual a $0,897 \text{ mm}^2$, y veinte zonas de visión (5x4). Como se aprecia en la ilustración 17, cada punto blanco se contabilizó como traza nuclear.

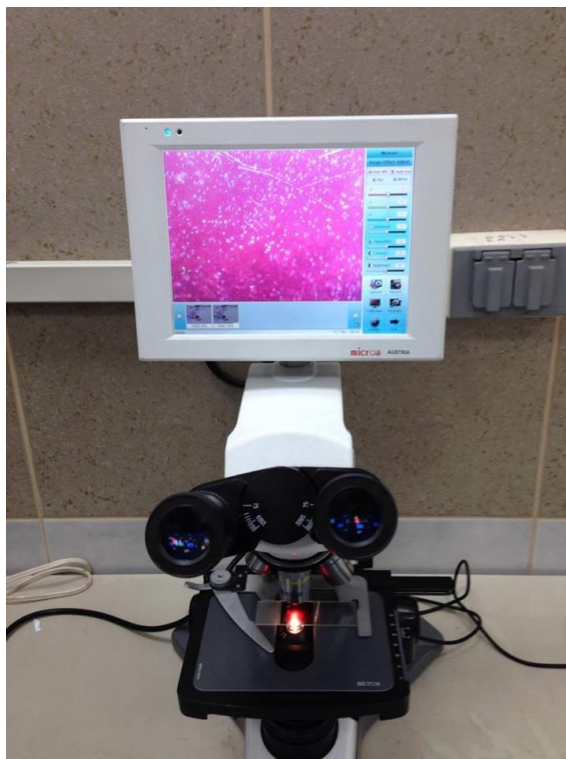


Ilustración 17 Conteo de Trazas nucleares en el abono inorgánico 4 (INNUTRI).

Fuente: Autor

Para los detectores de los abonos inorgánicos se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 9 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Pasto).

46	34	35	40	22
32	40	32	38	39
19	14	26	63	52
37	39	33	53	62
TOTAL				756

Fuente: Autor.

Tabla 10 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (10-30-10).

149	152	138	145	104
98	120	133	125	102
102	112	84	138	148
58	77	104	109	96
TOTAL				2294

Fuente: Autor.

Tabla 11 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (INNUTRI).

210	206	182	115	172
231	217	209	214	179
159	186	210	247	199
203	221	188	210	208
TOTAL				3966

Fuente: Autor.

Tabla 12 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (YARA-MILA-ACTIVA)

152	162	144	156	184
133	149	166	188	153
141	183	173	159	137
175	161	132	116	124
TOTAL				3088

Fuente: Autor.

Tabla 13 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Fertisa-Fertiforraje).

12	26	48	19	21
47	51	63	48	43
56	50	58	55	68
63	72	79	56	55
TOTAL				990

Fuente: Autor.

Tabla 14 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Fosfato Diamónico).

58	72	66	62	60
57	68	84	69	48
60	71	62	77	55
62	73	80	56	52
TOTAL				1292

Fuente: Autor.

Tabla 15 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Nitrato de Amonio).

28	11	9	3	6
15	19	10	7	11
14	21	9	9	17
15	18	9	14	16
TOTAL				189

Fuente: Autor.

Tabla 16 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Yara-Mera)

1	3	3	10	11
3	5	6	11	12
1	1	1	7	6
3	6	3	6	9
TOTAL				108

Fuente: Autor.

Para los detectores de los abonos orgánicos se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 17 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Pollinaza)

82	73	81	64	75
69	74	75	95	51
85	78	98	88	96
78	71	85	86	77
TOTAL				1581

Fuente: Autor.

Tabla 18 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Champiñones)

31	38	28	61	45
38	39	37	50	37
41	46	44	45	51
34	36	42	50	46
TOTAL				839

Fuente: Autor

Tabla 19 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Pollo 1)

14	12	14	13	12
20	11	12	11	12
15	17	16	17	19
15	18	16	13	17
TOTAL				294

Fuente: Autor

Tabla 20 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Cascarilla de Arroz).

33	47	46	59	46
38	50	45	51	40
46	39	47	48	49
41	48	30	41	45
TOTAL				889

Fuente: Autor

Tabla 21 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Hojarasca)

46	36	30	35	49
35	38	24	30	45
39	44	33	41	40
38	40	35	41	44
TOTAL				763

Fuente: Autor

Tabla 22 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Abono preparado)

78	66	59	73	57
74	69	67	68	64
71	74	72	65	61
78	71	69	60	57
TOTAL				1353

Fuente: Autor

Tabla 23 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Bocashi).

15	19	31	15	20
19	16	29	21	25
16	32	33	30	25
21	26	28	39	37
TOTAL				497

Fuente: Autor

Tabla 24 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Pollo 2)

6	3	8	17	12
8	22	20	22	20
13	24	18	14	29
12	25	28	21	16
TOTAL				338

Fuente: Autor

Tabla 25 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Pollo 3)

8	15	9	15	16
6	7	9	8	6
10	4	6	10	5
12	8	7	16	7
TOTAL				184

Fuente: Autor

Tabla 26 Distribución de número de trazas en el campo total de visión del detector LR-115 (Eco-abonaza)

19	9	15	16	25
11	19	27	21	23
16	20	21	17	21
22	19	26	18	24
TOTAL				389

Fuente: Autor.

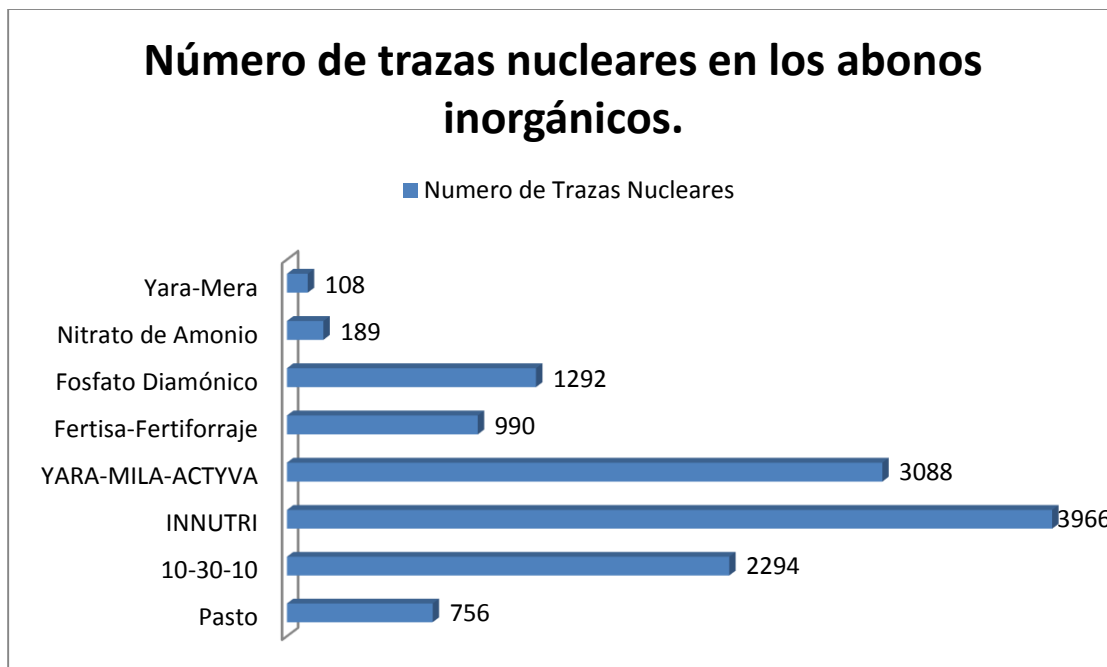


Ilustración 18 Distribución del número de trazas nucleares en abonos inorgánicos.

