



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**ESTUDIO MEDIANTE TÉCNICAS NUCLEARES, DE  
CONTAMINANTES RADIOLÓGICOS EN CARNE DE POLLO DE  
ENGORDA PROCESADO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
QUÍMICA DE ALIMENTOS**

**PRESENTA**

**BERENICE VILCHIS LUGO**



**MÉXICO, D.F.**

**2016**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** EDUARDO MENDOZA MARTÍNEZ

**VOCAL:** MIGUEL ÁNGEL HIDALGO TORRES

**SECRETARIO:** GUILLERMO C. ESPINOSA GARCÍA

**1ER. SUPLENTE:** JUAN DIEGO ORTIZ PALMA PÉREZ

**2° SUPLENTE:** ISRAEL GARCÍA CANO

## **SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**INSTITUTO DE FÍSICA, UNAM. PROYECTO DE APLICACIONES DE DOSIMETRÍA. EDIFICIO VAN DE GRAFF.**

**LABORATORIO: A-23 Y FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM. CONJUNTO E, EDIFICIO E-3,**

**LABORATORIOS: 301, 302 Y 303. CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F. MÉXICO.**

## **ASESOR DEL TEMA:**

**GUILLERMO C. ESPINOSA GARCÍA**

## **SUSTENTANTE:**

**BERENICE VILCHIS LUGO**

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
<b>1. ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS</b>	<b>4</b>
1.1. IMPORTANCIA DE LA CARNE DE AVE (POLLO)	4
1.1.1. HISTORIA	4
1.1.2. VALOR ECONÓMICO	5
1.1.2.1. PRODUCCIÓN	6
1.1.2.2. CONSUMO	8
1.1.2.3. EXPORTACIÓN	9
1.1.2.4. IMPORTACIÓN	10
1.1.3. VALOR NUTRIMENTAL	11
1.1.3.1. PROTEINAS	11
1.1.3.2. NUTRIMENTOS INORGÁNICOS Y VITAMINAS	13
1.1.3.3. LÍPIDOS	14
1.2. FÍSICA	16
1.2.1. RADIOACTIVIDAD	16
1.2.2. FUENTES DE RADIACIÓN	17
1.2.3. DECAIMIENTO RADIOACTIVO	19
1.2.4. INTERACCIÓN DE LA RADIOACTIVIDAD CON LA MATERIA	21
<b>2. INSTRUMENTACIÓN</b>	<b>25</b>
2.1. DETECCIÓN DE LA RADIACIÓN	25
2.2. SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN	25
2.2.1. CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN	26
2.3. DETECTOR DE GERMANIO HIPERPURO	27
2.3.1. FUNDAMENTO DE DETECTOR HPGe	27
2.3.2. COMPONENTES DE SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE DETECCIÓN	30
2.4. ANÁLISIS DE LOS ESPECTROS EN GENERAL	33

<b>3.</b>	<b>PROTOCOLO EXPERIMENTAL</b>	<b>36</b>
3.1	SELECCIÓN DE MUESTRAS Y MUESTREO	37
3.2	PREPARACIÓN DE MUESTRAS	37
3.3	CALIBRACIÓN	38
3.4	ADQUISICIÓN DEL ESPECTRO DE FONDO	39
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>41</b>
4.1	CALIBRACIÓN EN ENERGÍA	41
4.2	MUESTRAS	43
4.3	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	45
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>52</b>
	<b>ALCANCE</b>	<b>53</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>54</b>
	<b>APÉNDICE</b>	<b>58</b>

## **INTRODUCCIÓN**

En la naturaleza, desde los orígenes de la Tierra, han existido las radiaciones que inclusive se encuentra en el organismo humano. Las principales fuentes son el material radiactivo contenido en la Tierra, la radiación cósmica (radiación natural) y la radiación artificial.

En la presente tesis se hace un estudio cualitativo del contenido radiológico en alimentos, carne de pollo, mediante técnicas nucleares con el uso del detector de radiación gamma denominado: HPGe.

Mediante la elaboración de un protocolo experimental que involucra desde la selección y preparación de las muestras hasta su análisis por espectrometría gamma.

Con el protocolo propuesto se puede detectar contaminación radiactiva producida por el humano así como la radiactividad natural presente en los alimentos. En éste trabajo se presenta el análisis de carne de pollo, el cual es importante debido a su gran consumo además de que éste tipo de análisis es requisito en productos de comercio internacional.

## **ESTRUCTURA**

La estructura de esta tesis se compone de cinco capítulos; en el primero se encuentran los antecedentes y fundamentos en el que se detalla la importancia del estudio de la carne de pollo mediante su valor económico y nutrimental; también es la base para la elección de la parte anatómica de la especie *Gallus sp.* que se analiza. Así como los fundamentos necesarios para comprender el campo de la física que estudia la radiactividad.

En el capítulo dos se describe el tipo de instrumentación usada para la detección de la radiación así como la electrónica asociada; seguido del capítulo tres donde se figura el protocolo experimental que se desarrolló e implementó para el análisis espectrométrico gamma de las muestras de carne de pollo.

Al principio del capítulo cuatro se muestran los resultados obtenidos de calibración y las muestras, en el apartado 4.3 se encuentra el análisis de los mismos; con ello se obtienen las conclusiones en el capítulo cinco.

Por último se muestra el alcance de la presente tesis y en forma de apéndice se encuentran los espectros de radiación que se obtuvieron como resultado del análisis del contenido de radiación gamma en la matriz alimentaria. Así como la comparación de ellos respecto al espectro de radiación perteneciente al fondo.

## OBJETIVOS

Los principales objetivos que se proponen en la realización de esta investigación sobre el “*análisis de contenido radiológico*” son los siguientes:

### 1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general es determinar la presencia, o ausencia, (análisis cualitativo) de radionúclidos en la pierna y pechuga de pollo.

### 2. OBJETIVOS PARTICULARES

- Conocer el entorno radiactivo natural al que están expuestas la población y los alimentos.
  
- Manejo y uso de espectrometría gamma, con el detector de Germanio Hiperpuro.
  
- Establecer un protocolo de análisis con espectrometría gamma. Para su aplicación como base en el análisis de alimentos de comercio internacional y también para un monitoreo continuo de los alimentos de consumo nacional.



# 1. ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS

---

## **1.1. IMPORTANCIA DE LA CARNE DE AVE (POLLO)**

### **1.1.1. HISTORIA**

Los más antiguos fósiles conocidos de un ave son los de *Archeopterix lithographica* descubiertos en depósitos del Alto Jurásico en Alemania, de acuerdo a sus características fisiológicas se indica que desciende de reptiles de hace 225 millones de años.

El ancestro del gallo y de la gallina doméstica es el *Gallus bankivaoriginarias* del Sureste asiático, aunque existen otros posibles precursores que son el *Gallus sonneratii* de la India y el *Gallus stanleyii* nativo de la isla Sri Lanka. Pero fue el ancestro asiático el que se extendió hacia el Occidente hasta llegar a la India y ahí fue donde ocurrió su domesticación. Mediante viajes de comercio la gallina llegó al Sur de Europa y el Norte de África. Márquez, 2008.

Una vez los pollos fueron domesticados, dieron como resultado múltiples contactos culturales, comerciales, de migración y de conquistas territoriales, debido a su introducción en diferentes regiones de todo el mundo durante miles de años.

Una actividad avícola importante en la Magna Grecia, fue la crianza de gallos de pelea.

Hace más de 4000 años, desde el valle del Indo los pollos llegaron a Egipto como aves de pelea y como objetos decorativos para jardines exóticos. Una vez dominada la técnica de incubación, el pollo pasó a Roma, cuyos ciudadanos lo convirtieron en un manjar y le aplicaron sus innovaciones culinarias. Márquez, 2008.

En el continente americano, desde antes de la llegada de los españoles se practicaba la cría de aves de corral. Durante la época colonial los empleados de las haciendas mantenían a sus aves para autoabastecimiento y en la década de 1950 existían granjas que abastecían a las zonas urbanas.

Los ejemplares iniciales de la gallina doméstica o *Gallus gallus domesticus* fueron traídos por los primeros colonizadores españoles durante el segundo viaje de Colón en el año 1493. Márquez, 2008.

En el siglo XX la producción tecnificada ha remplazado a la producción semitecnificada y a la de traspatio que se practicaba en áreas cercanas a las zonas urbanas en expansión. En el presente siglo la industria avícola se ha extendido hasta ocupar el primer lugar en el consumo de carnes producidas en México, específicamente en el año 2012.

### **1.1.2. VALOR ECONÓMICO**

De acuerdo a la definición de avicultura por parte de SAGARPA, en el presente estudio la carne analizada será de ave pesada o ave ligera y/o semipesada.

La avicultura mexicana en 2012, aportó al sector productivo el 0.77% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional total, el 19.7% en el PIB

agropecuario y el 40.9% en el PIB pecuario (UNA, 2012). La industria genera un millón 188 mil empleos en el país, la mayoría de ellos en comunidades rurales (SAGARPA, 2013) y de los cuales 275 mil son directos (UNA, 2013), específicamente el 60 % de los empleos los genera la rama avícola de pollo, el 38% la de huevo y solo un 2% la de pavo.

El sector avícola mexicano participa con el 63% de la producción pecuaria; 34.6% aporta la producción de pollo, 27.9% la producción de huevo y 0.10% la producción de pavo (UNA, 2012).

La producción de la industria en el 2013 tienen un valor superior a los 128 mil 403 millones de pesos con una producción de cinco millones 436 mil 131 toneladas de huevo, pollo y pavo (UNA, 2014).

De 1994 al 2012 el consumo de insumos agrícolas, ha crecido a un ritmo anual de 2.8%, y cabe destacar que la avicultura es la principal industria transformadora de proteína vegetal en proteína animal.

#### 1.1.2.1. PRODUCCIÓN

La producción tecnificada y masiva de pollo de engorde despegó en la década de 1960, con 70 millones de aves de las cuales 21 millones eran destinadas para pollo de engorde (Márquez, 2008), las aves requerían consumir 2.5 Kg de alimento para producir 1 Kg de carne, éste proceso se relaciona con la introducción de la tecnología transnacional, que permitió reducir los ciclos de engorda, así como incrementar la productividad avícola (Gómez, 1990).

La producción de pollo en México, durante el periodo de 1994 a 2012 aumentó a un ritmo de crecimiento anual del 4.3 por ciento. En el 2012 la parvada se conformó por: 466 millones de aves, 137 millones de

gallinas ponedoras, 270 millones de pollos al ciclo y 512 mil pavos al ciclo; de los cuales se produjeron 3.002 millones de toneladas de carne de pollo, muy por encima de los demás cárnicos.

Durante 2013, la producción

registró una disminución del 1.8%, respecto a lo crecido en 2012 se cree que es como consecuencia a el problema de la gripe aviar en Jalisco, el encarecimiento de los granos y por la importación de pierna y muslo de pollo procedente de EUA. Por semana nuestro país produce alrededor de 28 millones de pollos (UNA, 2012).

Durante el 2012, el 94% de la producción de carne de pollo en México se concentró en los siguientes estados y regiones de la República Mexicana: La Laguna, Veracruz, Querétaro, Jalisco, Aguascalientes, Nuevo León, Puebla, Chiapas, San Luis Potosí, Michoacán, Yucatán, Estado de México, Sinaloa, Guanajuato y Morelos.

Actualmente los principales estados mexicanos productores de carne de canal de ave de acuerdo al volumen de producción son Jalisco, Veracruz y Durango con una producción de 322,239 ton, 296,593 ton y 287,709 ton respectivamente (SIAP, 2014). Al cierre de 2013 la producción alcanzó 135 mil mdp generando 5.3 millones de toneladas (Financiera Nacional de Desarrollo, 2014)

Además, de acuerdo al Índice de Volumen Físico pecuario, realizado por SIAP, se sabe que dentro de la producción pecuaria, la carne de pollo y gallina se encuentra en primer lugar con 229 538 ton muy por encima de la de bovino y porcino, como se muestra en la Tabla 1.1.2.1.1.

En el ámbito internacional, el país mayor productor de carne de pollo Broiler es Estados Unidos de América con 17,254 miles de toneladas hasta abril 2014, seguido de China (13,000 miles de toneladas) y Brasil

con una producción de 12,680 miles de toneladas, en el séptimo lugar se encuentra México con una producción de 3,060 miles de toneladas (USDA, 2014).

Tabla 1.1.2.1.1. *Especies y productos más significativos en el Índice de Volumen Físico (IVF) agropecuario.*

Especie/ producto		2014 Enero (ton)	Variación porcentual <sup>a</sup>
Carne en canal	Pollo y gallina	229,538	1.7
	Bovino	145,688	0.9
	Porcino	103,239	2.5
	Huevo	196,034	4.6
Leche de bovino		848497 It	2.2

<sup>a</sup> Variación porcentual entre el año 2013 y 2014. Fuente: Adaptado de SIAP, SAGARPA. Índice de volumen físico agropecuario, febrero 2014.

#### 1.1.2.2. CONSUMO

Existen diferentes factores que favorecen el consumo de carne de pollo, entre los que se encuentran: 1) la tendencia de consumo hacia carnes con bajo contenido de grasa y 2) menos colesterol que otros alimentos de origen animal; 3) producto nutritivo con proteína de alta calidad; 4) puntos de venta cerca del consumidor; 5) incremento de restaurantes que usan la carne de pollo como comida diaria y 6) carne que permite varias formas de preparación.

En la alimentación del mexicano, el sector avícola juega un papel importante, ya que 6 de cada 10 personas incluyen en su dieta productos avícolas como pollo y huevo (UNA, 2012).

El consumo de pollo registro un crecimiento acelerado, al pasar de 5.9 Kg por habitante al año en 1980 a 30.1 Kg para el 2008. Mayor a el

consumo de carne de bovino y de puerco que es de 18.1 Kg y 14.2 Kg por habitante al año, respectivamente (Ocha, 2013).

El consumo de carne de pollo per cápita durante el 2013 es de 24.8 Kg, sin embargo al tomar en cuenta la producción nacional y las importaciones a nuestro país se tiene que el consumo aparente es de 28 Kg (UNA, 2012). De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía durante el 2012 el principal consumo aparente de productos agropecuarios es el pollo con 3359 miles de toneladas, seguido por el porcino y bovino con un consumo aparente de 1973 y 1897 miles de toneladas respectivamente.

En nuestro país los estratos de consumo bajo y medio con los niveles de ingreso bajo, medio y alto demandan principalmente los cortes de pechuga, pierna y muslo en una proporción de 60.1% mientras que estratos de consumidores bajos y medios con ingresos bajos demandan con 7.1% los llamados cortes populares: pollo entero, retazo y surtida (Arenas, 2010).

#### 1.1.2.3. EXPORTACIÓN

Las exportaciones mundiales de carne de pollo han crecido más de 25% en los últimos cinco años, con más de 80% del crecimiento atribuido a Medio Oriente y África Subsahariana (Blasina, 2013). Existen tres grandes exportadores: Brasil, Estados Unidos de América y la Unión Europea que prácticamente abarcan tres cuartos de los envíos totales.

Brasil exporta 3.6 millones de toneladas, su principal estado exportador es Paraná y el mayor comprador del país es Arabia Saudita. Estados Unidos de América principalmente exporta a México, Irak y África subsahariana.

En México están valoradas las exportaciones avícolas en 262,285.32 dólares (SIAP, 2014).

