



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA BIOFÍSICA

**“EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS CAUSADOS
POR DIFERENTES DOSIS DE RADIACIÓN EN SANGRE
PERIFÉRICA”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar el grado académico de:

BIOFÍSICA

AUTORA: JÉSSICA VALERIA CHILUIZA SOLÓRZANO

DIRECTOR: Dr. RICHARD WILLIANS PACHACAMA CHOCA

Riobamba – Ecuador

2020


2020© Jéssica Valeria Chiluiza Solórzano

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

Yo, Jéssica Valeria Chiluiza Solórzano, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 28 de Febrero 2020




Jéssica Valeria Chiluiza Solórzano

CI: 060484618-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA BIOFÍSICA

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: experimental, **EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS CAUSADOS POR DIFERENTES DOSIS DE RADIACIÓN EN SANGRE PERIFÉRICA**, realizado por la señorita: **JÉSSICA VALERIA CHILUIZA SOLÓRZANO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, El mismo cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Biof. Vilma Nohemí Yanchapanta Bastidas PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2020/02/28
Dr. Richard Willians Pachacama Choca DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2020/02/28
Dra. Sandra Noemí Escobar Arrieta MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2020/02/28

DEDICATORIA

A mis padres por su sacrificio, su paciencia absoluta y por aceptarme por ser la persona en la que me he convertido.

Valeria

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a mi alma máter, la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por darme la oportunidad de obtener conocimientos universales para el ejercicio profesional; a mis padres Leonor y Galo por su amor, apoyo y confianza durante todo este proceso.

Al Dr. Richard Pachacama, director de tesis por sus acertados consejos a largo de este trayecto; a la Dra. Sandra Escobar, por su paciencia y tiempo, quien además de ser la cotutora de este trabajo de titulación compartió sus conocimientos tanto teóricos como prácticos conmigo, mediante los cuales pude llevar a cabo este escrito.

A la PhD Talía Tene, que me ha inspirado a realizar investigaciones de calidad, gracias por su ayuda incondicional y por ser mi guía y ejemplo de una excelente profesional. A la PhD Gabriela Vaca por su ayuda desinteresada. Al PhD Marco Guevara y su grupo de trabajo en la escuela de mecánica.

A todas las personas que, directa o indirectamente permitieron que el presente trabajo se realice de la mejor manera, a mis profesores y amigos de la ESPOCH, por sus conocimientos, enseñanzas y buenos recuerdos compartidos.

Valeria

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del Problema	5
1.3. Hipótesis	5
1.4. Justificación.....	6
1.5. Objetivos.....	6
<i>1.5.1 Objetivo general.....</i>	<i>6</i>
<i>1.5.2 Objetivos específicos</i>	<i>6</i>
1.6. Radiación Ionizante.....	7
<i>1.6.1 Partículas indirectamente ionizantes</i>	<i>7</i>
<i>1.6.1.1 Interacción de la materia con radiación gamma.....</i>	<i>7</i>
<i>1.6.1.2 Interacción de la materia con neutrones.....</i>	<i>11</i>
1.7. Exposición a rayos gamma.....	12
<i>1.7.1 Exposición interna.....</i>	<i>14</i>
<i>1.7.2 Exposición externa</i>	<i>14</i>
1.8. Dosis	14
<i>1.8.1 Dosis absorbida.....</i>	<i>14</i>
<i>1.8.2 Dosis equivalente</i>	<i>15</i>
<i>1.8.3 Dosis efectiva</i>	<i>16</i>
<i>1.8.4 Límites de dosis.....</i>	<i>16</i>
<i>1.8.5 Dosímetro</i>	<i>17</i>
<i>1.8.6 Electrete.....</i>	<i>18</i>
1.9. Blindaje.....	18