Fuente: Autor.

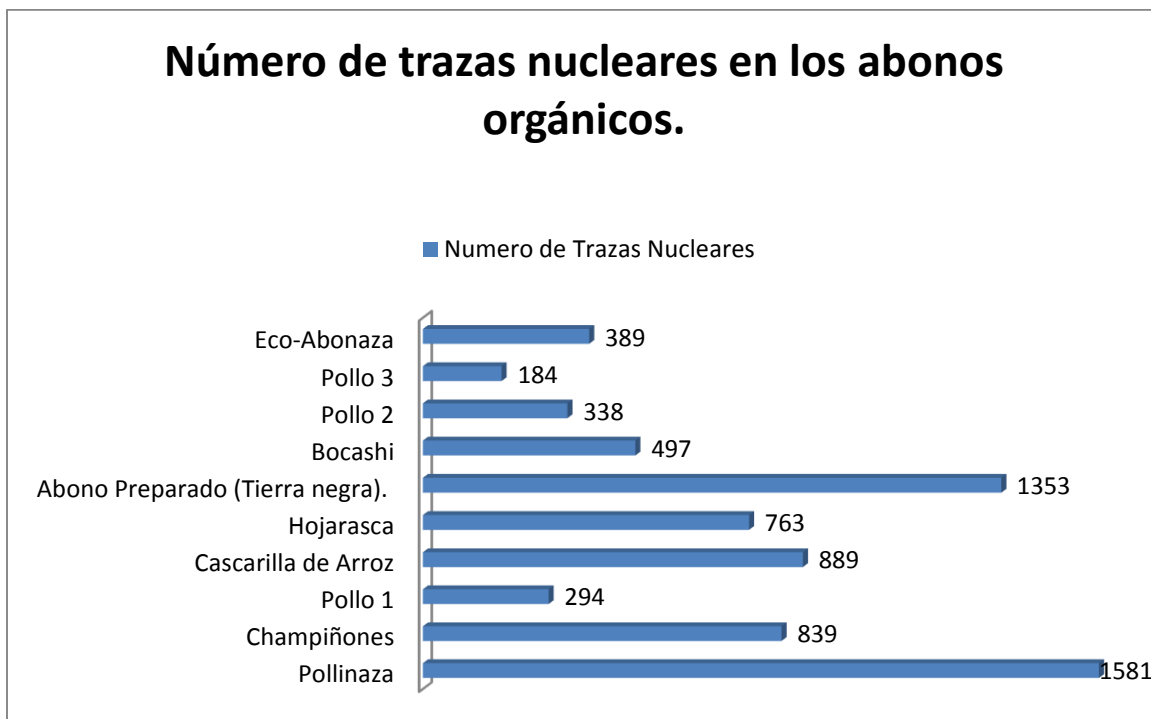


Ilustración 19 Distribución del número de trazas nucleares en abonos orgánicos.

Fuente: Autor.

4. Resultados y Discusión.

4.1. Recolección de los datos.

Para todos los cálculos se utilizó las fórmulas del (1-6) explicada anteriormente (punto 2.5.3). El factor de sensibilidad utilizado en este trabajo fue de: $0.020 \text{ (trazas.cm}^{-2}\text{)*(m}^3 \cdot \text{Bq}^{-1}\text{).(d}^{-1}\text{)}$.

4.2 Análisis y presentación de los datos.

A continuación se presentan una serie de tablas y gráficas, en las que se ilustran las exposición de radón integrado, exhalaciones de radón por masas y áreas, y las

concentraciones de radón y radio en las diferentes muestras de abonos, tanto inorgánico como orgánico. (Ver tablas 27-32 e ilustraciones 21-28).

Tabla 27 Determinación de la densidad de trazas, exposición al radón integrado, exhalación por área y masa de abonos inorgánicos para abonos inorgánicos.

Abono Inorgánico	DPT (Trazas/cm ²)	Error (%)	TDT(Trazas/cm ² *día)	ERI (Bq*h/m ³)	Em (Bq/kg*h)	Ea (Bq/m ² *h)
Pasto	4214.05	± 7.62	46.82	5056856.19	1.48	38.33
10-30-10	12787.07	± 5.09	142.08	15344481.61	4.48	116.31
INNUTRI	22107.02	± 3.20	245.63	26528428.09	7.74	201.08
YARA-MILA-ACTYVA	17212.93	± 2.94	191.25	20655518.39	6.03	156.57
Fertisa-Fertiforraje	5518.39	± 8.07	61.32	6622073.58	1.94	50.46
Fosfato Diamónico	7201.78	± 3.30	80.02	8642140.47	2.53	65.85
Nitrato de Amonio	1053.51	± 16.38	11.71	1264214.05	0.37	9.63
Yara-Mera	602.01	± 15.04	6.69	722408.03	0.21	5.50

Fuente: Autor.

Tabla 28 Cálculo de la concentración de radón (²²²Rn) de los abonos inorgánicos (Bq/m³).

Abono Inorgánico	CRn (Bq/m ³)
Pasto	2341
10-30-10	7103.93
INNUTRI	12282
YARA-MILA-ACTYVA	9562.74
Fertisa-Fertiforraje	3065.77
Fosfato Diamónico	4000.99
Nitrato de Amonio	585.28
Yara-Mera	334.45

Fuente: Autor.

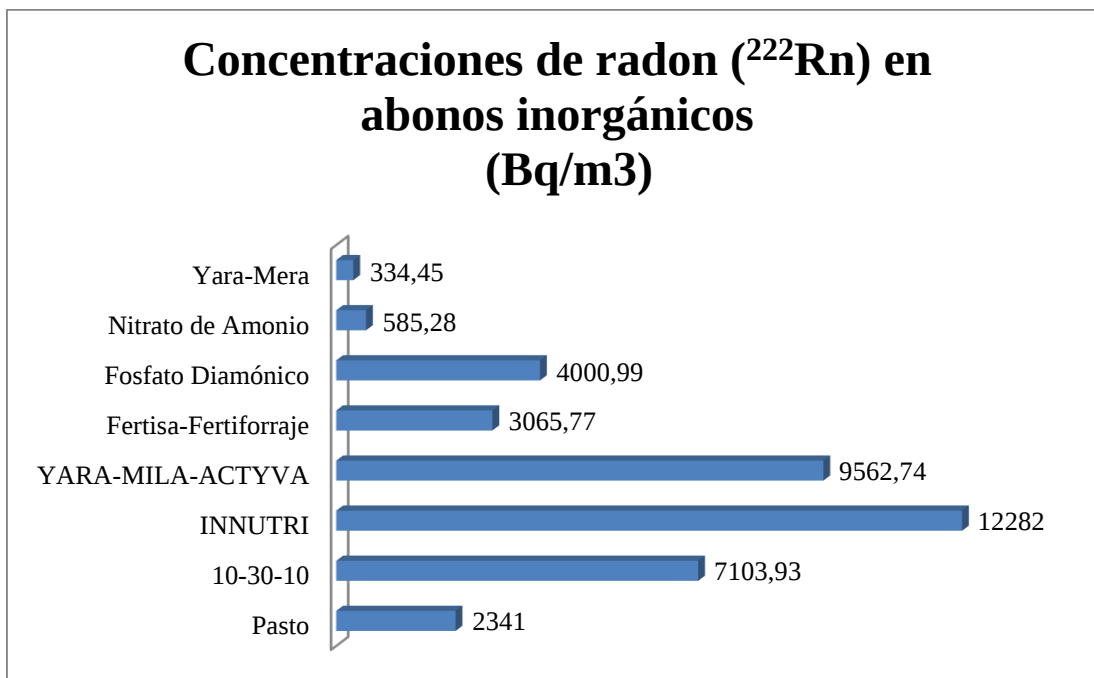


Ilustración 20 Concentración de radón (^{222}Rn) de los abonos inorgánicos (Bq/m³).