Dentro de los factores que influyen en la exportación en productos de carne de ave, ovoproductos, preparaciones alimenticias y huevo para plato, son las enfermedades, como por ejemplo la influenza aviar H7N3, ocurrida en el 2012 en Jalisco que provocó el freno al país de ser reconocido como libre de la enfermedad; el cierre de mercados internacionales como Guatemala, Costa Rica, Perú, entre otros. Las pérdidas a las exportaciones se ven reflejadas en: retorno de embarques, cancelación de compromisos de compra, e ingreso de divisas, lo que representan pérdidas económicas y de tiempo.

En el año 2014 se ha visto afectado el sudeste asiático por el virus de la gripe aviar A(H5N6) que es altamente patógeno, lo que representa una amenaza viral como lo fue el virus H5N1 que afectó a los medios de subsistencia de millones de personas y originó daños por valor de miles de millones de dólares (FAO, 2014).

#### 1.1.2.4. IMPORTACIÓN

La Secretaría de Economía publicó el Decreto que modifica la Tarifa de la Ley de los Impuestos Generales de Importación y de Exportación el cual establece un arancel-cupo (300 mil ton) exento para la importación de carne de pollo fresca, congelada o refrigerada proveniente de cualquier parte del mundo. Dichas medidas se tomaron ante la contingencia de influenza aviar que se presentó en 2012. El periodo de aplicación del Decreto es del 16 de mayo del 2013 al 31 de diciembre (Guajardo, 2014).

Cada año se importan más de 500 millones de toneladas de productos de ave, un 97% de carne y 3% de huevo. En 2012 se importó 14.2% más que el año anterior, pero lo doble de los últimos 15 años, lo que significa que la Tasa de Crecimiento Anual de 1996 al 2010 es de 10.2 por ciento.

El valor comercial de la importación de productos avícolas reportado durante enero 2014 es de 62 068 383.48 dólares (SIAP, 2014). Por su parte las importaciones de pollo de Estados Unidos de América a México representaron para el 2013: 13.4% (UNA, 2014).

### **1.1.3. VALOR NUTRIMENTAL**

La composición nutrimental de la carne de pollo está influenciada por el tipo de alimentación, edad, sexo y raza. Se presentan pérdidas nutritivas después de su elaboración, durante su almacenamiento y su preparación culinaria (Bonilla, 1985).

#### 1.1.3.1. PROTEINAS

La unidad estructural de las proteínas son los aminoácidos, entre sus funciones se encuentran aportar energía, proporcionar soporte mecánico a las células y tejidos, ser precursores de metabolitos, entre muchas otras. Existe un total de 190 aminoácidos conocidos de los cuales sólo 20 son necesarios para sintetizar proteínas y de éstos 20, 8 no pueden ser producidos por el cuerpo humano, es por esto que los hace indispensables en la dieta, por lo tanto tienen que ser suministrados por los alimentos.



La carne de pollo constituye uno de los alimentos más ricos en proteína (cárnicos) con un contenido medio de 22.8% (en pechuga), posee proteína de muy buena calidad al contener todos los aminoácidos indispensable para la dieta (ver tabla 1.1.3.1.1), en proporciones adecuadas a las requeridas para el buen desarrollo de los tejidos humanos (Hernández, 1999).

Tabla 1.1.3.1.1. Composición en aminoácidos\* de las proteínas en alimentos.

Amino-ácido	Trigo	Soja	Leche (vaca)	Huevo	Carne magra de vacuno	Pollo	Pescado
Ile	210	280	350	350	320	290	330
Leu	420	490	640	520	500	470	530
Lys	150	400	510	390	570	560	610
Met	100	80	180	200	170	150	180
Phe	280	310	340	320	280	280	260
Thr	170	240	310	320	290	260	300
Trp	70	80	90	110	80	70	80
Val	280	300	460	470	330	300	360

\*mg/g de nitrógeno

La histidina y arginina no se han incluido por ser indispensables sólo para los niños, la tirosina y cisteína se han incluido por ser indispensables a la dieta cuando es deficiente en fenilalanina y metionina respectivamente. Elaboración propia en base a los datos de Hernández, 1999.

Las proteínas mayoritarias en la carne son actina y miosina que son de gran valor biológico, contrario a la presencia del colágeno que es abundante en el tejido conjuntivo (Hernández, 1999). En la tabla 1.1.3.1.2 se presenta una comparación entre el porcentaje de proteína de carne de pollo, de vacuno, de cerdo, de ternera, de venado y de carnero, desde dos diferentes fuentes que son Food and Agriculture Organization (FAO) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía

(INEGI). Se observa que de acuerdo a la FAO la carne de pollo se posiciona en el puesto número uno con 22.8% de proteína mientras que en los datos de INEGI (2014) se ubica en el tercer lugar con 18.6% de proteína.

Tabla 1.1.3.1.2. Comparación de contenido proteínico por cada 100 gramos de alimento de acuerdo a estudios realizados por la FAO e INEGI.

<b>Producto</b>	<b>Porcentaje de proteína</b>	
	<b>FAO</b>	<b>INEGI</b>
Carne de pollo	22.8	18.6
Carne de vacuno (magra)	16.5	20.9
Carne de cerdo (magra)	20	19.8
Carne de ternera (magra)	21.3	
Carne de venado (magra)	21.4	
Carne de carnero		13.6

Elaboración propia con datos de FAO e INEGI.

### 1.1.3.2. NUTRIMENTOS INORGÁNICOS Y VITAMINAS

La pechuga es buena fuente de niacina (100 g suministra 67% del requerimiento diario) y vitamina B6 (27% del requerimiento diario) (Bourgues, 2015). Así como una fuente moderada de riboflavina y tiamina. Las vitaminas pertenecientes al grupo B tienen la propiedad de ser hidrosolubles, entre sus funciones se encuentra su intervención en el metabolismo de los macronutrientes y también se asocian con la síntesis de ácidos grasos (Marín, 1996); la vitamina A es importante para el tejido epitelial, las mucosas de las vías aéreas, el aparato urinario, la vista, los huesos y dientes, al ser liposoluble se encuentra en la parte grasa del pollo. En la tabla 1.1.3.2.1 se muestra una comparación del contenido de diferentes vitaminas en la carne, las vitaminas B6 y niacina

se encuentran en mayor proporción en la carne de pollo comparada con las distintas especies animales.

Tabla 1.1.3.2.1. Composición vitamínica de porciones magras de carne, por 100 g de porción comestible.

Vitaminas	Cerdo/ Lomo	Cordero/ Pierna	Vacuno/ Solomillo	Conejo	Pollo/ Pechuga
B <sub>1</sub> (mg)	0.79	0.14	0.12	0.10	0.10
B <sub>2</sub> (mg)	0.20	0.23	0.24	0.12	0.18
B <sub>6</sub> (mg)	0.39	0.33	0.35	0.35	0.35
B <sub>12</sub> (µg)	2.10	1.00	2.00	11.00	0.38
Folacina (µg)	3.20	11.00	8.20	4.80	4.80
Niacina (mg Eq.)	4.1	5.1	6.8	8.7	8.7
Pantotenato (mg)	1.53	1.25	1.45	0.80	0.82
A (µg Eq.)		9.00	0.34	0.34	0.34

Elaboración propia con fuente: Rodríguez, 2008.

Entre los minerales, destaca su riqueza en hierro, que al estar en forma hemo se asimila mejor que el existente en otros alimentos, como por ejemplo las leguminosas; también contiene potasio, fosforo, sodio, calcio, magnesio, hierro, cinc, cobre, azufre, yodo, manganeso y selenio. Los componentes minerales están principalmente asociadas a las fracciones acuosa y proteica de la carne, por ello las porciones magras son más ricas en minerales que los tejidos grasos (Rodríguez, 2008).

### 1.1.3.3. LÍPIDOS

Más del 70% del total del tejido adiposo en la carcasa de pollos es de fácil remoción, la pechuga es uno de los cortes de carne más magros

disponibles en el mercado y es el tejido muscular que predomina en la carne.

Tabla 1.1.3.3.1. Composición grasa de porciones magras de carne, por 100 g de porción comestible.

	Cerdo/ Lomo	Cordero/ Pierna	Vacuno/ Solomillo	Conejo	Pollo/ Pechuga
Grasa total (g)	3.40	12.3	4.5	5.20	<b>1.24</b>
Ácidos grasos saturados (g)	1.20	5.90	2.00	1.80	<b>0.33</b>
Ácidos grasos monoinsaturados(g)	1.30	4.80	1.90	1.40	<b>0.30</b>
Ácidos grasos poliinsaturados (g)	0.60	0.60	0.20	1.50	0.28
Colesterol (mg)	58.0	74.0	67.0	57.0	71.9

Al comparar la carne magra de varias especies (tabla 1.1.3.3.1) se aprecia que la carne de pollo tiene el menor contenido de grasa total, ácidos grasos saturados (AGS) y ácidos grasos monoinsaturados (AGM), (Hernández, 1999). El ácido araquidónico (AGP) y ácido linoleico (su precursor) son abundantes en la grasa de pollo y cerdo.

Ésta primera parte del capítulo uno nos sumerge dentro del campo de la avicultura, específicamente, mostrando la importancia de la carne de pollo en nuestro país. Lo cual se refleja en que ocupa el primer lugar en producción pecuaria; el principal consumo aparente de productos agropecuarios es de productos de pollo; de acuerdo al valor nutrimental, posee todos los aminoácidos indispensables para la dieta, así como contenido de niacina y bajo contenido de grasa total. Lo que demuestra lo relevante que es estudiar la carne de pollo. En la segunda parte del presente capítulo se presentaran los fundamentos físicos de la radiación estudiada en la tesis.

## **1. ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS**

### **1.2. FÍSICA**

Los bloques constructivos básicos del núcleo son el protón y el neutrón. En un átomo neutro, el núcleo está rodeado por un electrón por cada protón que tenga. La suma de la cantidad de neutrones  $N$  y la cantidad de protones,  $Z$ , es el número de masa  $A$ . A una sola especie nuclear que tenga valores específicos de  $Z$  y  $N$  se le llama núclido o nucleído; cuando los núclidos tienen el mismo valor de  $Z$  pero distinto  $N$ , se les llama isótopos de ese elemento, ellos tienen masas distintas porque tienen distintas cantidades de neutrones en sus núcleos.

Casi el 90% de los 2500 núclidos conocidos son radiactivos (radionúclidos); no son estables, sino que se desintegran y forman otros núclidos, emitiendo partículas y radiación electromagnética mediante un proceso llamado radiactividad (Young, 2009).

Las radiaciones pueden ser de dos tipos: las ionizantes y las no ionizantes, las que se estudian en el presente son las radiaciones ionizantes que con energía suficiente provocan la expulsión de electrones de la órbita atómica.

#### **1.2.1. RADIATIVIDAD**

La radiactividad de un elemento es el número total de desintegraciones por unidad de tiempo; la historia de la radiactividad se da por los siguientes acontecimientos.

El estudio de la radiactividad se inició en 1896, Henri Becquerel descubrió una radiación procedente de sales de uranio, que los llamó rayos X. Con investigaciones en las dos décadas siguientes a cargo de Marie Curie, Pierre Curie, Ernest Rutherford entre otros, revelaron que las emisiones consisten en partículas con carga positiva y negativa y en rayos neutros que son alfa, beta (Young, 2009) así como ondas electromagnéticas que son rayos X y radiación gamma, por sus distintas características de penetración.

### **1.2.2. FUENTES DE RADIACIÓN**

Existe radiación a partir de fuentes naturales y las producidas por el ser humano (o también llamadas de origen artificial).

Las principales fuentes de radiación natural sobre la superficie terrestre, el agua, el suelo, el aire y nuestro cuerpo, que siempre han estado presentes, son: la radiación cósmica, el material radiactivo contenido en las rocas y otros elementos del suelo. Los radionúclidos primordiales son aquellas fuentes de radiación que existen en la corteza terrestre desde sus orígenes, así como en sus descendientes en caso de existir. Se han clasificado en dos grupos. El primero es donde se encuentran radionúclidos que se transforman en hijos en un solo paso, entre los que se encuentran el  $^{40}\text{K}$ . El segundo grupo contiene a los radionúclidos de las series de decaimiento radioactivo. (Konya, 2012)

El nucleído radiactivo más abundante en la Tierra es el isótopo del uranio  $^{238}\text{U}$  que sufre una serie de 14 desintegraciones, son 8 emisiones alfa y 6 emisiones beta menos y termina en un isótopo estable del plomo,  $^{206}\text{Pb}$  (ver tabla 1.2.2.a). Las otras series de desintegración

existentes en la naturaleza tienen como padres al  $^{235}\text{U}$  y al  $^{232}\text{Th}$  (ver tabla 1.2.2.), respectivamente (Young, 2009).

Dentro de la radiación interna se encuentran los isotopos radiactivos incorporados a los alimentos que consumimos, en el agua y en el aire las cuales al ser ingeridas o inhaladas se absorben en los tejidos vivos. Los principales isotopos radiactivos que contiene el cuerpo humano son el  $^{40}\text{K}$ ,  $^{14}\text{C}$ .

Tabla 1.2.2. Series de desintegración radiactiva. a) Serie uranio-radio. b) Serie del torio y c) Serie del actinio.

a)		b)		c)	
Elemento	Radiación	Elemento	Radiación	Elemento	Radiación
U-238	Alfa	Th-232	Alfa	U-235	Alfa
Th-234	Beta	Ra-228	Beta	Th-231	Beta
Pa-234	Beta	Ac-228	Beta	Pa-231	Alfa
U-234	Alfa	Th-228	Alfa	Ac-227	Beta
Th-230	Alfa	Ra-224	Alfa	Th-227	Alfa
Ra-226	Alfa	Rn-220	Alfa	Fr-223	Beta
Rn-222	Alfa	Po-216	Alfa	Ra-223	Alfa
Po-218	Alfa	Pb-212	Beta	Rn-219	Alfa
Pb-214	Beta	Bi-212	Beta	Po-215	Alfa
Bi-214	Beta	Po-212	Alfa	At-215	Alfa
Po-214	Alfa	Tl-208	Beta	Pb-211	Beta
Pb-210	Beta	Pb-208	Ninguna	Bi-211	Alfa
Bi-210	Beta			Po-211	Alfa
Po-210	Alfa			Tl-207	Beta
Pb-206	Ninguna			Pb-207	Ninguna

Las radiaciones de origen artificial son debidas a las desintegraciones de radionúclidos producidos en reacciones nucleares provocadas en algunos

dispositivos creados por la acción del humano, tales como reactores nucleares, aceleradores de partículas y explosivos nucleares, o también directamente en el momento de producirse dichas reacciones o como consecuencia de las mismas.

### **1.2.3. DECAIMIENTO RADIATIVO**

Los radionúclidos son inestables y se desintegran por emisión de partículas o radiación gamma para lograr la configuración estable de protones y neutrones en el núcleo (Gopal, 2013).