1.10.	Cámara de irradiación	18
1.11.	Efectos Biológicos de la Radiación Ionizante	19
1.11.1	<i>Efectos subcelulares de la radiación.....</i>	19
1.11.1.1	<i>Acción directa.....</i>	20
1.11.1.2	<i>Acción indirecta.....</i>	20
1.11.2	<i>Efectos celulares de la radiación.....</i>	21
1.11.3	<i>Efectos deterministas</i>	22
1.11.3.1	<i>Efectos hematológicos</i>	23
1.11.3.2	<i>Efectos sobre la médula ósea</i>	24
1.11.4	<i>Efectos estocásticos.....</i>	25
1.11.4.1	<i>Efectos estocásticos somáticos (cáncer).....</i>	25
1.11.4.2	<i>Efectos estocásticos hereditarios.....</i>	26
1.12.	Hematología	27
1.13.	Sangre	27
1.13.1	<i>Funciones de la sangre.....</i>	27
1.13.2	<i>Composición de la sangre.....</i>	28
1.14.	Biometría hemática.....	28
1.14.1	<i>Serie roja.....</i>	28
1.14.1.1	<i>Hematocrito (Hto)</i>	29
1.14.1.2	<i>Hemoglobina (Hb).....</i>	30
1.14.1.3	<i>Volumen corpuscular medio (VCM).....</i>	30
1.14.1.4	<i>Hemoglobina corpuscular media (HCM).....</i>	31
1.14.1.5	<i>Concentración de hemoglobina corpuscular media (CHCM).....</i>	31
1.14.2	<i>Serie blanca.....</i>	32
1.14.2.1	<i>Granulocitos.....</i>	32
1.14.2.2	<i>Agranulocitos.....</i>	33
1.14.2.3	<i>Fórmula leucocitaria.....</i>	35
1.14.3	<i>Serie trombocítica</i>	35
1.15.	Composición de la sangre y efectos biológicos de la radiación producidos en cada uno de sus componentes	37

CAPÍTULO II

2	MARCO METODOLÓGICO	38
2.1	Etapa 1.....	38
2.1.1	<i>Diseño del irradiador gamma.....</i>	38
2.1.2	<i>Adecuar la incubadora para obtener una temperatura de 37°C.....</i>	39

2.1.3	<i>Adaptar el set de tubos de ensayo para la irradiación de la sangre</i>	40
2.1.4	<i>Caracterizar la fuente de irradiación</i>	40
2.1.5	<i>Efectuar un análisis de la dosis emitida por la fuente</i>	41
2.1.5.1	<i>Medida de dosis gamma utilizando electretes</i>	41
2.1.5.2	<i>Dosímetro: respuesta del electrete</i>	43
2.1.6	<i>Cálculo de la dosis absorbida y tasa de dosis</i>	44
2.1.6.1	<i>Dosis entregada a las muestras</i>	45
2.2	Etapa II	45
2.2.1	<i>Irradiar la sangre a diferentes dosis</i>	45
2.2.1.1	<i>Población</i>	45
2.2.1.2	<i>Muestra</i>	45
2.2.1.3	<i>Experimento</i>	46
2.2.2	<i>Determinación de los efectos biológicos en sangre periférica</i>	47
2.2.2.1	<i>Materiales y reactivos</i>	47
2.2.2.1.	<i>Determinación del hematocrito</i>	48
2.2.2.2.	<i>Determinación de la hemoglobina</i>	48
2.2.2.3.	<i>Determinación de glóbulos rojos</i>	48
2.2.2.4.	<i>Determinación de VCM, HCM y CHCM</i>	49
2.2.2.5.	<i>Determinación de glóbulos blancos</i>	49
2.2.2.6.	<i>Extendidos de sangre (frotis sanguíneo)</i>	50
2.2.2.7.	<i>Fórmula Leucocitaria</i>	51
2.2.2.8.	<i>Determinación de las plaquetas</i>	51
2.3	Modelo Estadístico	51

CAPÍTULO III

3	MARCO DE ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	52
3.1	<i>Análisis de resultados</i>	52
3.1	<i>Tasa de dosis del irradiador y dosis absorbida entregada a las muestras</i>	52
3.1.1	<i>Resultados de la biometría hemática</i>	54
3.1.1.1	<i>Contaje de hemoglobina</i>	54
3.1.1.2	<i>Contaje del hematocrito</i>	55
3.1.1.3	<i>Contaje de glóbulos rojos</i>	55
3.1.1.4	<i>Contaje del volumen corpuscular medio (VCM)</i>	56
3.1.1.5	<i>Contaje de hemoglobina corpuscular media (HCM)</i>	57
3.1.1.6	<i>Contaje de la concentración de hemoglobina corpuscular media (CHCM)</i>	58
3.1.1.7	<i>Contaje de glóbulos blancos</i>	58