Fuente: Autor.

Tabla 29 Cálculo de las concentraciones de radio (^{226}Ra) de los abonos inorgánicos (Bq/Kg).

Abono Inorgánico	CRa (Bq/Kg)
Pasto	8.11
10-30-10	24.61
INNUTRI	42.54
YARA-MILA-ACTYVA	33.12
Fertisa-Fertiforraje	10.62
Fosfato Diamónico	13.86
Nitrato de Amonio	2.03
Yara-Mera	1.16

Fuente: Autor.

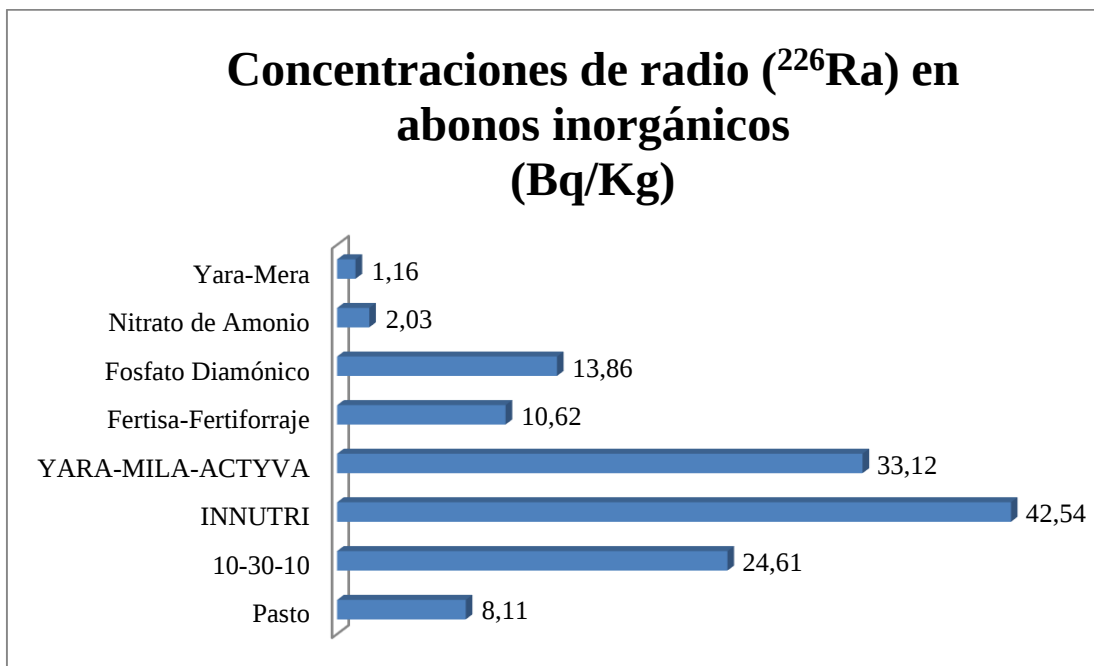
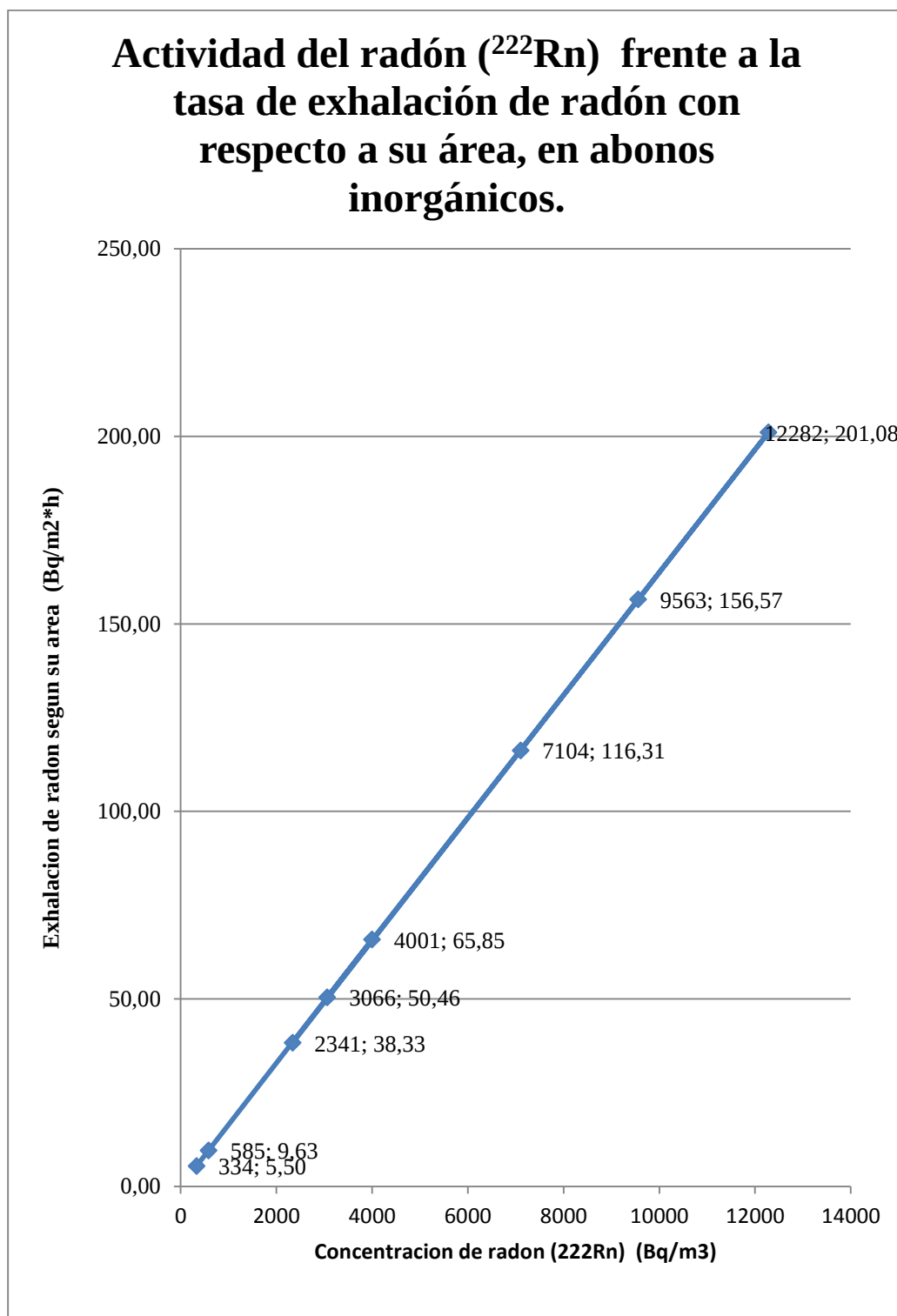


Ilustración 21 Concentración de radio (^{226}Ra) de los abonos inorgánicos (Bq/Kg).

Fuente: Autor.



**Ilustración 22 Actividad del radón (^{222}Rn) frente a la tasa de exhalación de radón con respecto a su
área, en los abonos inorgánicos.**

Fuente: Autor.