Al núcleo que decae se le llama núcleo precursor (núcleo padre) y al núcleo producido se le llama núcleo derivado (núcleo hijo). Cuando un núcleo radiactivo decae, es posible que el núcleo hijo también sea inestable, en este caso se produce una serie de decaimientos sucesivos hasta alcanzar una configuración estable. (Young, 2009)

#### ***Decaimiento alfa***

Una partícula alfa ( **$\alpha$** ) es similar a un núcleo  ${}^4\text{He}$ , con dos protones y dos neutrones enlazados entre sí. La emisión alfa se presenta principalmente en núcleos que son demasiados grandes para ser estables. Cuando un núcleo emite una partícula alfa, sus valores de  **$N$**  y  **$Z$**  disminuyen cada uno en dos y  **$A$**  disminuye en cuatro. Las partículas alfa siempre se emiten con energías cinéticas definidas, determinadas por la conservación de la cantidad de movimiento y la energía. Por su carga y su masa las partículas alfa sólo pueden recorrer algunos centímetros en el aire, o algunos décimos o centésimos de milímetro en los sólidos antes de quedar en reposo debido a las colisiones. El decaimiento alfa es posible siempre que la masa del átomo neutro original sea mayor que



la suma de las masas del átomo neutro final y el átomo neutro del  ${}^4\text{He}$ . (Young, 2009)

### ***Decaimiento beta***

Hay tres clases de decaimiento beta: beta menos ( $\beta^-$ ), beta mas ( $\beta^+$ ) y **captura de electrón**. La **emisión de una  $\beta^-$**  implica la transformación de un neutrón en un protón, un electrón y un antineutrino. En el **decaimiento  $\beta^-$**  puede ocurrir siempre que la masa atómica neutra del átomo original sea mayor que la del átomo final.

El **decaimiento  $\beta^+$**  implica la transformación de un protón en un neutrón, un positrón y un neutrino, puede ocurrir siempre que la masa atómica neutra del átomo original es al menos dos masas de electrón mayor que la del átomo final.

El proceso básico de la captura de electrón es que un protón y  $\beta^-$  se transforman en un neutrón y un neutrino. Ocurre cuando la masa atómica neutra del átomo original sea mayor que la del átomo final.

En todos los tipos de decaimiento beta, **A** permanece constante, pero en  $\beta^+$  y captura de electrón, **N** aumenta y **Z** disminuye en uno. (Young, 2009)

### ***Decaimiento gamma***

Un núcleo normal tiene un conjunto de niveles permitidos de energía, que incluyen un estado fundamental y varios estados excitados. En las transformaciones físicas y químicas ordinarias el núcleo siempre permanece en su estado fundamental. Cuando un núcleo se pone en su estado excitado, ya sea por bombardeo con partículas de alta energía o por una transformación radiactiva, puede decaer al estado fundamental emitiendo uno o más fotones llamados radiación gamma, con energía

entre 10 keV y 5 MeV. A este proceso se le llama decaimiento gamma ( $\gamma$ ). **En el decaimiento  $\gamma$  el elemento no cambia, sólo el núcleo** pasa de un estado excitado a uno menos excitado. (Young, 2009)

En un cierto tiempo dado, existe una probabilidad determinada de que un núcleo radiactivo concreto se desintegre, la **tasa de desintegración**, el número de desintegraciones por unidad de tiempo, es proporcional al número de núcleos  $N$  (Rex, 2011). La tasa de decaimiento radiactivo de un isótopo se mide en términos de la **vida media**, se llama así al tiempo que tarda la mitad de una cantidad original de un elemento radiactivo en decaer. (Hewitt, 2009)

#### **1.2.4. INTERACCIÓN DE LA RADIATIVIDAD CON LA MATERIA**

Cada una de las radiaciones nucleares alfa, beta y gamma se caracteriza por su diferente poder de penetración en la materia. Las partículas alfa y beta pierden su energía gradualmente hasta frenarse totalmente a una profundidad determinada, tienen poca penetración en la materia debido a que son partículas cargadas eléctricamente y por lo que interaccionan con la materia.

En general los emisores de partículas alfa no se consideran de riesgo externo, por su bajo poder de penetración (unas micras en piel); las partículas beta penetran centímetros; los emisores de rayos X y radiación gamma, así como los neutrones pueden afectar cualquier órgano.

Existen dos tipos de interacción de las partículas cargadas con la materia: la ionización y la excitación. La ionización es el fenómeno en el

que dichas partículas al recorrer el material le ceden parte de su energía arrancándole electrones de sus átomos y dejándolos cargados positivamente; a estas especies se les llama iones. En éste proceso se liberan electrones. La excitación, por otra parte consiste en que cuando las partículas cargadas atraviesan el material, dejan a los electrones periféricos de sus átomos con mayor energía que la que tenían antes; el átomo queda así con un exceso de energía y puede volver a su estado original básico emitiendo en forma de luz la energía sobrante. El número de iones liberados y el tipo de luz emitida en un material por el paso de la radiación dependen de la energía que pierden las partículas cargadas alfa y beta al atravesarlas.

En cambio un haz de ondas electromagnéticas puede reducir su intensidad a medida que atraviesa un atenuador pero sin ser absorbido. Son tres los procesos por los cuales un rayo X o radiación  $\gamma$  puede atravesar un medio, en los que aparecen partículas cargadas eléctricamente, las que producen a su vez, como fenómenos secundarios la ionización y la excitación. Dependiendo del tipo de interacción, la radiación puede transferir toda o parte de su energía a los átomos del medio, los procesos son efecto fotoeléctrico, efecto Compton y producción de pares que se esquematizan en la figura 1.2.4.1.

Efecto fotoeléctrico. El haz incidente es absorbido por un átomo. La radiación incidente transfiere toda su energía a un electrón de una capa orbital interna, que resulta liberado. Este es el proceso para radiación gamma de más baja energía (hasta varios cientos de KeV; Knoll, 2010) y la probabilidad de que ocurra depende directamente del número atómico (alto) de los átomos del medio atravesado.

Producción de pares. La radiación gamma de más de 5 MeV de energía (alta energía) produce un par de electrones, un negativo (electrón) y

otro positivo (positrón) al acercarse al núcleo de un átomo del medio. El exceso de energía es comunicado en forma de energía cinética al par positrón-electrón. La producción de pares predomina a altas energías y en absorbentes de Z elevado (Faires, 1960).

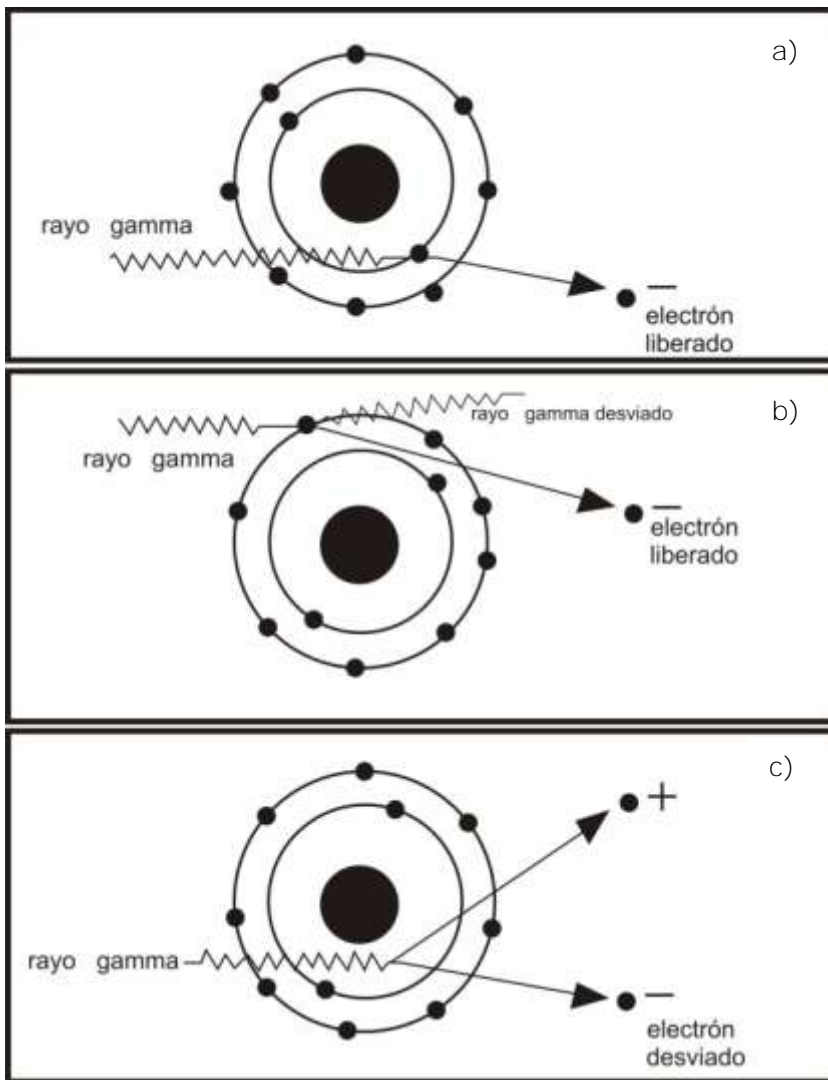
Efecto Compton. La radiación incidente (fotón gamma), es desviada de su trayectoria inicial debido a que choca con un electrón orbital, continúa en otra dirección con menor energía mientras que el electrón es liberado. El fotón secundario gamma puede sufrir otro proceso Compton y así sucesivamente hasta perder tanta energía como para ser absorbido en un proceso fotoeléctrico (Faires, 1960). El efecto Compton es el proceso más probable ya que predomina en el rango de energías entre los extremos de los dos anteriores procesos.

La radiación gamma intensa sufre más interacciones y por lo tanto deposita más energía que la que depositaría un haz de poca intensidad. La energía situada varia con la profundidad en el medio irradiado, es máxima en la entrada del atenuador y decrece con la penetración.

Como las partículas alfa producen el mayor numero de iones en un recorrido dado, penetran una distancia mínima y por lo tanto tienen el menor poder de penetración. El poder de penetración de los tres tipos de radiación es inversamente proporcional al de ionización (tabla 1.2.4.1)

Tabla 1.2.4.1. Poder de ionización y penetración de las radiaciones.

	Alfa	Beta	Gamma
Poder relativo de ionización	10 000	100	1
Poder relativo de penetración	1	100	10 000



**Figura 1.2.4.1. Interacción de radiación gamma con los átomos de un medio: a) efecto fotoeléctrico; b) efecto Compton y c) producción de pares.**

Una vez expuestos los fundamentos de la radiación, sus fuentes, su interacción con la materia y su forma de decaimiento; permite el paso a detallar el tipo de instrumentación usado para la detección de la radiación gamma en las muestras analizadas.

## 2. INSTRUMENTACIÓN

---

### **2.1. DETECCIÓN DE LA RADIACIÓN**

Para detectar la radiactividad se necesitan instrumentos que respondan al paso de ella emitiendo una señal observable, lo cual se obtiene mediante su interacción con la materia. Existe una variedad de instrumentos para detectar la radiación, cada radiación interactúa de diferente forma con la materia, otro factor para determinar qué tipo de instrumentación se emplea son los niveles de radiación, tipo de radiación y energías.

La espectrometría gamma es un importante método para la determinación de la energía de la radiación tipo gamma de una muestra. Las muestras producen radiación gamma de varias energías e intensidades características de cada núcleo. Mediante la espectroscopia se determina la identidad y cantidad de estos emisores. La detección de los mismos depende de interacciones entre el fotón y el material del detector.

### **2.2. SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN**

Se usó la técnica instrumental que detecta y mide las radiaciones nucleares ionizantes; las detecta a muy baja concentración, esto es necesario debido a que se analizan muestras de alimentos de consumo cotidiano.

La instrumentación que cuenta con dichas características es el detector de germanio de alta pureza (HPGe) que pertenece a la categoría de detectores semiconductores.

Características del detector que lo hacen superior:

1. Resoluciones excelentes.
2. El tiempo de resolución es muy pequeño.
3. Las características de estos detectores hacen que sea posible la medida simultánea de un conjunto de radionúclidos sin la necesidad de realizar procedimientos de separación química.

### **2.2.1. CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN**

#### RESOLUCION ENERGÉTICA

La resolución energética (R) de un detector se define como el cociente  $\Delta E/E_0$  siendo  $\Delta E$  la anchura total a media altura (FWHM: full width at half maximum) de la curva de Gauss correspondiente a la medida de un haz monoenergético de energía  $E_0$  (curva de resolución).

Hay mayor resolución energética cuanto mayor sea el número de portadores de carga implicados en la señal. Los detectores de cristal semiconductor necesitan baja energía para crear un par, el número de cargas implicadas en la señal es elevado y su resolución en energía es alta.

La energía de resolución del detector de Ge es dada por dos componentes: que es la anchura debido a los efectos del detector y la anchura de los efectos de la electrónica.

## TIEMPO DE RESPUESTA

Es el tiempo que transcurre entre el paso de la partícula y la formación de la señal, viene determinada por el flanco de subida del pulso electrónico. Contribuye al tiempo muerto. (Ferrer, 2005)

## **2.3. DETECTOR DE GERMANIO HIPERPURO**

### **2.3.1. FUNDAMENTO DE DETECTOR HPGe**

Las radiaciones al atravesar un semiconductor (cristal de germanio), producen en él una serie de pares electrón-hueco, los cuales se desplazan por el interior del material cuando al mismo se aplica un campo eléctrico, generando un impulso o una corriente que puede ser detectada por un dispositivo exterior. A continuación se explica el procedimiento.

Los semiconductores en estado sólido como el germanio forman cristales. Los cristales de germanio puros, tienen una estructura en la que cada átomo está enlazado a otros cuatro vecinos. Cada uno de estos elementos tienen cuatro electrones de valencia, si de un enlace de valencia se libera uno de los electrones, se dice que se ha creado un *par electrón-hueco*, donde el hueco se mueve, por el hecho de que se crea un nuevo hueco cuando un electrón abandona un átomo vecino para llenar el primer hueco o vacante. Así, el electrón es un portador de carga negativa mientras el hueco actúa como un portador de carga positiva.

Al introducir cantidades determinadas de átomos pentavalentes, como fósforo o antimonio, en la estructura cristalina, habrá un exceso de



electrones. Estos átomos de impurezas agregadas se llaman donadores y el tipo de semiconductor así formado se llama del tipo n, que es el tipo de semiconductor usado. Aunque el electrón extra sigue unido al átomo de la impureza, se necesita mucha menos energía para desprenderlo del átomo en comparación con la que se necesitaría sin la impureza.

El detector se construye por difusión de fósforo, hasta una profundidad de 1 micra en una placa de silicio del tipo p. Entonces se conecta una batería a través del dispositivo para establecer una región de campo eléctrico, o región de empobrecimiento, que es proporcional al voltaje de la batería. Es dentro de esta región donde la partícula nuclear incidente ha de perder toda su energía a fin de que su impulso de salida sea proporcional a la energía cinética de la partícula. El campo eléctrico en la región de empobrecimiento arrastra los portadores de carga en esta región y el pulso de salida es así función del número de portadores recogidos. (Mann, 1968)

La diferencia entre la energía de unión de los electrones asociados a los átomos y la energía débil de unión colectiva no es muy grande. Cuando la temperatura aumenta la agitación térmica puede hacer migrar algunos electrones de la banda de valencia a la banda de conducción.

#### SISTEMA CRIOSTÁTICO

Para la correcta operación del detector, se enfría mediante el uso de un criostato que se encuentra en contacto directo con el nitrógeno líquido (83 K) contenido en el Dewar, cuya capacidad es de 30 litros. Se enfría el detector mientras es usado para que no resulte dañado por la aplicación de un alto voltaje.



**Figura 2.3.1.1. Criostato. Contiene Dewar y detector.**

#### BLINDAJE DEL DETECTOR

Debido a que el sistema se emplea para medidas de bajo nivel, se necesita minimizar la radiación detectada ajena a la muestra. El tipo de blindaje usado se denomina blindaje pasivo dado que sólo se encarga de frenar la radiación ambiental. El blindaje pasivo que se emplea está construido con plomo viejo ya que es un material de alta densidad y elevado número atómico (210). La capa exterior es de plomo, la siguiente de cobre y por último la de aluminio. El blindaje consiste en un dispositivo cúbico, de un grosor de 10 cm (figura 2.3.1.2).