3.1.1.8	<i>Contaje de neutrófilos</i>	59
3.1.1.9	<i>Contaje de eosinófilos</i>	60
3.1.1.10	<i>Contaje de basófilos</i>	60
3.1.1.11	<i>Contaje de linfocitos</i>	61
3.1.1.12	<i>Contaje de monocitos</i>	62
3.1.1.13	<i>Contaje de plaquetas</i>	63
	CONCLUSIONES	70
	RECOMENDACIONES	72
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Niveles de dosis recomendados en situaciones de exposición planificada.....	16
Tabla 2-1: Límites Nacionales de dosis.	17
Tabla 3-1: Secuencia temporal de acontecimientos subcelulares tras un suceso de interacción.	19
Tabla 4-1: Principales características de los efectos somáticos y deterministas.....	27
Tabla 5-1: Valores de referencia del hematocrito.	29
Tabla 6-1: Valores de referencia de la hemoglobina	30
Tabla 7-1: Células halladas en un recuento diferencial de leucocitos.....	34
Tabla 8-1: Valor de referencia de la fórmula leucocitaria	35
Tabla 9-1: Índices hematológicos de acuerdo a la edad.....	36
Tabla 10-1: Efectos biológicos causados por radiación en los componentes sanguíneos.....	37
Tabla 1-2: Posiciones de ensayo para determinar una dosis homogénea dentro del irradiador. 43	
Tabla 2-2: Respuesta de los electretes, que presentan las siguientes características: Capacitancia del Sistema 54pF, Constante Dieléctrica del Teflón 2.1. * Características del electrete utilizado en este trabajo.....	44
Tabla 3-2: Nomenclatura de dosis en las muestras de sangre	45
Tabla 4-4: Listado de equipos, materiales y reactivos para realizar una biometría hemática	47
Tabla 5-2: Tabla de relación entre hematocrito y glóbulos rojos.....	48
Tabla 1-3: Dosis absorbida calculada para los voltajes registrados en la posición AB. Usando un factor de respuesta (R:1,34).....	52
Tabla 2-3: Dosis absorbida calculada para los voltajes registrados en la posición AC. Usando el valor de R:1.34.	53
Tabla 3-3: Dosis absorbida (Gy) por las muestras para los intervalos de tiempo de exposición de las muestras de sangre.	53
Tabla 4-3: Comparación de los resultados de la serie roja entre hombres y mujeres	64
Tabla 5-3: Comparación de los resultados de la serie blanca entre hombres y mujeres.	65
Tabla 6-3: Comparación de resultados de la serie trombocítica entre hombres y mujeres.	66
Tabla 7-3: Cambios morfológicos de células sanguíneas en muestra de mujeres a diferentes dosis.	67
Tabla 8-3: Cambios morfológicos de células sanguíneas en muestra de hombres a diferentes dosis.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Absorción fotoeléctrica.....	8
Figura 2-1: Dispersión Compton	9
Figura 3-1: Creación de pares.....	10
Figura 4-1: La importancia de los tres tipos principales de interacción gamma.....	10
Figura 5-1: Radioquímica y radiólisis.	21
Figura 6-1: Etapas del daño celular.	22
Figura 7-1: Simplificación del proceso de carcinogénesis.	26
Figura 8-1: Efectos biológicos de la radiación ionizante.....	27
Figura 1-2: Sistema de blindajes.....	39
Figura 2-2: Configuración de los tubos de ensayo para la irradiación.....	40
Figura 3-2: Composición de la roca.....	41
Figura 4-2: A) Configuración interna de una electrete. G-placa a tierra, E-electrete de teflón, CS-superficie conductiva, C-capacitancia del sistema. B) Esquema de la configuración experimental para la determinación de la dosis.....	42
Figura 6-2: Método de preparación de un frotis sanguíneo.	50
Figura 1-3: Contaje de la hemoglobina en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D_0 = 0 Gy$, $D_1 = 0.56 Gy$, $D_2 = 0.84 Gy$ y $D_3 = 1.68 Gy$	54
Figura 3-3: Contaje del hematocrito en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D_0 = 0 Gy$, $D_1 = 0.56 Gy$, $D_2 = 0.84 Gy$ y $D_3 = 1.68 Gy$	55
Figura 4-3: Contaje de glóbulos rojos en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D_0 = 0 Gy$, $D_1 = 0.56 Gy$, $D_2 = 0.84 Gy$ y $D_3 = 1.68 Gy$	55
Figura 5-3: Contaje del volumen corpuscular medio en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D_0 = 0 Gy$, $D_1 = 0.56 Gy$, $D_2 = 0.84 Gy$ y $D_3 = 1.68 Gy$	56
Figura 6-3: Contaje de hemoglobina corpuscular media en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D_0 = 0 Gy$, $D_1 = 0.56 Gy$, $D_2 = 0.84 Gy$ y $D_3 = 1.68 Gy$	57
Figura 7-3: Contaje de CHCM en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D_0 = 0 Gy$, $D_1 = 0.56 Gy$, $D_2 = 0.84 Gy$ y $D_3 = 1.68 Gy$	58
Figura 8-3: Contaje de glóbulos blancos en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D_0 = 0 Gy$, $D_1 = 0.56 Gy$, $D_2 = 0.84 Gy$ y $D_3 = 1.68 Gy$	58
Figura 9-3: Contaje de neutrófilos en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D_0 = 0 Gy$, $D_1 = 0.56 Gy$, $D_2 = 0.84 Gy$ y $D_3 = 1.68 Gy$	59