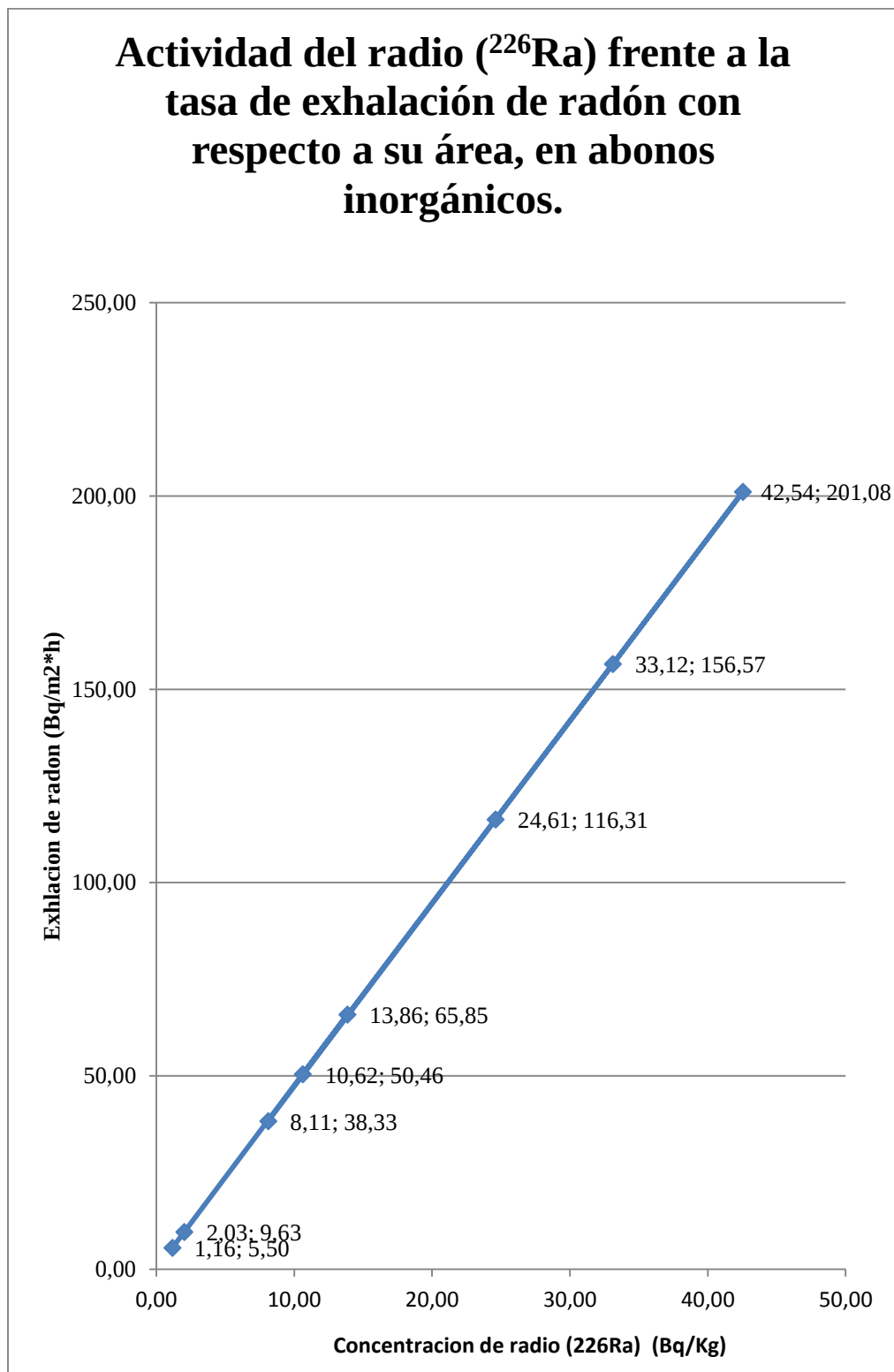


Ilustración 23 Actividad del radio (^{226}Ra) frente a la tasa de exhalación de radón con respecto a su área, en abonos inorgánicos.

Fuente: Autor.

Tabla 30 Determinación de la densidad de trazas, exposición al radón integrado, exhalación por área y masa de abonos inorgánicos para abonos orgánicos.

Abono Orgánico	DPT (Trazas/cm ²)	Error (%)	TDT(Trazas/cm ² *día)	ERI (Bq*h/m ³)	Em (Bq/kg*h)	Ea (Bq/m ² *h)
Pollinaza	8812.71	± 3.17	97.92	10575250.84	3.10	80.58
Champiñones	4676.70	± 4.12	51.96	5612040.13	1.65	42.76
Pollo #1	1638.80	± 4.13	18.21	1966555.18	0.58	14.98
Cascarilla de Arroz	4955.41	± 3.28	55.06	5946488.29	1.74	45.31
Hojarasca	4253.07	± 3.59	47.26	5103678.93	1.50	38.89
Abono Preparado (Tierra negra). Bocashi	7541.81	± 2.14	83.80	9050167.22	2.65	68.96
Pollo # 2	2770.35	± 6.63	30.78	3324414.72	0.97	25.33
Pollo #3	1884.06	± 9.68	20.93	2260869.57	0.66	17.23
Eco-Abonaza	1025.64	± 9.05	11.40	1230769.23	0.361	9.38
	2168.34	± 5.35	24.09	2602006.69	0.76	19.83

Fuente: Autor.

Tabla 31 Concentración de radón (²²²Rn) de los abonos orgánicos (Bq/m³)

Abono Orgánico	CRn (Bq/m ³)
Pollinaza	4895.95
Champiñones	2598.17
Pollo #1	910.44
Cascarilla de Arroz	2753.00
Hojarasca	2362.81
Abono Preparado (Tierra negra). Bocashi	4189.89
Pollo # 2	1539.08
Pollo #3	1046.70
Eco-Abonaza	569.80
	1204.63

Fuente: Autor.

Concentraciones de radon (^{222}Rn) en abonos orgánicos (Bq/m³)

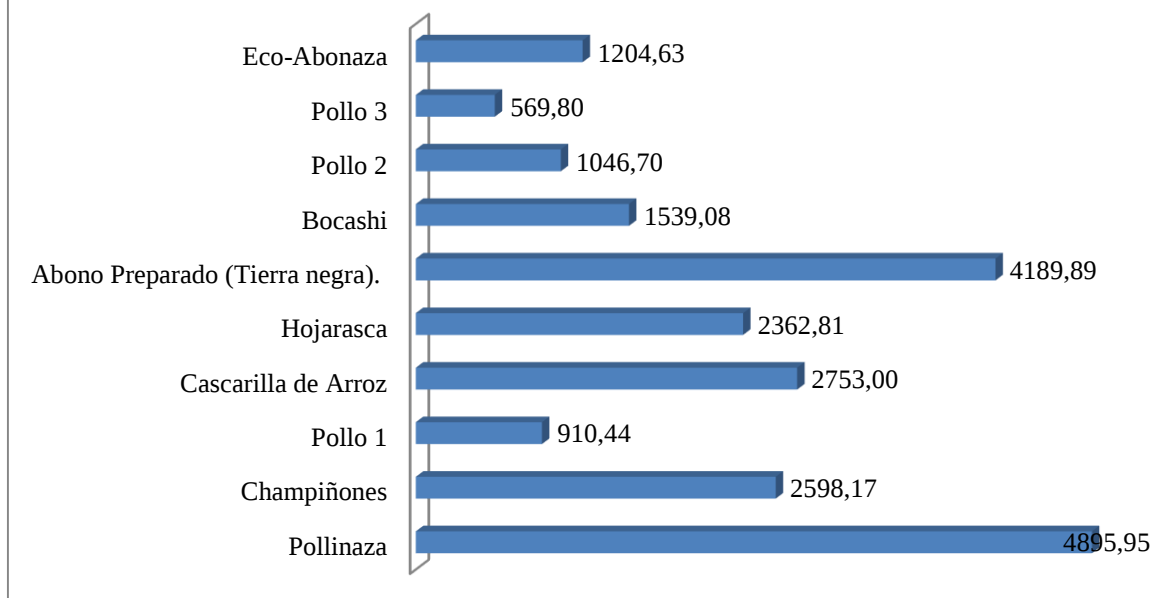


Ilustración 24 Concentración de radón (^{222}Rn) de los abonos orgánicos (Bq/m³).