**Figura 2.3.1.2. Blindaje del detector y a su izquierda, entrada de depósito de N<sub>2</sub> líquido**

El contenedor de la muestra (fig. 2.3.1.4), Marinelli, es un envase de polipropileno de alta densidad con geometría  $2\pi$  con forma de anillo lo que permite tener mayor incidencia de la radiación de la muestra con el detector (figura 2.3.1.3).



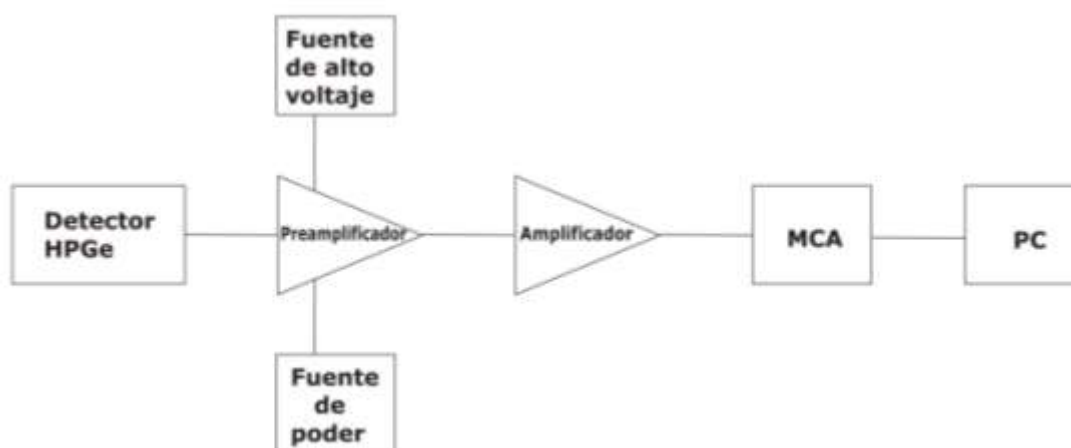
**Figura 2.3.1.3. Detector, lugar donde se coloca el contenedor Marinelli. Dentro del blindaje.**



**Figura 2.3.1.4. Contenedor Marinelli**

## **2.3.2. COMPONENTES DE SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE DETECCIÓN**

En la siguiente figura se muestran los componentes que hacen posible la detección de radiación gamma en las muestras de alimentos analizadas.



**Figura 2.3.2.1. Representación de la cadena electrónica asociada al sistema de espectrometría. PC: Ordenador Personal**

## PREAMPLIFICADOR

El detector HPGe está conectado a un preamplificador de marca Ortec. La función principal del preamplificador es transformar el pulso de carga en un pulso de voltaje además de actuar como un transformador de impedancia, esto es para dar un buen ajuste entre el detector de alta impedancia y el cable de baja impedancia usado para transmitir las señales del detector a los instrumentos a él conectados.

## FUENTE DE VOLTAJE

La fuente de voltaje se encarga de establecer el campo eléctrico en el interior del detector. Proporciona voltajes en el intervalo de 0-5000V, siendo el voltaje de operación óptimo para el estudio de +3500 V.

## AMPLIFICADOR

Las señales del preamplificador se transmiten al amplificador, modelo 570, marca Ortec. Que como su nombre lo dice, sus funciones son amplificar y dar forma al pulso eléctrico.

Para el proceso de amplificación de los impulsos, se emplea un amplificador lineal de impulsos, que es un instrumento electrónico construido a base de tubos de vacío o transistores. Dicho instrumento puede amplificar impulsos con tiempos de levantamiento de  $10^{-8}$  segundos.

El amplificador se ajusta a través de perillas (figura 2.3.2.2) en la que se modifica la ganancia gruesa (20) y la ganancia fina (0.94) la cual permite precisar la calibración en una relación entre la amplitud del pulso de salida del amplificador (V) y la energía de radiación absorbida por el detector (eV). El tiempo de formación ( $1\mu\text{s}$ ) de la señal es proporcional a la forma de la señal y su relación señal-ruido.

## ANALIZADOR MULTICANAL

Mediante el analizador multicanal de alturas de pulsos (MCA, Multi-channel analyzer) se puede observar todo el espectro simultáneamente. El analizador a usar posee 16 383 canales, estos instrumentos utilizan un método basado en la conversión de la altura del pulso en tiempo, requiere solo un circuito para determinar dicha altura. El MCA utilizado en este estudio es de la marca Ortec – Modelo Aspec-927 (Ver figura 2.3.2.2).

El intervalo de tiempo determina así la energía relativa de un impulso dado y, después de cada una de estas medidas de tiempo, se almacena la cuenta en una memoria, en el canal apropiado (Mann, 1968), cada canal acepta sólo los pulsos que poseen una altura determinada y los acumula en la memoria para ser contabilizados.

Se obtiene como resultado el espectro diferencial de altura de pulsos (espectro de radiación gamma), que representa la distribución de frecuencias de las alturas de pulsos. El programa informático que se empleó es el software ORTEC MAESTRO, que trabaja en entorno WINDOWS, para analizar la adquisición de dichos espectros.

El convertidor analógico digital, forma parte del MCA. Es el dispositivo que determina la altura de los pulsos eléctricos procedentes del amplificador, transformando la señal analógica en un dígito, denominado canal, que es proporcional al voltaje máximo de dicha señal y por tanto también proporcional a la energía depositada por la radiación en el detector.

Para la calibración de energía se registra un espectro de una fuente conocida y de aquí se determina la asignación de los números de canal-energía.



**Figura 2.3.2.2. Cara frontal de instrumentación: 1) Analizador MCA 2) Fuente de alto voltaje 3) Amplificador 4) Fuente de poder**

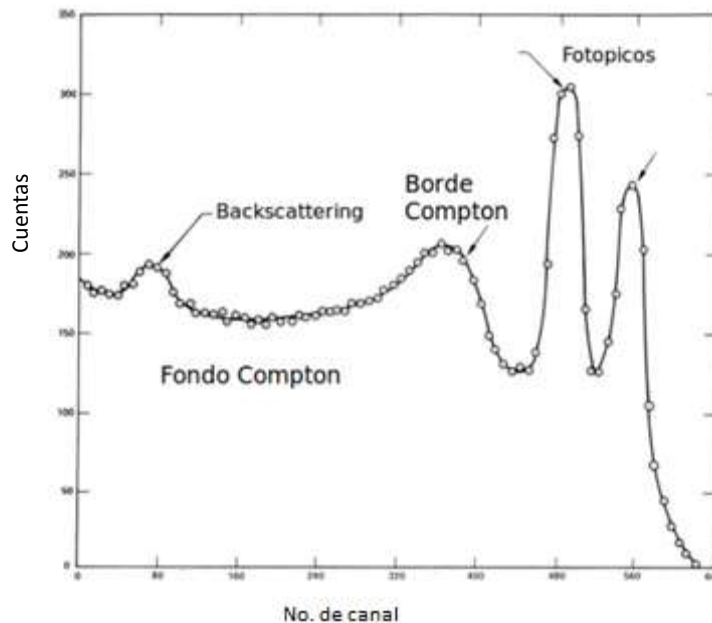
## **2.4. ANÁLISIS DE LOS ESPECTROS EN GENERAL**

Después de explicar la interacción de la radiación gamma con la materia así como el funcionamiento del detector usado y la electrónica asociada, se hará el análisis en general de la información obtenida por el detector que son los espectros, es decir el número de cuentas detectadas en función de la energía.

La información que ofrece un espectro es: 1) radiación de fondo, la cual consiste en la radiación natural y las radiaciones producidas por el

hombre en un lugar determinado cabe señalar que se incluye los materiales de blindaje y 2) la radiación propia de la muestra.

Los mecanismos fundamentales de interacción son el efecto fotoeléctrico es el principal causante de los fopicos en el espectro mientras que el efecto Compton produce el borde y meseta o fondo Compton, que para fines prácticos nos referiremos a el mecanismo como meseta Compton, dichos mecanismos se reflejan en el espectro gamma como se muestra en la figura 2.4.1.



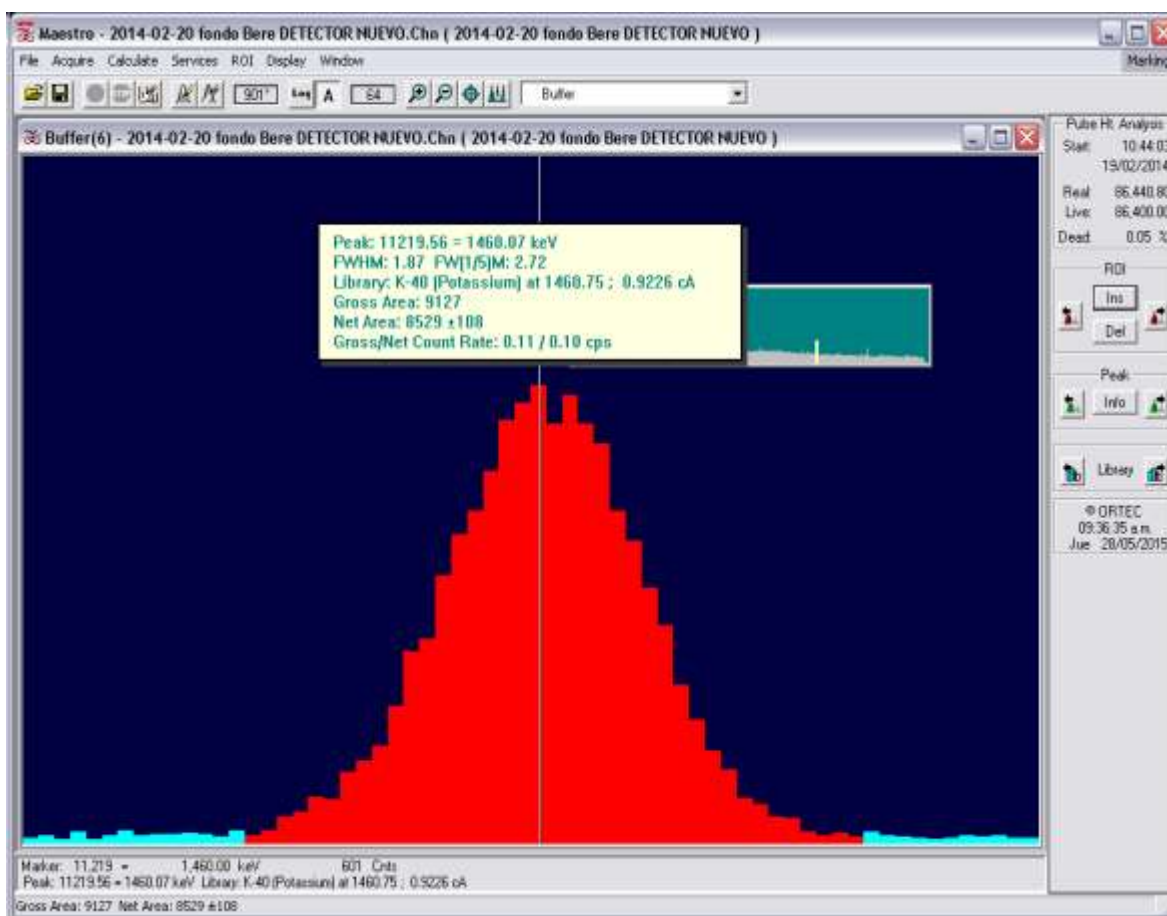
**Figura 2.4.1. Aspecto general de espectro gamma**

#### METODO DE ANALISIS DE UN FOTOPICO

Para analizar los espectros de cada muestra se debe analizar cada uno de los fopicos presentes, mediante el software llamado Maestro, ORTEC. Primero se selecciona el fopico a analizar mediante la función "ROI" (regions of interest) con la cual se marca el área bajo la curva. (ORTEC, 2006)

La información que se obtiene con dicha función es la energía del fotopico, su área gruesa, área neta, FWHM, como se muestra en la figura 2.4.2.

Mediante el software también se puede obtener el número de cuentas bajo la curva de cada fotopico. El número de cuentas es el valor que se encuentra en el eje horizontal del espectro. Debido a que el sistema "cuenta" un impulso eléctrico por cada átomo que se desintegra, entonces se relaciona directamente el número de cuentas con el número de desintegraciones de la muestra.



**Figura 2.4.2. Información del fotopico de 40K en 1460 KeV.**

Después de analizar el tipo de instrumentación a usar, su forma de detección y sus componentes, pasamos al siguiente capítulo que detalla el protocolo experimental que se llevo a cabo.



### 3. PROTOCOLO EXPERIMENTAL

---

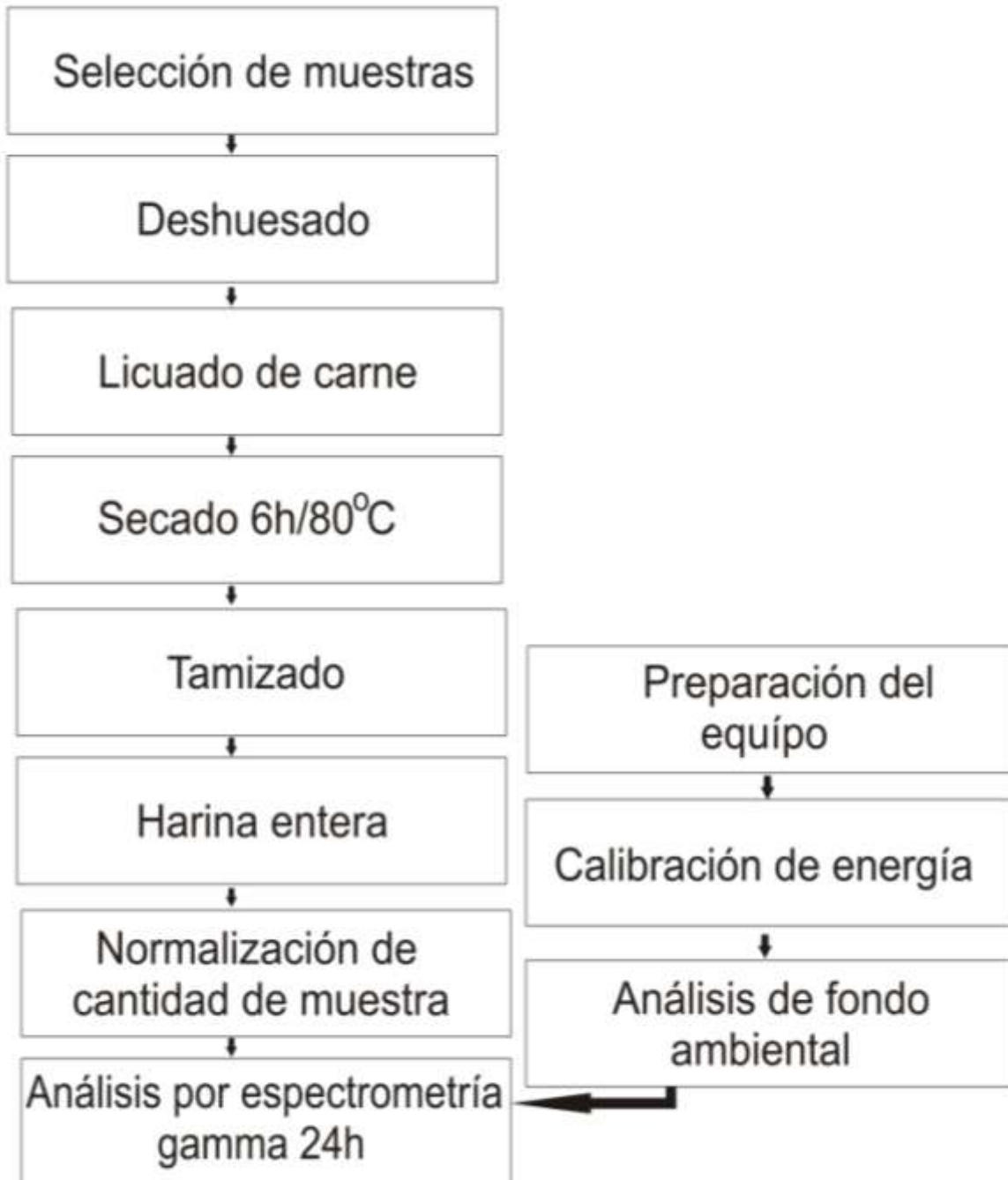


Figura 3.1. Protocolo experimental

### **3.1 SELECCIÓN DE MUESTRAS Y MUESTREO**

Como se ha mencionado antes, el fundamento de la selección de muestras, es que se trata de un producto de gran consumo dentro de la producción pecuaria en tiendas de autoservicio.