Figura 10-3: Contaje de eosinófilos en: A) Hombres y B) Mujeres. Sangre periférica fue expuesta a $D0 = 0 \text{ Gy}$, $D1 = 0.56 \text{ Gy}$, $D2 = 0.84 \text{ Gy}$ y $D3 = 1.68 \text{ Gy}$	60
Figura 11-3: Contaje de basófilos en: A) Hombres y B) Mujeres. Sangre periférica fue expuesta a $D0 = 0 \text{ Gy}$, $D1 = 0.56 \text{ Gy}$, $D2 = 0.84 \text{ Gy}$ y $D3 = 1.68 \text{ Gy}$	60
Figura 12-3: Contaje de linfocitos en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D0 = 0 \text{ Gy}$, $D1 = 0.56 \text{ Gy}$, $D2 = 0.84 \text{ Gy}$ y $D3 = 1.68 \text{ Gy}$	61
Figura 13-3: Contaje de monocitos en: A) Hombres y B) Mujeres. Sangre periférica fue expuesta a $D0 = 0 \text{ Gy}$, $D1 = 0.56 \text{ Gy}$, $D2 = 0.84 \text{ Gy}$ y $D3 = 1.68 \text{ Gy}$	62
Figura 14-3: Contaje de plaquetas en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D0 = 0 \text{ Gy}$, $D1 = 0.56 \text{ Gy}$, $D2 = 0.84 \text{ Gy}$ y $D3 = 1.68 \text{ Gy}$	63

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** DISEÑO Y MODELADO DEL IRRADIADOR.
- ANEXO B:** OBTENCIÓN DEL IRRADIADOR.
- ANEXO C:** CÁMARA DE IRRADIACIÓN
- ANEXO D:** INCUBADORA
- ANEXO E:** MONITOREO DE TEMPERATURA EN LA INCUBADORA
- ANEXO F:** RESULTADOS DE LA ESPECTROMETRÍA GAMMA
- ANEXO G:** MONITOREO DE LA DOSIS EMITIDA POR LA FUENTE MEDIANTE
ELECTRETES
- ANEXO H:** ENCUESTA
- ANEXO I:** DETERMINACIÓN DEL HEMATOCRITO
- ANEXO J:** TINCIÓN WRIGHT
- ANEXO K:** COMPARACIÓN DE FIGURAS CON MUESTRA DE HOMBRES
- ANEXO L:** COMPARACIÓN DE FIGURAS CON MUESTRAS DE MUJERES