Fuente: Autor.

Tabla 32 Concentración de radio (^{226}Ra) de los abonos orgánicos (Bq/Kg)

Abono Orgánico	CRa (Bq/Kg)
Pollinaza	16.96
Champiñones	9.00
Pollo #1	3.15
Cascarilla de Arroz	9.54
Hojarasca	8.18
Abono Preparado (Tierra negra).	14.51
Bocashi	5.33
Pollo # 2	3.63
Pollo #3	1.97
Eco-Abonaza	4.17

Fuente: Autor.

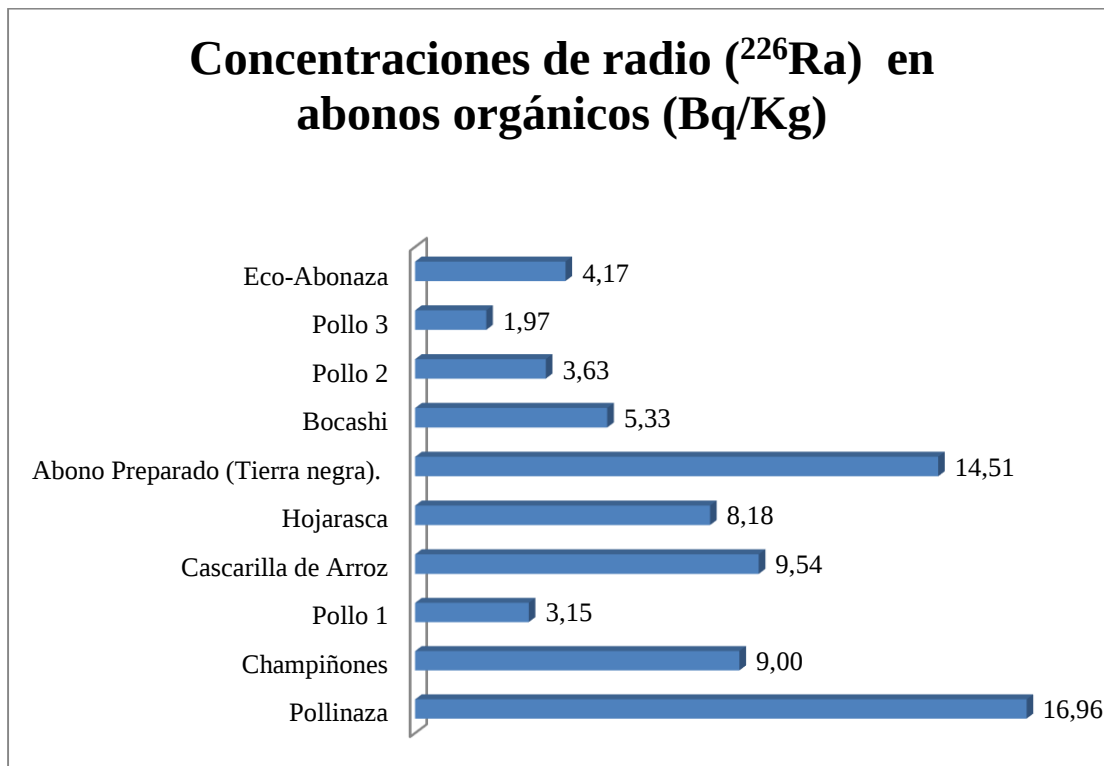


Ilustración 25 Concentración de radio (^{226}Ra) de los abonos orgánicos (Bq/m3).

Fuente: Autor.

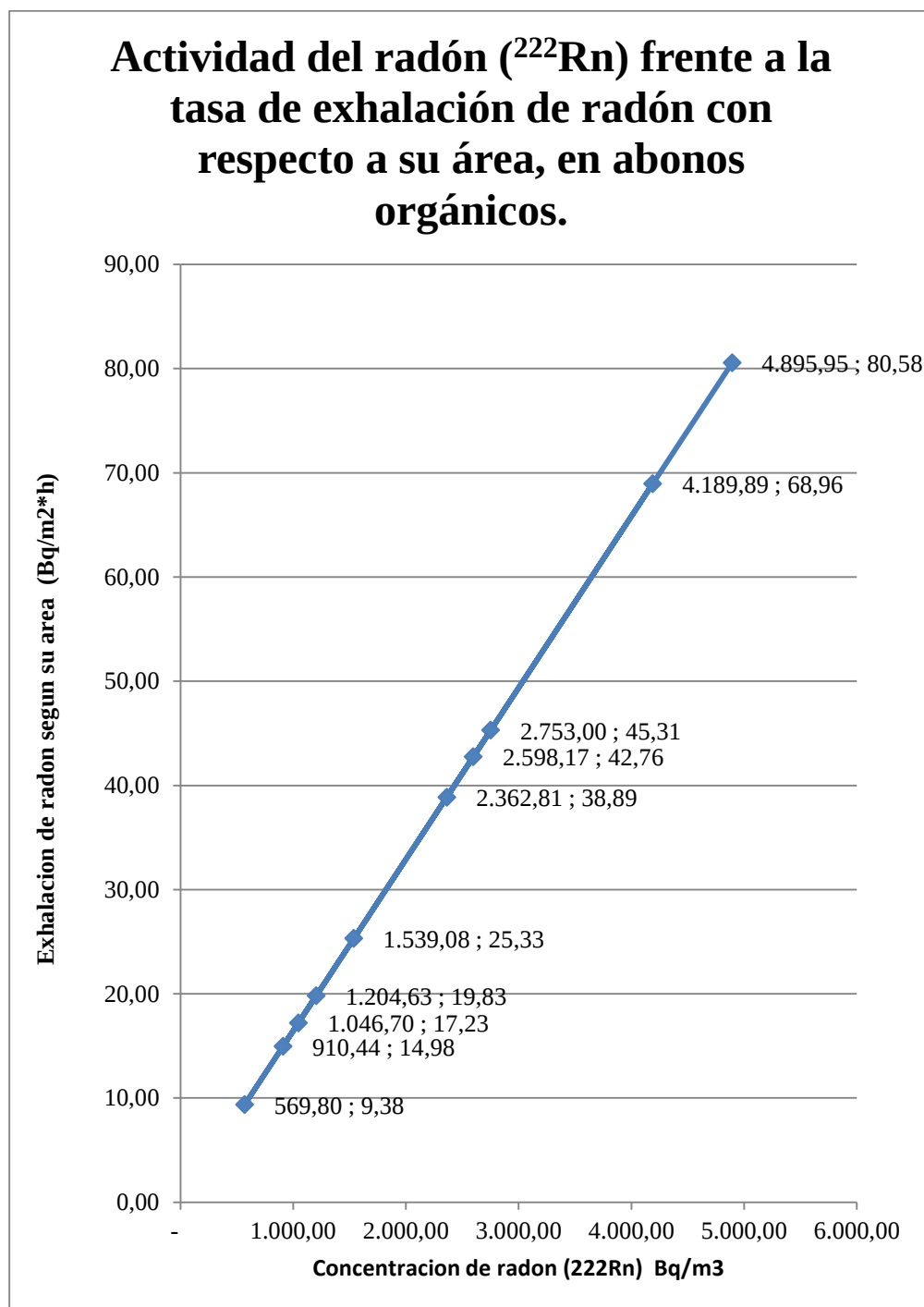


Ilustración 26 Actividad del radón (^{222}Ra) frente a la tasa de exhalación de radón con respecto a su área, en abonos orgánicos.