Es decir, los productos de pollo, de los cuales se estudiarán la carne de pechuga así como la carne de pierna. La pierna y pechuga son los productos avícolas que se encuentran dentro de los más consumidos como se muestra en el Capítulo 1, además de que el 97% de las importaciones anuales de los productos avícolas es la carne.

Las muestras de las marcas Pilgrim's Pride y Bachoco se adquirieron en tiendas de autoservicio y las muestras de la marca Tyson se compraron en el centro de distribución ubicado en Av. De las Granjas, Azcapotzalco. Se transportaron en hielera cubriendo la muestra con hielo al Laboratorio 301, 302 y 303, del Edificio E-3, Conjunto E de la Facultad de Química, UNAM en Ciudad Universitaria. Se procedió a realizar la preparación de muestra que consiste en deshuesado, licuado, secado y tamizado. Una vez lista la muestra se analizó en el Instituto de Física edificio Van de Graff Laboratorio A-23, UNAM, Ciudad Universitaria.

### **3.2 PREPARACIÓN DE MUESTRAS**

La carne de pollo al ser un alimento perecedero necesita una preparación previa al proceso de detección de la radiación, que consta de 24 horas a temperatura ambiente, la preparación de la muestra se observa en el diagrama de protocolo experimental (figura 3.1).

El proceso de **deshuesado** se hizo de manera manual empleando guantes de látex, se separó la carne del hueso, con la finalidad de obtener la parte consumible. Inmediatamente se procedió a **licuar** la carne en una licuadora Osterizer TM de tipo casero durante un minuto, para obtener una pasta uniforme y así distribuirla en charolas de aluminio, **secándose** durante 6 horas a 80°C en un horno marca Felisa. La finalidad de esta actividad fue la de disminuir la actividad acuosa y, con ello aumentar la preservación del producto, al evitarse la descomposición microbiana y enzimática. Una vez seca la carne, se procedió a su **molienda** en una licuadora Osterizer durante un minuto. Se realizó el **tamizado** de la harina resultante mediante el tamiz de malla número 10 (2.00 mm de abertura).

Posteriormente las muestras se llevaron al Instituto de Física edificio Van de Graff Laboratorio A-23 UNAM, Ciudad Universitaria, para su análisis.

Se **normalizó** la cantidad de muestra a analizar, para compararse entre sí con la menor incertidumbre posible. La masa se estandarizó a 300 g  $\pm 0.1$  g los cuales son suficientes para distribuirse de manera uniforme en toda la capacidad del contenedor Marinelli.

Se **pesó** la muestra y se colocó en el recipiente Marinelli que a su vez se instaló dentro del detector de radiaciones gamma para su análisis.

### **3.3 CALIBRACIÓN**

Antes de analizar las muestras se hizo una calibración del sistema multicanal así como del detector (Hernández, 2012). Que se obtiene al analizar fuentes radioactivas de energías conocidas abarcando un rango

amplio entre cada radionúclido, que da como resultado un espectro de calibración de energías gamma.

Cabe señalar que para la obtención de todos los espectros, que son los de calibración, los de fondo así como de las muestras se realizaron bajo las mismas condiciones que se mencionan en la tabla 3.3.1.

**Tabla 3.3.1 Parámetros del equipo**

<b>Parámetros</b>		<b>Instrumentación donde es controlado</b>	<b>Condiciones</b>
Voltaje		Fuente de voltaje	(+) 3500 V
Ganancia gruesa		Amplificador	20
Ganancia fina		Amplificador	0.94
Tiempo de formación de la señal		Amplificador	1 $\mu$ s
Tiempo de adquisición de espectro	Calibración	PC	7 horas
	Fondo	PC	24 horas
	Muestras	PC	24 horas
Temperatura de criostato		T. de Nitrógeno líquido	83 K

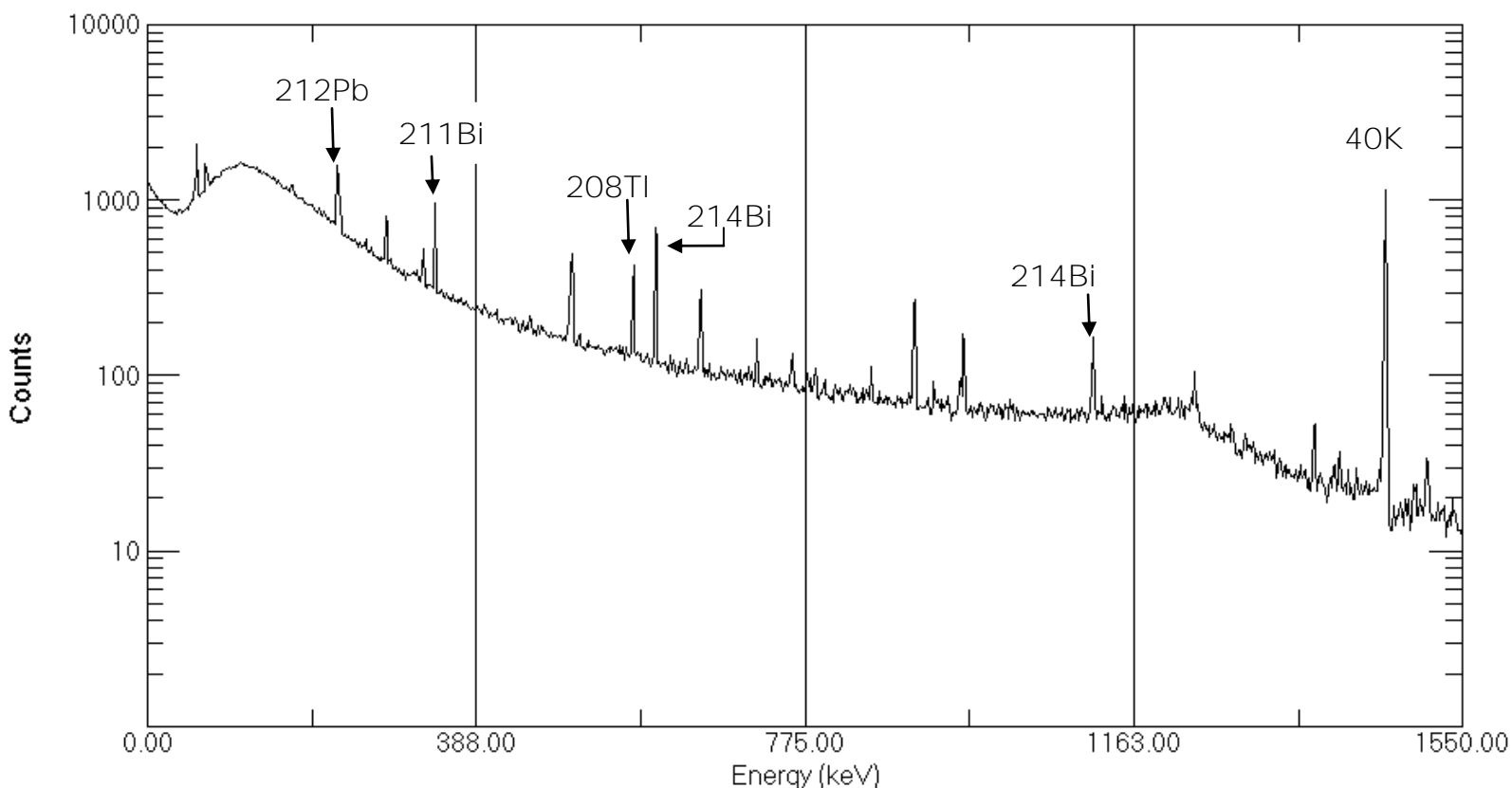
### **3.4 ADQUISICIÓN DEL ESPECTRO DE FONDO**

Para tomar en cuenta la radiación del medio que rodea al detector (ver Capítulo 1) entre la que se encuentra la radiación cósmica así como cualquier fuente de radiación que no sea la contenida en la muestra. Es necesario tomar un espectro de fondo para que la radiación fuera del detector no se tome en cuenta con la lectura de la muestra, lo cual se hace mediante una sustracción del área neta del fotopico de la muestra

menos el área neta del fotopico del espectro del fondo que coinciden en energía entre sí.

Para calibrar el espectro de fondo, así como todos los espectros obtenidos, se usan dos valores conocidos de energía; se utilizó el fotopico de Potasio 40, con energía de 1460 KeV y el punto inicial del espectro con una energía de 0 KeV.

Durante el análisis se obtuvo un espectro sin muestra (fondo) que se encuentra en la siguiente imagen.



**Imagen 3.4.1. Espectro del fondo.**

El protocolo hecho permite el análisis de la muestra de carácter perecedero, lo cual garantiza un análisis óptimo. Como consecuencia de seguir dicha metodología se presentan en el siguiente capítulo los resultados.

## 4. RESULTADOS

---

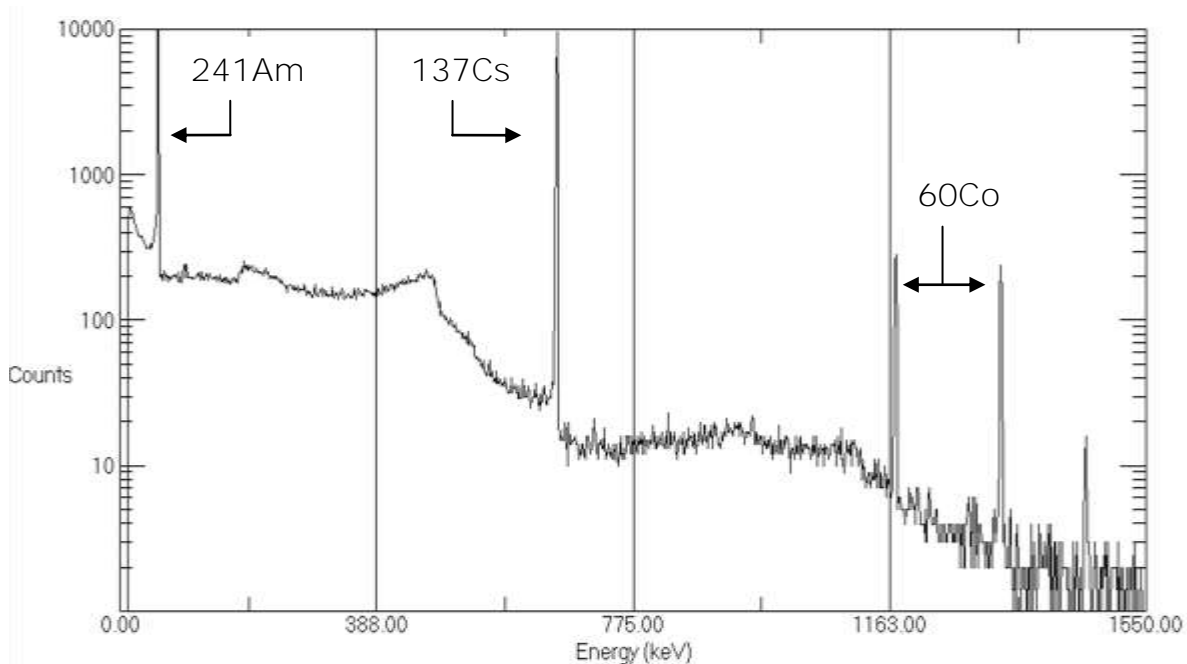
Los resultados siguientes se obtuvieron bajo idénticas condiciones de trabajo en tanto se refiere a las condiciones del espectrómetro gamma HPGe que se muestran en la tabla 3.3.1.

### **4.1 CALIBRACIÓN EN ENERGÍA**

Para la calibración de energía del espectrómetro gamma HPGe se usaron las fuentes radiactivas:  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{241}\text{Am}$ .

La energía perteneciente a cada fotopico del espectro (imagen 4.1), se correlaciona con los datos teóricos (tabla 4.1) y se asocia al radionúclido correspondiente, para un análisis gráfico sobre la relación energía-canal se construye la gráfica 4.1.

En la tabla se pueden observar las energías que se reportan en la literatura (**L'Annunziata, 2012**) y las que se obtiene con el programa MAESTRO con la calibración hecha, dando una discrepancia porcentual menor al 1%. Lo cual garantiza tener un rango operable y se tiene la certeza de no encontrar variación de la energía al cambiar las regiones de interés en los fotopicos a analizar. Por lo tanto el sistema de detección se puede considerar confiable en un rango de energías desde 0 Kev hasta 1460 KeV, tomando en cuenta el pico de  $^{40}\text{K}$ . Siendo ese rango el más usado en las tomas de espectros de las muestras.

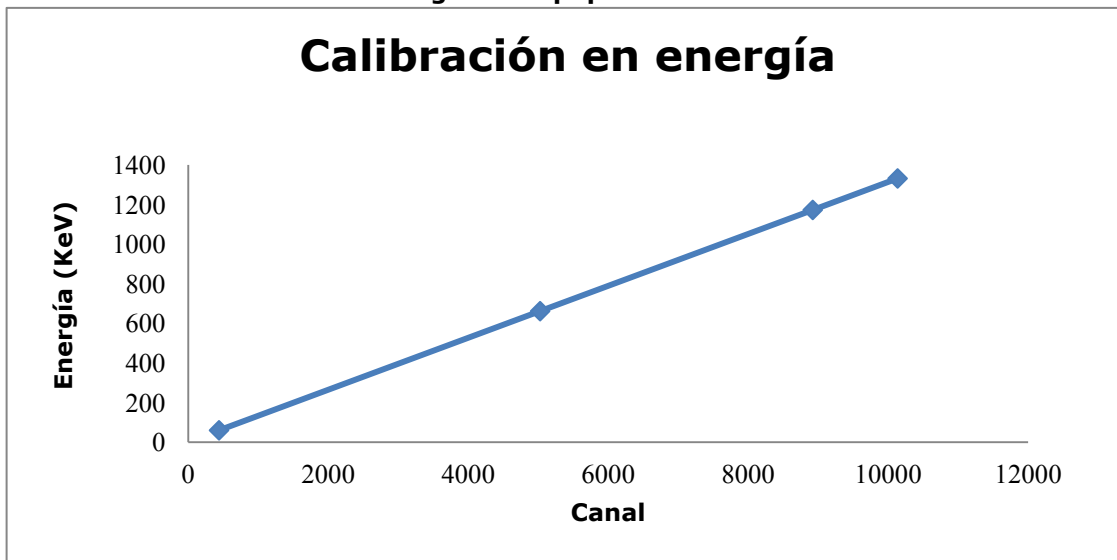


**Imagen 4.1. Espectro de radiación gamma de calibración en energía.**

**Tabla 4.1. Resultados de las fuentes puntuales para la calibración en energía.**

Radionúclido	Energía (KeV)	Canal	Energía (keV) Literatura	Discrepancia porcentual
<sup>241</sup> Am	60.03	440.23	60	0.05
<sup>137</sup> Cs	661.81	5028.31	662	-0.03
<sup>60</sup> Co	1172.69	8923.5	1173	-0.03
<sup>60</sup> Co	1331.61	10136	1332	-0.03

**Gráfica 4.1. Calibración en energía del equipo.**



## 4.2 MUESTRAS

Las especificaciones de las muestras seleccionadas para su análisis se muestran en la tabla 4.3.1. Se seleccionaron en la tienda de autoservicio con el gramaje más próximo a 1 kg, la cantidad de muestra preparada se normalizó a 300 gramos que es lo necesario para ocupar el volumen del contenedor Marinelli.