ABREVIATURAS

Hb	Hemoglobina
Gy	Grey
ROS	Especies reactivas de oxígeno
C₆₀(OH)₃₆	Fullereno poli hidroxilado
RI	Radiación ionizante
LET	Transferencia lineal de energía
FR	Radicales libres
POE	Personal ocupacionalmente expuesto
SCAN	Subsecretaría de control y aplicaciones Nucleares
IAEA	Agencia Internacional de Energía Atómica
UNSCEAR	Comité Científico de Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas
MeV	Mega electronvoltios
TLE	Transferencia de Energía Lineal
Hto	Hematocrito
VSG	Velocidad de sedimentación
ICRP	Comisión Internacional de Protección Radiológica

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo evaluar los efectos biológicos causados por diferentes dosis de radiación en sangre periférica. Para lo cual se diseñó una cámara de irradiación de plomo, que contiene la fuente radiactiva dispuesta en 32 desbastes configurados simétricamente. Volúmenes de 2.5 ml de sangre fueron colocados dentro de la cámara de irradiación durante 8 horas y expuestos a 0.56 Gy de radiación, a 0.84 Gy durante 12 horas y finalmente a 1.68 Gy de radiación gamma durante 24 horas. Después de someter las muestras a irradiación se realizó la prueba clínica denominada biometría hemática, la cual provee información específica y detallada del estado general de la sangre periférica basándose en el recuento de los tres tipos de células sanguíneas: glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas. Los datos obtenidos demuestran un aumento en la cantidad de glóbulos rojos, hematocrito y hemoglobina; los índices hematimétricos no presentan alteración, mientras los glóbulos blancos y fórmula leucocitaria disminuyen al igual que las plaquetas. Se corrobora que la radiación gamma tiende a reducir las células sanguíneas, causando enfermedades como anemias, leucemias y trombocitemia inducidos por la radiación ionizante. Se recomienda utilizar el equipo de protección radiológica durante toda la exposición a radiación gamma y a reproducir este trabajo con personas que estén expuestas constantemente a radiaciones ionizantes debido a su trabajo.

Palabras clave: <RADIACIÓN IONIZANTE>, <DOSIS>, <RADIACIÓN GAMMA>, <CÁMARA DE IRRADIACIÓN>, <SANGRE PERIFÉRICA>, <BIOMETRÍA HEMÁTICA>, <GLÓBULOS ROJOS>, <GLÓBULOS BLANCOS>, <PLAQUETAS>, <EFECTOS BIOLÓGICOS>



SUMMARY

The present titling work had as aim to evaluate the biological effects caused by different doses of peripheral blood radiation. For which a lead irradiation chamber was designed, it contains the radioactive source arranged in 32 symmetrically configured slabs. Volumes of 2.5 ml of blood were placed inside the irradiation chamber for 8 hours and exposed to 0.56 Gy of radiation, to 0.84 Gy for 12 hours and finally to 1.68Gy of gamma radiation for 24 hours. After submitting the samples to irradiation, the clinical test called blood count was performed, which provides specific and detailed information on the general state of the peripheral blood based on the count of the three types of blood cells: red blood cells, white blood cells and platelets. The obtained data showed an increase in the quantity of red blood cells, hematocrit and hemoglobin; hematimetric indexes do not show alteration, while white blood cells and leukocyte formula decrease as do platelets. It is confirmed that gamma radiation tends to reduce the blood cells, causing diseases like anemia, leukemia and thrombocythemia induced by ionizing radiation. It is recommended to use radiation protection equipment during all exposure to gamma radiation and reproduce this work with people who are constantly exposed to ionizing radiation due to their work.

Keywords: <IONIZING RADIATION>, <DOSES>, <GAMMA RADIATION>, <IRRADIATION CHAMBER>, <PERIPHERAL BLOOD>, <BLOOD COUNT>, <RED BLOOD CELLS>, <WHITE BLOOD CELLS>, <PLATELETS>, <BIOLOGICAL EFFECTS>.