Fuente: Autor

Actividad del radio (^{226}Ra) frente a la tasa de exhalación de radón con respecto a su área, en abonos orgánicos.

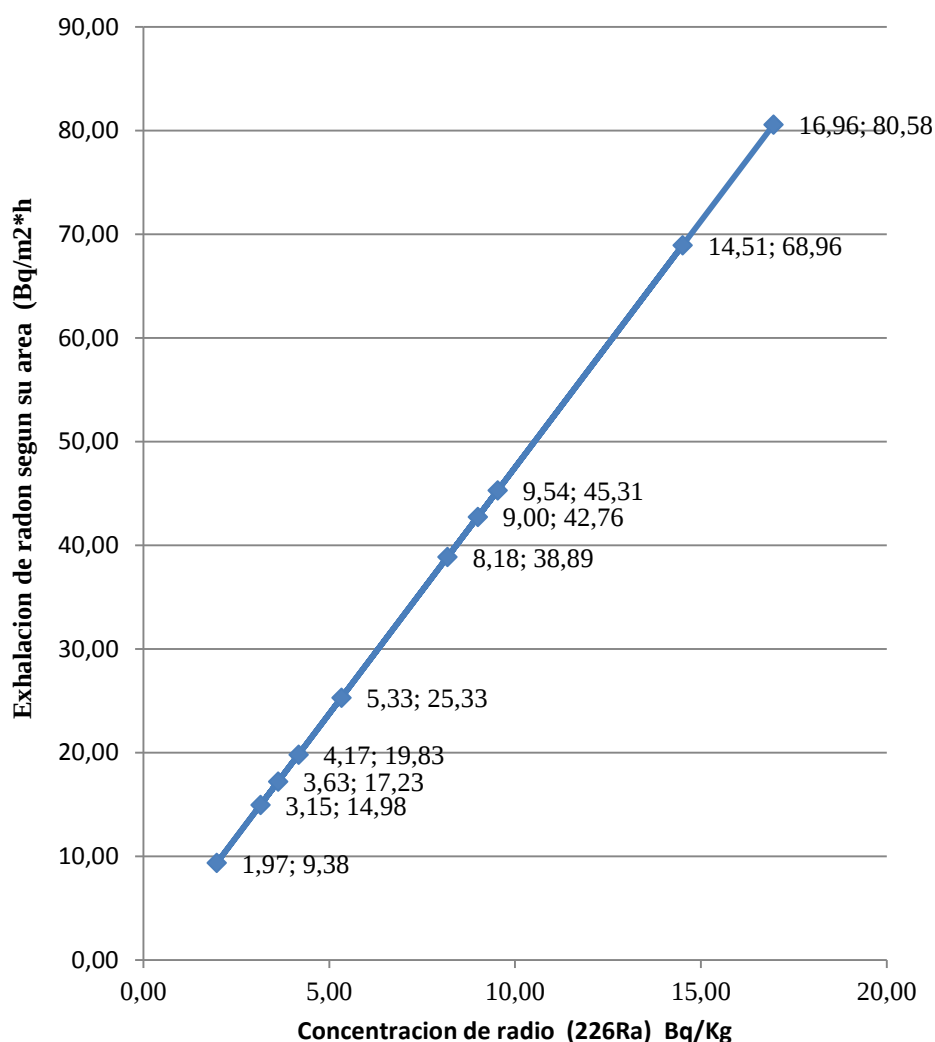


Ilustración 27 Actividad del radio (^{226}Ra) frente a la tasa de exhalación de radón con respecto a su área, en abonos orgánicos.

Fuente: Autor

4.3 Discusión.

Los resultados del cálculo de las trazas nucleares de los detectores LR-115 tipo II, muestran las primeras mediciones de las concentraciones de radio (^{226}Ra) y radón (^{222}Ra) existentes en abonos orgánicos e inorgánicos en la ciudad de Cuenca-Ecuador. El número de trazas nucleares que se contabilizaron variaron, dependiendo de factores como el tiempo de exposición de las muestras, el tiempo de revelado en el baño maría (grabado químico), cantidad de la muestra, que para este trabajo base fueron, tiempo de exposición 90 días, tiempo de revelado de las muestra, 90 minutos y la cantidad de muestra fue de 0.1Kg.

El factor de sensibilidad seleccionado para este trabajo, $0.020 (\text{trazas.cm}^{-2}) * (\text{m}^3 .\text{Bq}^{-1}) * (\text{d}^{-1})$ fue el promedio de los valores publicados en revistas especializadas en los últimos años, esto debido a que no contamos con una cámara de calibración.

Las concentraciones de radón (^{222}Ra) y de radio (^{226}Ra) en los abonos inorgánicos se muestran en la tabla 27 y 28, en el que obtuvo un valor promedio de 4909 (Bq/m^3) de radón, siendo el valor más significativo el abono inorgánico No.4 (INNUTRI), con una concentración de radón de 12282 (Bq/m^3). En lo que respecta a la concentración de radio se obtuvo un valor promedio de 17 (Bq/Kg), y un valor máximo de radio de 42.54 (Bq/Kg), correspondiente al abono No.4 (INNUTRI).

La composición del abono No. 4 (INNUTRI) composición se explica en la tabla 8. Entre las funciones de este abono están, el engrose y producción de tomate riñón y pimiento, engrose y producción de tomate de árbol y frutales, engrose de papa, mantenimiento de banano, mantenimiento de cacao, rosas y flores de verano, engrose y producción de melón, sandía y pepino.

El valor promedio de concentración de radón para los abonos orgánicos fue de 2207.05 (Bq/m³), con un valor máximo de 4895.95 (Bq/m³). En lo que respecta a la concentración de radio se obtuvo un valor promedio de 7.64 (Bq/Kg), y un valor máximo de radio de 16.96 (Bq/Kg), correspondiente al abono No.1 (Pollinaza).

5. Conclusiones y Recomendaciones.

1. Los detectores de trazas nucleares de estado sólido LR-115 tipo II, son los más adecuados para la medición de la actividad del radio y la tasa de exhalación del radón en muestras de suelo.
2. La mayor concentración de radón (^{222}Ra) y radio (^{226}Ra), de todas las muestras de abonos inorgánicos, es la muestra número 4 (INNUTRI). En cuanto la mayor concentración de radón (^{222}Ra) y radio (^{226}Ra) en todas las muestras de abonos orgánicos, es la muestra número 1 (Pollinaza).
3. El valor promedio del radio es de alrededor de 40 (Bq/kg), mientras que las concentraciones de radón en suelos varían entre 10000 y 50000 (Bq/ m³), obteniendo en esta investigación un promedio de 4909 (Bq/m³) en los abonos inorgánicos (radón) y un promedio de 17(Bq/kg) para concentraciones de radio. El promedio de radón en abonos orgánicos fue de 2207.05 (Bq/m³) y el promedio de radio fue 7.64 (Bq/kg), concluyendo así que no sobrepasa los valores promedios.
4. Los resultados expuestos en este trabajo, abre la posibilidad de seguir en el campo de investigación sobre las estimación de las concentraciones de radón (^{222}Ra) y de radio (^{226}Ra) en los abonos, pero realizando las mediciones, directamente en la planta, en las personas que realizan la manipulación diaria de los abonos, y en las personas que consumen los alimentos provenientes suelos fertilizados.

6. Bibliografía

(ATSDR), A. p. (1990). Reseña Toxicología del Radio. *Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos.* , 1-2.