**Tabla 4.3.1 Características de las muestras**

Número de muestra	Codificación de muestra	Producto sin hueso	Marca comercial
1	BP	Pechuga	Pilgrim´s pride
2	BB	Pechuga	Bachoco
3	BT	Pechuga	Tyson
4	PP	Pierna	Pilgrim´s pride
5	PB	Pierna	Bachoco
6	PT	Pierna	Tyson

A cada una de las muestras se les realizó el análisis espectrométrico para obtener sus cuentas de área neta y la energía correspondiente a cada fotopico, estos resultados se muestran en las tablas 4.3.2. - 4.3.7 así como el porcentaje de área neta de la muestra superior a la del fondo. Los espectros obtenidos se encuentran en el apéndice I.

**Tabla 4.3.2. Resultados de la muestra marca Pilgrim´s Pride/ Pechuga**

Radionúclido	Energía (KeV)	Área neta muestra	Área neta fondo	Área neta total (M-F)	%
212Pb	238	5865±243	5252±169	613±412	11.67
208Tl	583	2709±157	2387±97	322± 254	13.49
40K	1460	19740±211	17342±180	2398±391	13.82



**Tabla 4.3.3. Resultados de la muestra de marca Bachoco/Pechuga**

<b>Radionúclido</b>	<b>Energía (KeV)</b>	<b>Área neta muestra</b>	<b>Área neta fondo</b>	<b>Área neta total (M-F)</b>	<b>%</b>
212Pb	238	6013±201	5252±169	761±370	14.49
40K	1460	19945±176	17342±180	2603±356	15.01

**Tabla 4.3.4. Resultados de la muestra de marca Tyson/Pechuga**

<b>Radionúclido</b>	<b>Energía (KeV)</b>	<b>Área neta muestra</b>	<b>Área neta fondo</b>	<b>Área neta total (M-F)</b>	<b>%</b>
214Pb	352	5697±179	5438±158	259±337	4.76
40K	1460	20276±170	17342±180	2934±350	16.92

**Tabla 4.3.5. Resultados de la muestra marca Pilgrim's Pride/Pierna**

<b>Radionúclido</b>	<b>Energía (KeV)</b>	<b>Área neta muestra</b>	<b>Área neta fondo</b>	<b>Área neta total (M-F)</b>	<b>%</b>
212Pb	238	5334±177	5252±169	82±346	1.56
214Pb	295	2393-137	2191±129	202±266	9.22

**Tabla 2.3.6. Resultados de la muestra marca Bachoco/Pierna**

<b>Radionúclido</b>	<b>Energía (KeV)</b>	<b>Área neta muestra</b>	<b>Área neta fondo</b>	<b>Área neta total (M-F)</b>	<b>%</b>
208Tl	583	2791±111	2387±97	404±208	16.92
40K	1460	20138±172	17342±180	2796±352	16.12

**Tabla 4.3.7. Resultados de la muestra marca Tyson/Pierna**

<b>Radionúclido</b>	<b>Energía (KeV)</b>	<b>Área neta muestra</b>	<b>Área neta fondo</b>	<b>Área neta total (M-F)</b>	<b>%</b>
208Tl	583	2727±109	2387±97	340±206	14.24

### 4.3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

La **calibración en energía** con una discrepancia menor al 1%, garantiza tener un rango perfectamente operable y con la certeza de no encontrar variación de la energía al cambiar las regiones de interés de los fotopicos analizados.

Con lo que se procede al **análisis de los espectros**, donde lo que se hizo es determinar el área neta de cada uno de los fotopicos a la cual se le sustrae el área neta del valor del fotopico resultante en la misma energía, perteneciente al espectro sin muestra (fondo).

Es necesario dicha sustracción para excluir los valores de radioisótopos que se encuentran en el medio de experimentación y así no contarlos como parte de la matriz alimentaria analizada. Enfatizando que el fondo usado se hace bajo las mismas condiciones que las muestras, para evitar cualquier cambio de variables, por ejemplo en caso de un sismo u otra situación que modifique el medio de experimentación. Debido a esto, se hizo un sólo análisis sin muestra que fue usado para el análisis de las 6 muestras ya que no se modificaron las condiciones del medio (ver imagen 3.4.1).

El sustraendo obtenido será llamado área neta total, que es el valor de área con el que cuenta cada fotopico presentes en la muestra de carne de pollo correspondiente. Cuando el sustraendo tiene un valor de cero o negativo el fotopico no se considera parte de la muestra debido a que esos dos posibles valores indican que el fotopico está presente en el medio y no en la muestra.

Cabe señalar que al hacer la resta de dos magnitudes con incertidumbre asociada (área neta de la muestra y el fondo) el resultado tiene una

incertidumbre absoluta que se obtiene al sumar las anteriores incertidumbres (Gutiérrez, 2006).

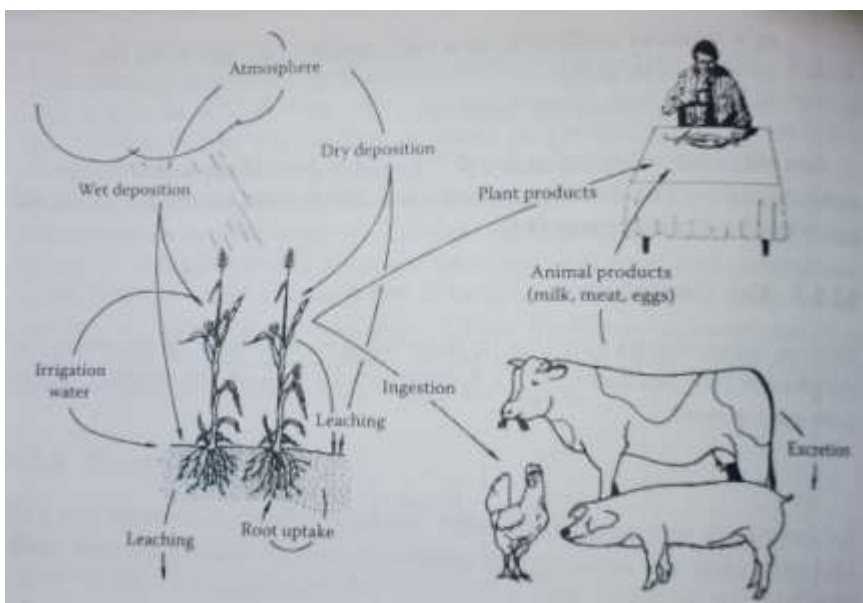
Cada fotopico se da a una energía determinada que se relaciona con el radioisótopo correspondiente. Únicamente se trata de un estudio de comparación respecto al fondo y no de un estudio cuantitativo expresado en unidades internacionales (Bq/Kg).

El mayor porcentaje de diferencia es únicamente de 16.92 (en la muestra bachoco/pierna). Lo que representa una parte mayor del área de las muestras respecto al fondo; al asociarse con el porcentaje de incertidumbre del área neta total, que es de 48.62, el mínimo, se observa que la incertidumbre es mayor al porcentaje de área neta de la muestra respecto a la del fondo. Con lo que los fotopicos asociados a una energía son parte del fondo y no necesariamente de la muestra.

El presente trabajo es un ejemplo de análisis de contenido radiológico en alimentos. En el cual se detalla un protocolo experimental a seguir. Se puede usar en caso de situaciones de emergencia radiológica, accidentes, liberación masiva de radionúclidos que repercutan en las cadenas alimentarias, ó simplemente como estudio de monitoreo. Es importante el estudio radiológico en alimentos porque como hemos visto la radiación ha estado en la Tierra desde sus inicios y actualmente con la proliferación de material radiactivo, consecuencia de los accidentes nucleares.

La población está expuesta a tres posibles vías: irradiación externa de radionúclidos depositados en el suelo, inhalación de partículas resuspendidas contaminadas y por la ingestión de alimentos y/o agua contaminados. (Pöschl, 2007)

En el aire los radionúclidos son transportados mediante el viento y se mezclan en la atmosfera. Las plantas son contaminadas mediante dos procesos 1) por deposición directa y 2) por contaminación indirecta mediante absorción radicular cuando los radionúclidos son depositados en el suelo. La contaminación de animales proviene de la inhalación e ingestión de partículas del suelo, agua y alimento. Como se muestra en la figura 4.4.1.



**Figura 4.4.1. Principales vías de los radionúclidos al humano en cadena agroalimentaria. Pöschl, 2007.**

La presencia indeseable de material radiactivo en utensilios, mesas de trabajo, ropa, partes del cuerpo, entre otros, se conoce como contaminación.

Los efectos de la contaminación de animales mediante fuentes de radiación gamma afectan todo el organismo. Si existe la ingestión de plantas contaminadas se expone el tracto digestivo a la radiación. Son relativamente pocos los radionúclidos que se absorben durante la digestión y por lo tanto la mayoría de la radiactividad atraviesa el tracto gastroentérico sin pasar a la corriente sanguínea. (Morris, 1988)

Pollos criados en ambientes contaminados con radioactividad pueden alimentarse inevitablemente con partículas radioactivas del suelo (Amaral, 1995). Ya que los radionúclidos se encuentran presentes en muy bajos niveles en los animales, la contaminación por ellos tal vez no tiene gran relevancia en términos generales de toxicidad. Sin embargo sus concentraciones en alimentos pueden ser importantes en determinados casos debido a: 1) Los radionúclidos pueden originar peligros carcinogénicos, mutagénicos, teratogénicos y efectos sobre la reproducción. 2) Varios radionúclidos tienen una especial y fuerte afinidad por órganos o tejidos específicos (yodo, tiroides; estroncio, huesos) de forma que la dosis relativa para un órgano o sección de órgano puede ser varias veces mayor que la dosis ingerida o absorbida, esa afinidad puede llevar a la acumulación de radionúclidos, aumentando la cantidad de estos con el tiempo. 3) A excepción de los mecanismos de excreción y de desintegración radioactiva, el cuerpo no posee mecanismos de desintoxicación para radionúclidos, aunque otros procesos corporales o sustancias pueden permitir la mitigación de efectos (Maraver, 2012).

En nuestro país el contenido de radionúclidos en alimentos importados y en el agua se rige por la Norma Oficial Mexicana NOM-088-SSA1-1994 la cual sólo especifica los límites y la determinación de  $^{134}\text{Cs}$  más  $^{137}\text{Cs}$  (100 Bq/Kg) mediante espectrometría gamma en alimentos de consumo masivo importados. Que además ha sido cancelada el día 17 de Diciembre del 2004. Y no hace mención del tratamiento previo de las muestras de carne de pollo que se hizo en la presente tesis.

Específicamente para la carne de pollo se tiene la Norma Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2002 dentro de la categoría productos cárnicos procesados en la que sólo se presentan los límites máximos para metales.

En México se necesita una norma que sustituya y amplíe la NOM-088-SSA1-1994 para el análisis de contenido radiológico en alimentos, tanto nacionales como importados.

En Veracruz, la Central Nucleoeléctrica Laguna Verde (CNLV) cuenta con dos planes de emergencia que son: Plan de Emergencia Interno (PEI) y el Plan de Emergencia Radiológica Externo (PERE) los cuales se aplicarán en caso de algún accidente o incidente en la CNLV que trascienda o pueda trascender sus fronteras.

Otro organismo en México es la Red Nacional Automática de Monitoreo Radiológico Ambiental (RENAMORA) que pertenece a la CNSNS, su objetivo principal es la vigilancia radiológica ambiental, que implica la verificación constante y permanente de los materiales radiactivos que se pudieran encontrar en sitios y materiales de origen natural, tales como el aire, el agua, la tierra y los alimentos (Aguirre, 2013).

Por parte de la Organización Nacional de la Salud se presenta una guía de los niveles de intervención derivados para radionúclidos en los alimentos, la cual sólo es aplicable en caso de una contaminación radiactiva generalizada a consecuencia de un accidente nuclear grave. (WHO, 1988).

Los radionúclidos presentes en los alimentos que considera importante su presencia después de un accidente nuclear son:  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{239}\text{Pu}$  (WHO, 1988).

La Unión Europea a raíz de los accidentes ocurridos en Chernóbil y Japón hasta la fecha ha creado diversos reglamentos para alimentos importados de ese país, actualmente se rige por el reglamento 322/2014, que es para piensos y alimentos originarios o procedentes de Japón. Es el reglamento de Ejecución (UE) N° 322/2014 de la Comisión

de 28 de marzo de 2014 por el que se imponen condiciones especiales a la importación de piensos y alimentos originarios o procedentes de Japón a raíz del accidente en la central nuclear de Fukushima. Donde se mencionan las tolerancias máximas de  $^{134}\text{Cs}$  más  $^{137}\text{Cs}$  que es de 100 Bq/Kg.

Por su parte la FAO expone las medidas a adoptar para minimizar el impacto de un accidente nuclear o radiológico en la agricultura, entre ellas se encuentran estabular los animales, no sacrificar a los animales, proteger los vegetales y los forrajes para animales con lonas o plásticos, entre otras.

De acuerdo a lo anterior, en algunas partes del mundo sólo se hacen planes de análisis de contenido radiológico después de una emergencia, por otra parte en Cuba además de tener un plan en caso de emergencias nucleares y/o radiológicos, cuentan con un plan de monitoreo en condiciones normales.

Mediante el Ministerio de Salud Pública (MINSAP) de la Republica de Cuba está estructurada la Red Nacional de Vigilancia Radiológica de los Alimentos (RENAVIRA) que dentro de sus funciones están la determinación y control sistemático de radionúclidos, artificiales y naturales, contaminantes de los alimentos en condiciones normales; control y emisión de certificados sanitarios con relación a los niveles de radiactividad en los alimentos que exporta e importa el país; así como el reconocimiento y evaluación temprana de una posible alteración en los niveles de radiactividad de los alimentos, entre otras (Fernández, 2008).

Nacional e internacionalmente se deberían de tomar acciones para la implementación de un análisis de radionúclidos en los alimentos de forma rutinaria respaldada de la correspondiente legislación.

Ésta tesis brinda la investigación necesaria para ser la base del desarrollo de dichos objetivos así como para el análisis previo, que permita la libre importación, exportación y consumo de carne de pollo con ausencia de contaminantes radiológicos mediante espectrometría gamma.



## 5. CONCLUSIONES

---

- La carne de pollo es influyente en la economía nacional e internacional su importancia va de la mano con su buen valor nutritivo.
- Se generó un protocolo para el análisis de contenido (cualitativo) radiológico, mediante el uso de un detector semiconductor de Germanio Hiperpuro, detector que presenta alta resolución energética, que podrán seguir los interesados en éste tipo de análisis de alimentos por métodos nucleares.
- La técnica de espectrometría gamma mediante el uso de un detector de Germanio Hiperpuro es un método rápido, confiable y simple para el análisis de contenido radiológico en alimentos.
- No se encontró algún radionúclido considerado por la OMS o por la Unión Europea como significativo.
- Se propuso una preparación previa al análisis (secado), que resultó de forma efectiva, debido a que el estudio es por 24 horas y la matriz alimentaria es perecedera.

## **ALCANCE**

- Este trabajo se puede tomar como base para ampliar la investigación y confirmar su total reproducibilidad.
- La técnica de espectrometría gamma facilita el análisis del contenido radiológico con un amplio espectro de energía, es decir se puede encontrar una variedad de radionúclidos.
- Ésta tesis se puede usar para la creación de un protocolo de medición para carne de pollo y para ser tomado en cuenta para la elaboración de una Norma Oficial Mexicana y/o para integrarlo a las Normas Mexicanas vigentes. Así como para la detección de contaminantes dentro de la comercialización internacional de dicho alimento.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Aguirre J. (2013). Red nacional automática de monitoreo radiológico ambiental en México. IX Latin American IRPA Regional Congress on Radiation Protection and Safety. Rio de Janeiro Brasil.

Arenas, A. et al., (2010). Caracterización de consumidores de carne de pollo en la Zona Metropolitana del Valle de México. *Revista de Geografía Agrícola*. 45-56.

Blasina y Asociados (2013). Mercado internacional cárnico tendrá oportunidades en 2014. *El Observador*. Recuperado el 10 de septiembre de 2014. De <http://www.fao.org/agronoticias/agro-noticias/detalle/es/c/206696/>

Bonilla, B. (1985). *Aves (gallinas, patos, gansos, codornices y pavos)*. San José, Costa Rica: EUNED. p. 50.

Bourgues H. et al., (2015). *Recomendaciones de Ingestión de Nutrimientos para la población Mexicana*. D.F., México: Editorial Médica Panamericana.

Cardoso, P. and Baltazar, A. (2012) Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. *Meat Science*, **93**, 586-592.

Faires, R. (1960). *Radioisótopos: Técnicas de laboratorio*. Buenos Aires, Argentina: Eudeba

Farrell, D. Función de las aves de corral en la nutrición humana. *FAO: Revisión del desarrollo avícola*. Recuperado el 18 de septiembre de 2014 Disponible en <http://www.fao.org/docrep/016/al709s/al709s00.pdf>

Ferrer A. and Ros E. (2005). *Física de partículas y astropartículas*. Valencia: Universidad de Valencia

Fernández, I. (2008). Sistema Nacional de Vigilancia Radiológica ambiental y de los alimentos en la Republica de Cuba. **40** (04). Costa Rica.

Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural Forestal y Pesquero. SHCP. (2014). ***Panorama de productos de ave***. Recuperado el 15 de septiembre 2014. De <http://www.financierarural.gob>

Gómez, M. (1990). Tendencias y opciones de la producción de carne de puerco, pollo y huevo en México. ***Comercio Exterior***. **40**, (9). México. Diseño conceptual de la generación de información agropecuaria SAGARPA SIAP 2012.

Gopal, B. (2013). ***Physics and radiobiology of nuclear medicine***. (4<sup>a</sup> Ed.). New York: Springer

Gutierrez, C. (2006). ***Introducción a la Metodología Experimental***. (2<sup>a</sup> ed.). D.F., México: Limusa.

Guajardo V. I., Acuerdo que modifica al diverso por el que se da a conocer el cupo para importar, con el arancel-cupo establecido, carne de pollo. Diario Oficial. Secretaria de Economía. México D.F. 27 de febrero 2014

Hernández, E. (2012). ***Análisis de las concentraciones de potasio en leche y fórmulas lácteas comerciales mediante espectrometría gamma, usando un detector de germanio puro***. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. (p. 49).

Hernández, M. (1999). ***Tratado de nutrición***. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

Hewitt, P. (2009). ***Fundamentos de física conceptual***. D.F., México: Pearson Educación.

INEGI. (2014). El Sector Alimentario en México 2014. Serie Estadísticas Sectoriales. México.

Konya, J. (2012). *Nuclear and radiochemistry*. Hungría: Elsevier.

L'Annunziata, F. (2012). *Handbook of Radioactivity Analysis*. (3<sup>a</sup> Ed.). Kidlington, Oxford: Academic Press, 2012. 3a Ed.

Márquez, M. (2008). *Historia de la Unión Nacional de Avicultores de México*. Quincuagésimo Aniversario de la Fundación de la Unión Nacional de Avicultores.

Mann, W. and Garfinkel. (1968). *Radiactividad y su medida*. (1<sup>a</sup> Ed.). D.F., México: Reverte.

Marín, Z. (1996). *Elementos de nutrición humana*. D.F., México: EUNED

Morris, J. (1988) Exposure of animals and their products to radiation. Surveillance, monitoring and control of national and international trade. Revue *Scientifique et Technique de OIE*, 7(1), 39-50.

NMX-FF-080-SCFI-2006. Productos avícolas –carne de pollo de engorda en canal y en piezas- Clasificación.

NOM-088-SSA1-1994. Contaminación por radionúclidos en alimentos de consumo masivo importados. Límites máximos permisibles.

NOM-213-SSA1-2002, Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.

Ocha, B. R. (Abril 2013) La alimentación de los mexicanos. *Claridades agropecuarias*, 236, 3-13.

ORTEC. (2006) *Maestro-32 MCA Emulator for Microsoft Windows 2000 Professional and XP Professional A65-B32 Software User's Manual Software Version 6.0*. U.S.A.: Advanced Measurement Technology, Inc.

Ortega, X. (1996). *Radiaciones ionizantes Utilización y riesgos II*. (1ª Ed.). Barcelona: Ediciones UPC. Pág. 69-80.

Pöschl, M. (2007). *Radionuclide concentrations in food and the environment*. Florida. USA: CRC Press, Boca Raton.

Rex, A. (2011). *Fundamentos de física*. Madrid, España: Pearson Educacion.

Rodríguez, V. (2008) *Bases de la alimentación humana*. España: Netbiblo.

SAGARPA *Boletín Informativo*. Confirman avicultores inversión por tres mil millones de pesos para 2014. (2013, Octubre) México D.F., CGCS 2013B658.

SIAP [en línea]. México, [fecha de consulta: 15 septiembre 2014] *Producción e importación agropecuaria*. Base de datos disponible en: <http://www.siap.gob.mx/>

SIAP, SAGARPA. (2014). *Índice de volumen físico agropecuario*.

UNA, 2014, Integran productores y Gobierno Federal fondo de contingencia para proteger la avicultura nacional. México D.F. 23 de enero 2014.

UNA, 2012, Situación de la avicultura Mexicana.

United States Department of Agriculture (USDA). Abril 2014. Foreign Agricultural Service, Livestock and Poultry: World Markets and Trade. [http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock\\_poultry.pdf](http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf)

World Health Organization, 1988. derived intervention levels for radionuclides in food: Guidelines for application after widespread radioactive contamination resulting from a major radiation accident. Geneva.

Young, H., Freedman R & Lewis Ford. (2009). *Física Universitaria con física moderna. Volumen 2*. (12 Ed.). México: Pearson Educación de México.

## APÉNDICE

### I. Espectros de comparación, de la muestra con el fondo y de la muestra

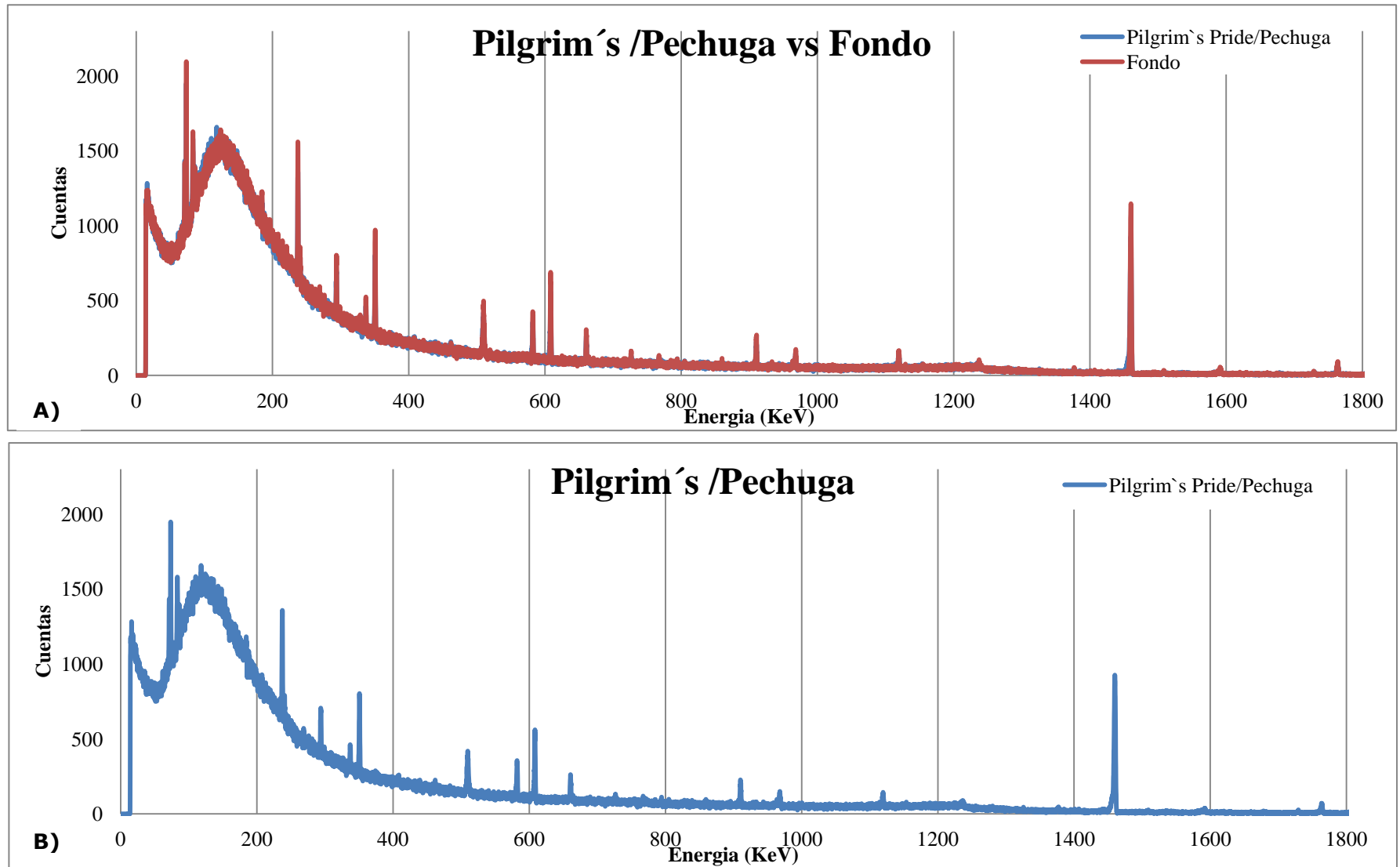
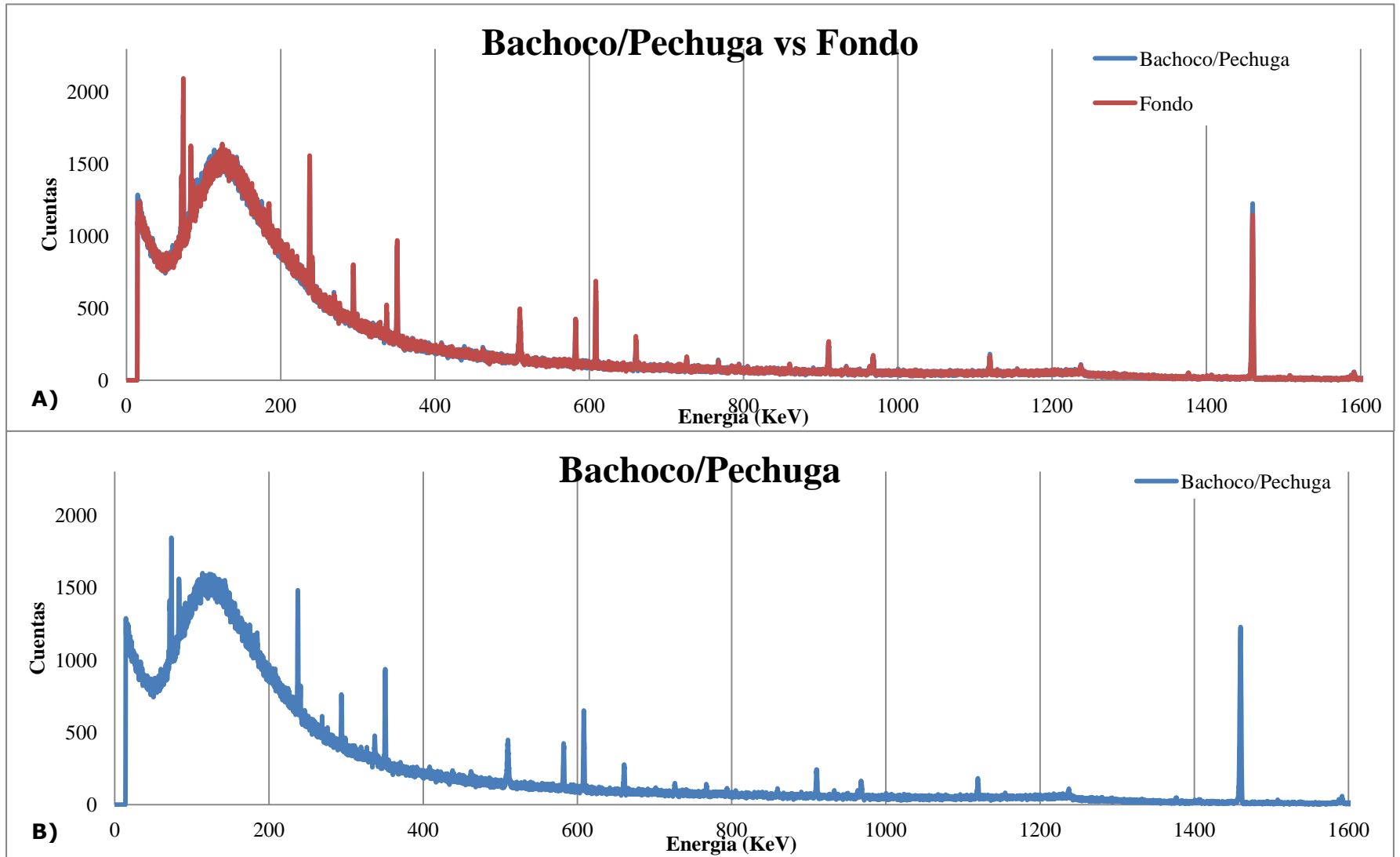


Imagen I1. Espectros de radiación gamma: A) muestra y fondo. B) muestra marca Pilgrim's Pride/ / Pechuga.