(NRC), N. A. (1990). Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. *Washington, DC: National Academy Press.*

Abbady, A. (2005). Assessment of the natural radioactivity and its radiological hazards in some Egyptian rock phosphates. *Indian Journal of Pure and Applied Physics* , 489-493.

Abu-Jarad, F. (1998). Application of nuclear track detectors for radon related measurements. *Nucl. Tracks Radiat Meas* , 1-4.

Abumurad, K. a.-T. (2001). Emanation Power of Radon and Its Concentration in Soil and Rocks. *Radiation Measurements* , 423-426.

Aharmim, B., Sabir, A., & Marah, H. (2002). Intrinsic efficiency of LR-115 in alpha particles detection: simulations and experiments. *Radiat. Meas* , 307-313.

Ajay, K. S. (2014). Estimation of Radon Exhalation Rate and Radium Content in Soil Samples of Pathankot District, Punjab Using LR-115 Plastic Detector. *International Journal of Education and applied research* , 1-3.

Annunziata, M. F. (2007). Radioactivity Introduction and History. *Elsevier* , 10-132.

Arevalo, G. . (2009). *Manual de Fertilizantes y Enmiendas*. Honduras: Abelino Pitty.

ATSDR. (1990). *RESUMEN DE SALUD PÚBLICA, RADIO*. Springfield: DEPARTAMENTO DE SALUD Y SERVICIOS HUMANOS de los EE.UU., Servicio de Salud Pública.

Avalos, M. d. (1994). *DETERMINACIÓN DE RADIO-226 EN FERTILIZANTES*. Toluca, Mexico: Tesis.

AWWA. (2010). *Water Quality*. American Water Works Association.

Barco, R. O. (2004). Estudio de la distribucion del Boro en un metal vitreo Fe75B25, mediante la absorcion de neutrones termicos. *TESIS* , 21.

BAR-YOSEF, B. (1999). *Advances in Fertigation*. In. *Advances in Agronomy*. Academic Press.

Benes, A. P. (2000). *NTP 728: Exposicion Laboral a radiacion natural* . España: Ministerior de trabajo y asuntos sociales-España.

Binesh, A. P. (2011). Determination of Radon and Radium in Springs, Wells, Rivers and Drinking Water Samples of Ramsar in Iran. *International Journal of Science and Advanced Technology* , 32-36.

Brown, P. (1993). American Martyrs Science through the roentgen Rays. *Springfield Illinois* , 13.

Chen, S. Z. (2005). Soil to plant transfer of ²³⁸U, ²²⁶Ra and ²³²Th on a uranium mining-impacted soil from southeastern China. *J Environ Radioactiv.* , 223-236.

CIPR. (1984). Nonstochastic effects of ionizing radiation. *Ann ICRP* 14(3):1-33. *Comision Internacional para la Proteccion Radiologica* , 1-33.

CSN. (2013). *Conceptos Basicos en Dosimetria Interna*.

DÁVILA R., I. J. (2001). *Caracterización radiológica de agua potable en las ciudades de Zacatecas y Guadalupe del estado de Zacatecas. (Tesis)* . Mexico: Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Físico Matemático, División de Estudio.

Delgado, L. R. (1989). *CARACTERIZACIÓN DE LOS PLÁSTICOS DETECTORES DE TRAZAS NUCLEARES DE ESTADO SÓLIDO , CR-39, Y LR-115 Y SU POSIBLE APLICACION A DOSIMETRIA DE NEUTRONES RAPIDOS Y TERMICOS*. Valdivia, Chile: Tesis, Universidad Austral de Chile.

Durrant, i. S. (1997). *Radon Measurements by Etch Track Detectors*. Singapore: *World Scientific Publishing* .

Eghball, B. D. (2004). Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *University of Nebraska* , 96:442–447.

Ehman, W. V. (1993). *“Radiochemistry and nuclear methods of analysis*. United Kingdom: John Wisely and sons.

Eisenbud M., G. (1997). Environmental radioactivity from natural industrial and military sources. *Academic Press* . , 172.

Ekdal, E. K. (2006). ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb in soils and vegetables in Kucuk Menderes basin of Turkey. *American V-King Scientific Publishing* . , 41, 72-77.

ENGELSTAD, O. P. (1985.). *Fertilizer technology and use*. Madison, Wisconsin: Third edition. Soil Science Society of America INC.

Espinosa, G. (1994). *Trazas Nucleares en Sólidos*. Mexico: Programa Universitario de Medio Ambiente.

Evans, R. (1974). Radium in Man. . *Health Physics*(, 27.

Fathiya, “. A.-d. (2012). Measurement of Radon Exhalation from Building Materials Used in Nablus District, Palestine . *Tesis, University, Nablus, Palestine*. , 18-20.

Ferbel, T. D. (2003). *Introduction to Nuclear and Particle Physics*. London: World Scientific Pub. Co.

Ferrer, A. (2006). *Física nuclear y de partículas (2a ed.)*. Valencia.: Maite Simon.

FINCK, A. (1985). *Fertilizantes y fertilización: fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos*. España: REVERTÉ, S.A.

Flakus, F. (1980). Deteccion y Mediccion de las radiaciones Ionizantes. *OIEA BOLETIN*. , 1-6.

Frenje, J. S. (2002). Absolute measurements of neutron yields from DD and DT implosions at the OMEGA laser facility using CR-39 track detectors. *Rev Sci Instrum* , 73.

FUENTES, Y. J. (1989.). *El suelo y los fertilizantes*. . Madrid: Mundi-Prensa.

Gallego, E. (2010). *Radiaciones Ionizantes y Proteccion Radiologica*. Madrid: Foro de la Industria Nuclear-España .

Garcia, S. N. (2006). *Manejo de Fertilizantes y Abonos Organicos*. Mexico: Camara Nacional de la Industria, Editorial mexicana.

Guevara, S. C. (2015). RIESGOS A LA SALUD POR LA CONTAMINACIÓN RADIOACTIVA DEL AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA. *Tesis* , 1-8.

Guimond r.j. ((1990)). RADIUM IN FERTILIZERS. The environmental behaviour of radium. . 2, 30 .

Guimond, j. (1990). RADIUM IN FERTILIZERS. *The environmental behaviour of radium*. , 2-30.

Hussein, Z. M. (2013). Measurement of radium content and radon exhalation rates in building material . *Int. J. Sci. Eng. Res.*, , 1827-1831.

IAEA. (2010). Handbook of parameter values for prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. . *Internation Atomic Energy Agency*. , 41-63.

IAEA. (2010). Handbook of parameter values for prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. , 2010). *International Atomic Energy Agency* , 41-63.

IAEA. (1989). Measurement of Radionuclides in Food and the Environment. *International Atomic Energy Agency, Vienna*. , 1-6.

IAEA. (1989). Measurement of radionuclides in food and the environment. A guidebook. Vienna. *Technical Reports Series No. 229* .

ICRP. (1996). *ICRP International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Madrid: Sociedad Española de la Protección Radiológica.

ICRP100. (2006). Human Alimentary Tract Model for Radiological Protection.

IFDC-UNIDO. (1998). *Fertilizer manual. International Fertilizer Development Center*. . Alabama. U.S.A.: Reference manual R-1. Kluwer, Acad. Publishers. Muscle Shoals.

Ivanovich., M. H. (1982). URANIUM SERIES DISEQUILIBRIUM, APPLICATIONS TO ENVIRONMENTAL PROBLEMS. *Clarendon Press Oxford*.

J. Glynn Henry, G. W. (1999). *Ingeniería Ambiental*. Mexico: Pearson Education.

Jibiri, N. F. (2007). Activity concentration of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in different food crops from a high background radiation area in Bitsichi, Jos Plateau, Nigeria. *Rad Environ Biophys.* , 46:53-59.

Jimenez, R. B. (2002). ANALISIS POR ESPECTROMETRIA GAMMA DE FERTILIZANTES DE USO EN COSTA RICA. *Agronomía Costarricense.* , 1-3.

Josh, L. i. (1983). RAPID RADIOCHEMICAL SEPARATION OF RADIUM FROM ENVIRONMENTAL SAMPLES USING ION-EXCHANGER ZEOKARB-225. *Journal of radioanalytical chemistry* , 73-79.

Juan Jose Lucena Marrota, M. N. (2009). *Guía, Práctica de la Fertilización Racional de los cultivos en España*. España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

K. Eckerman, J. H.-G. (2012). Compendium of Dose Coefficients based on ICRP. *ELSEVIER* , 72.

Katz, R. (1984). Formation of Etchable Tracks in plastics Nuclear Tracks and radiation measurement. 1-8.

Khadduri, I. (1977). A neutron dosimeter using cellulose nitrate film. *Nuclear Instrum.* , 147, 153-156 .

Knight, M. (1983). Uptake by Plants of Radionuclides from Fusrap Waste Materials. *Argonne National Laboratory.* , 5-7.

Kotlyarov, A. A. (1997). A set of devices for monitoring radon and thoron in various media. *Biomedical Engineering* , 31, 1.

L.Bruzzi, M. B. (1999). RADIOACTIVITY IN BUILDING MATERIALS: EXPERIMENTAL METHODS, CALCULATIONS AND AN OVERVIEW OF THE ITALIAN SITUATION. *Physics Laboratory, National Institute of Health, (Istituto Superiore di Sanità), Viale Regina Elena* , 1-14.

LABORATORY, O. R. (1972). *CHEMICAL TECHNOLOGY DIVISION ANNUAL PROGRESS REPORT FOR PERIOD ENDING MARCH 31*. TENNESSEE: U.S ATOMIC ENERGY COMMISSION.

López-Martínez, J. D.-E.-R.-C. (2001). *Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz.* . Terra Latinoamericana. 19: 293-299.

Lymburner. (2003). Another Human Experiment.DU Education Project, Metal of Dishono. *International Action Center, New York* .

Mahabir Naina, R. (2008). Alpha radioactivity in tobacco leaves: Effect of fertilizers. *ELSEVIER* , 1-5.

Mahaur, A. K. (2008). Measurement of effective radium content of sand samples collected from Chhatrapur beach, Orissa India Using track etch technique. *Radiation Measurements* , 43.

Mahur, A. K. (2008). Estimation of radon exhalation rate, natural radioactivity and radiation doses in fly ash samples from Durgapur thermal power plant West Bengal, India. *J Environ Radioact.* , 1289–1293.

Mahur, A. K. (2008). Measurement of effective radium content of sand samples collected from Chhatrapur beach, Orissa India using track etch technique. *Radiation Measurement* , 43, 520,-522.

Martin-Borret, Y. B. (1974). Conductometric Properties of some solid track detectors and Hypothesis on the track formation mechanism . *Third Inter Congr. of the intern. Rad.Prot Assoc.P.* , 470.

Maurette. (1970). Track formation mechanism in minerals radioactive. 3,149 .

Mengel, K. a. (2000). *Principios de nutrición vegetal*. Swintzerland.: International Potash Institute. Worblaufen-BERN.

Mettler, F. (1995). Medical Effects of Ionizing Radiation. *Nueva York: Grune & Stratton*.

Montalvo, A. C. (2010). Microscopia. . 1-7.

NAS-NRC. (2006). Health Risks from Exposure to low levels of Ionizing Radiation. *Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation*.

Nikezic, D. (2004). Formation and growth of tracks in nuclear track materials. *Mater Sci Eng*, 46.

Nikezic, D. (2003). Sensitivity of LR 115 detectors in hemispherical chambers for radon measurements. *ELSEVIER*, 1-3.

Nikolaev, V. A., & Gromov, A. a. (2001). The device for track detectors etching Tral-1M, Description and Operating instructions. *Khlopin Radium Institute St Petesburg*.

NPFI. (1988). *Manual de fertilizantes*. Mexico: Ed. LIMUSA.

Nuñez, R. (2004). *La Radiactividad, Física Atomica, Molecular y Nuclear*. Zaragoza: Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza.

OIEA. (1986). Biological Dosimetry: Chromosomal Aberration Analysis for Dose Assessment. *Technical report No. 260. Viena*.

ONU. (2002). *Los fertilizantes y su uso FAO*. Roma: FAO.

Peterson, J. M. (2007). Radiological and Chemical Fact Sheets to support Health Risk Analyses for Contaminated Areas. *Argonne National Laboratory, EVS*, 42-44.

Picon, F. C. (2007). Datación Radiactiva. 9-13.

Pooja Chauhan, R. C. (2014). Measurement of fertilizers induced radioactivity in tobacco plants and elemental analysis using ICAPeAES. *ELSEVIER*, 1-3.

Price, P. a. (1968). Tracks of charged particles in solids. 149-383.

Pulhani, V. D. (2004). Uptake and distribution of natural radioactivity in wheat plants from soil. . *Health Physics Division, Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai, India.* , 8-10.

Rodriguez, S. F. (1982). *Fertilizantes, nutrición vegetal*. Mexico: AGT Editor, S. A.

Ruipérez, L. G. (1980). *Radioactividad del medio ambiente*. Madrid: Alhambra.

Sam, A. A. (1999). Radiological and chemical assessment of Uro and Kurun Rock. *academicJournals* , 65-67.

Serway, R. A. (2004). *Physics for Scientists and Engineers*. New York: W. H. Freeman and Company.

Shakir, M. A. (2010). Recent trends in radiation physics research. *ISBN* , 356-357.

Sofija, C. I. (2004). The first radon map of Vojvodina. *Department of Physics, Faculty of Sciences, University of Novi Sad, Serbia and Montenegro* .

Somogyi G. Hanyadi I. and Varga, Z. (1978). Spark counting of Alpha radiograms recorded on Strippable cellulose Nitrate LR-115 Film . 191-197 .

Somogyi, G. (1990). SomogyThe Environmental Behavior of Radium. . *Technical Reports Series 310. IAEA, Vienna* , 229-256.

Soria, A. F. (2007). *Fisica Nuclear y de Particulas*. Valencia: Universitat de Valencia.

Stone, R. (1959). Maximum permissible exposure standards. Protection in Diagnostic Radiology. *New Brunswick Univ. PRES*.

UNSCEAR. (2000). *Sources and effects of ionizing radiation, Report to the General Assembly Vol. 1*. 2000: United Nations Publishing.

UNSCREAR. (2008.). *Effects of ionizing Radiation*. New York: Report to the General Assembly, Vol.1.

UNSEIR. (1993). United Nations Scientific Committee on the Effects of atomic Radiations, 1993 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. *United Nations Sales Publication, New York* , 94.

Upton, A. (1986). Historical perspectives on radiation carcinogenesis. *Elsevier*.

V. Ramasamy, S. S. (2009). Measurement of Natural Radioactivity In Beach Sediments From. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* , 1-5.

Vandenhove, H. V. (2010). Radium , Radionuclides in the Environment. . *ATWOOD D. ED, WILEY, CHICHESTER*. , 97-108.

Ward, J. (1988). DNA damage produced by ionizing radiation in mammalian cells: identities, mechanisms of formation, and repairability. *Prog. Nucleic Acid Res. Mol. Biol.* , 35: 96–128.

WHO. (2008). *Guidelines for*. Geneva- Suiza.

Young, D. (1958). Etching of Radiation Damage in Lithium Fluoride. 182, 375.