**Imagen I2. Espectros de radiación gamma: A) muestra y fondo. B) muestra marca Bachoco/ Pechuga.**



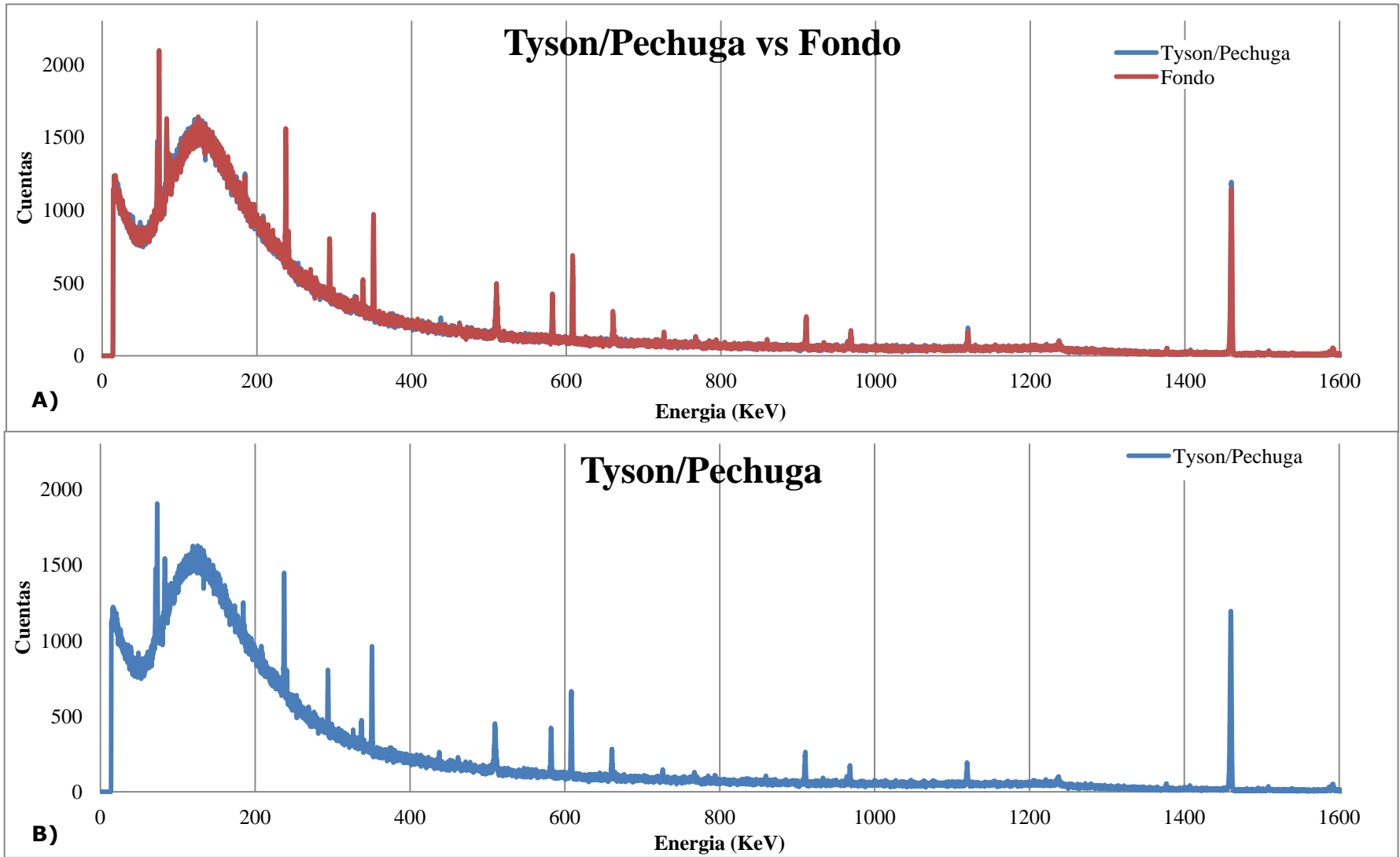
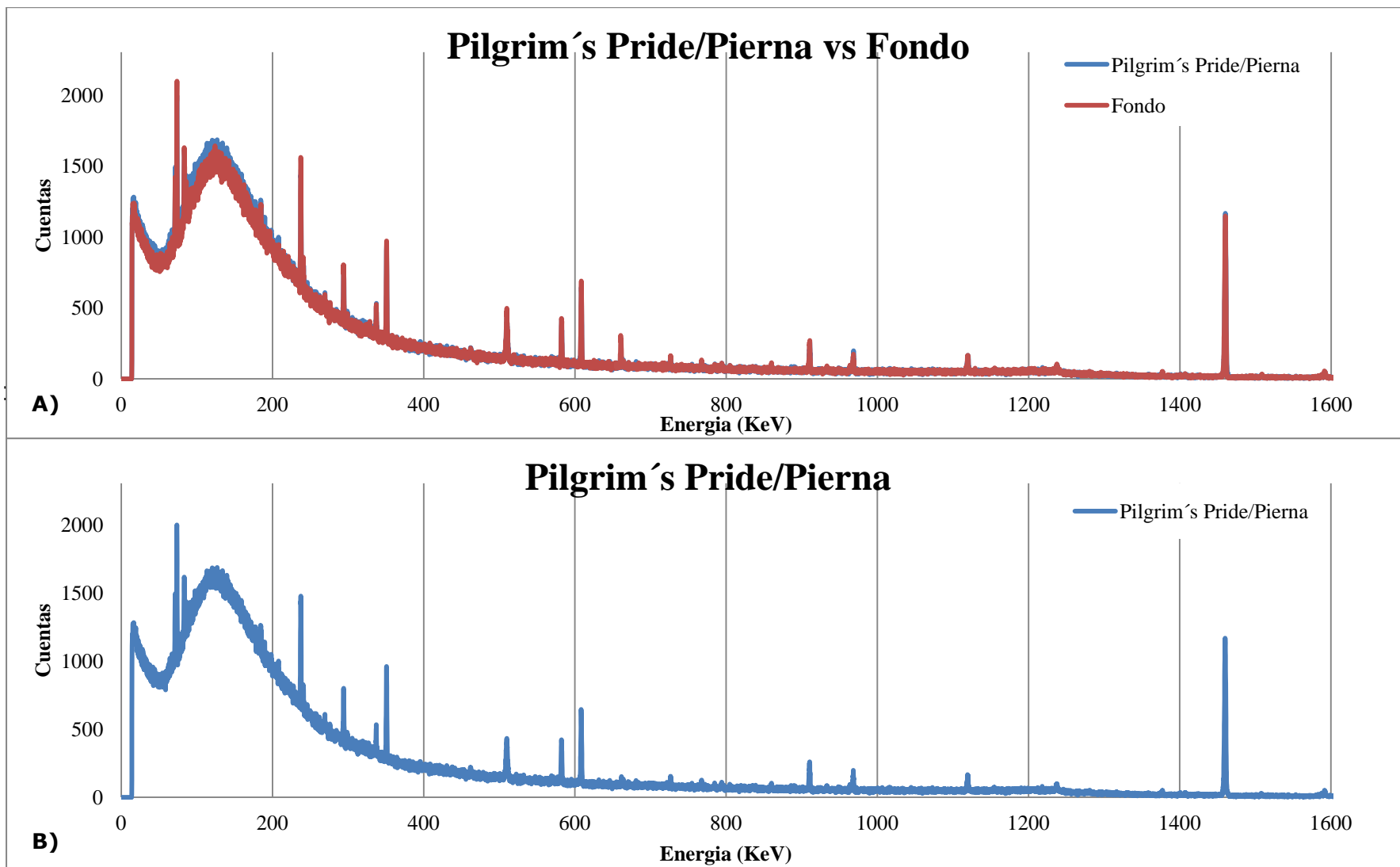
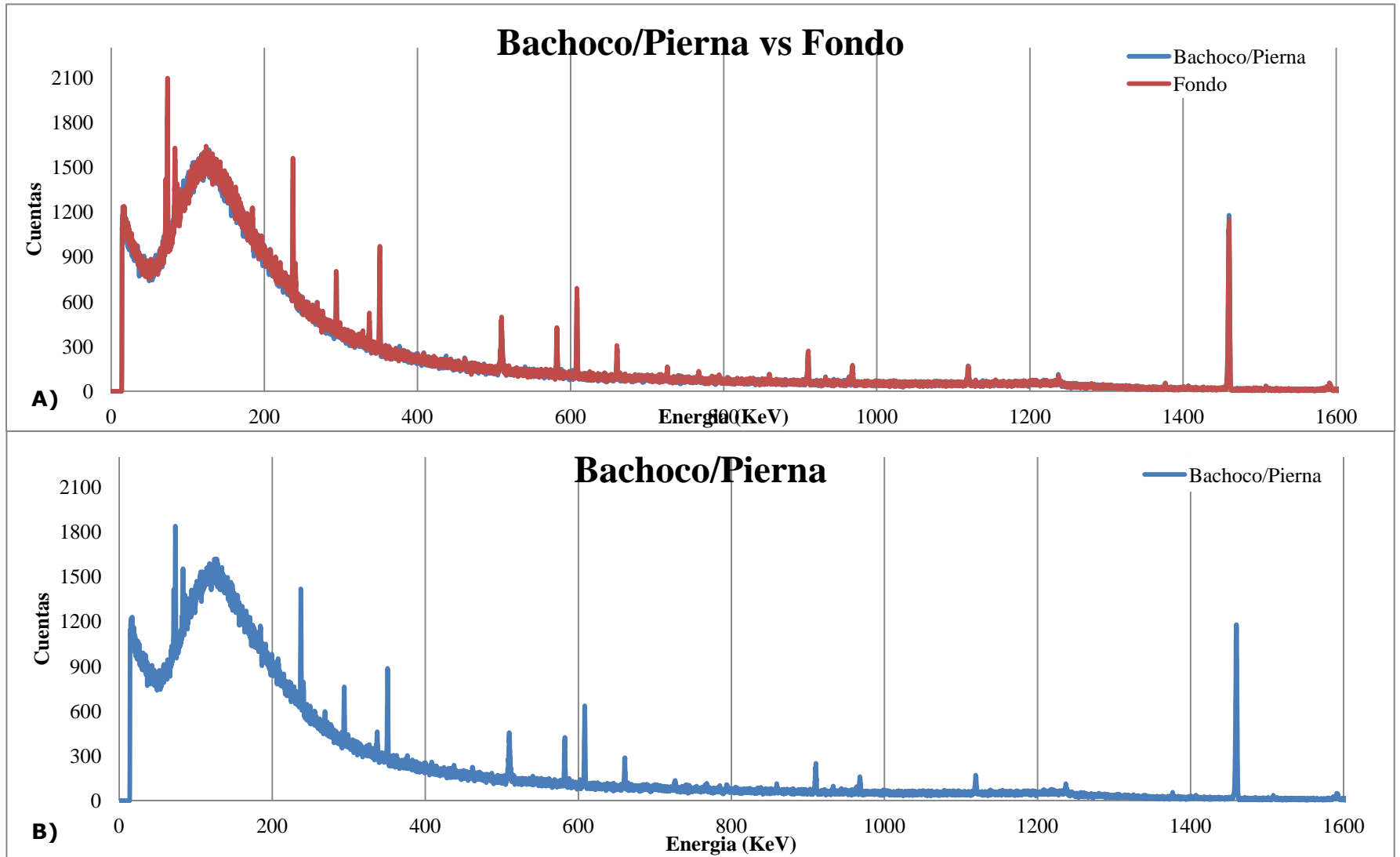


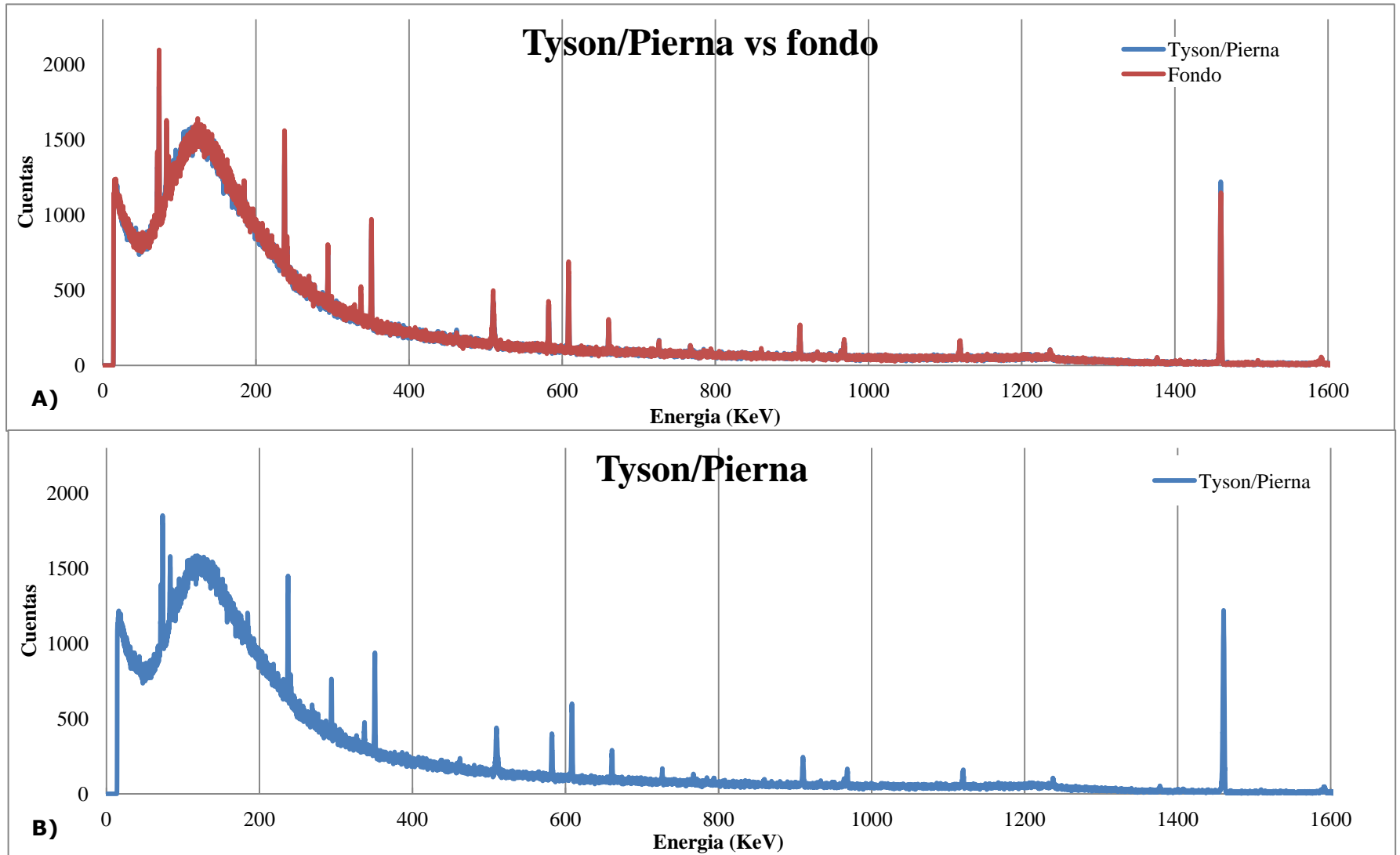
Imagen I3. Espectros de radiación gamma: A) muestra y fondo. B) muestra marca Tyson/Pechuga.



**Imagen I4. Espectros de radiación gamma: A) muestra y fondo. B) muestra marca Pilgrim's Pride/ Pierna.**



**Imagen I5. Espectros de radiación gamma: A) muestra y fondo. B) muestra marca Bachoco/Pierna.**



**Imagen I6. Espectros de radiación gamma: A) muestra y fondo. B) muestra marca Tyson/Pierna.**