REVISADO

18 FEB 2020

Ing. Jhonatan Parreño Uquillas, MBA
(ANALISTA DE BIBLIOTECA 1)



INTRODUCCIÓN

La radiación de baja transferencia de energía lineal (es decir, rayos γ y X) actúa principalmente de manera indirecta en sistemas biológicos, es decir, a través de la producción de radicales libres altamente reactivos generados durante la radiólisis del agua. Los radicales libres y las especies de oxígeno reactivo resultantes que reaccionan químicamente con biomoléculas (es decir, ADN, proteínas y lípidos) en las células vivas causan daños a los componentes celulares, lo que en consecuencia puede conducir a la muerte celular. (Sociedad Española de Física Médica, 2016 pág. 85)

Los efectos que causan las radiaciones ionizantes son acumulativos, ya que cada exposición pequeña o grande se suma a las anteriores hasta determinar la dosis total y su efecto sobre el organismo. Existe una relación directamente proporcional entre la dosis total y la probabilidad de que se produzcan efectos detectables, es decir, a medida que aumenta la dosis, aumenta la posibilidad de que se manifiesten efectos biológicos. La mortalidad de la radiación se puede clasificar en tres grandes grupos: muscular, gastrointestinal y hematológicos. Los signos hematológicos están vinculados con cambios en las células de la sangre periférica. (Chavez Cala, 2014, págs. 406-407)

Tras la exposición a la radiación disminuye la cantidad en la sangre de glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas, debido a que sus progenitores hematopoyéticos (células madre) son las células más sensibles a la radiación; dosis medidas de RI pueden provocar un descenso en la proliferación de las células, destruyendo el tejido medular y convirtiendo a la médula aplásica. (Brandan, Díaz, & Ostrosky, 1995)

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Geoffrey Jacobs, en 1998 indica que la principal aplicación de la irradiación de sangre y componentes sanguíneos es para prevenir la enfermedad de injerto contra huésped en pacientes inmunodeficientes mediante la anulación de los linfocitos-T. Dicha enfermedad se produce cuando el sistema inmunitario del donante considera que los órganos y tejidos del paciente están formados por células poco compatibles que deben destruirse. Jacobs supone que, a pesar del cribado de donaciones de sangre, la transmisión de infecciones asociada a transfusiones debido a los productos sanguíneos contaminados es común; por lo que deduce que existe un potencial para la aplicación de irradiación la cual produce la esterilización e inactivación de microbios patógenos en productos sanguíneos (Jacobs, 1998, pág. 511).

Ahmed Mohamed Maghraby y Maha Anwar Ali realizaron un estudio espectroscópico de la hemoglobina bovina irradiada con rayos gamma, procedentes de fuentes de Cs-137 y Co-60 de 4.95 Gy a 743.14 Gy y de 40 Gy a 300 kGy respectivamente; se descubrió que la radiación ionizante conduce al aumento de la producción de radicales libres incluso a bajas dosis, reflejando la alta sensibilidad de la proteína hemoglobina (Hb) a la radiación; también causa cambios conformacionales en la estructura molecular de la Hb y la disminución del contenido de α -hélices, lo que demuestra la degradación de la estructura molecular de la proteína o la variación en el rendimiento de sus funciones. Una vez que las muestras fueron irradiadas se observó la desnaturalización de la Hb, perdiendo su capacidad específica de transportar oxígeno. Además, al ser atacada por especies reactivas de oxígeno (iones de oxígeno, radicales libres y peróxidos) la hemoglobina es blanco fácil para que estas especies produzcan muerte celular programada y necrosis. La hemoglobina es una proteína importante de la sangre que contiene hierro y se encarga de transportar oxígeno al cuerpo, constituyendo el 90% de las proteínas eritrocitarias. Las propiedades espectrofotométricas de la Hb bovina son solo ligeramente diferentes de las de la sangre humana. Su importancia puede verse reflejada por el interés en el desarrollo de un sustituto seguro y efectivo de los eritrocitos humanos como medio transfusible para el transporte de oxígeno (Maghraby, 2007 págs. 1600-1605).

Theodor Fliedner y su grupo de trabajo se propusieron encontrar una justificación científica para utilizar el patrón de cambios de los granulocitos, plaquetas y linfocitos dentro de los primeros días después de una exposición accidental de todo el cuerpo a la radiación ionizante, para ser tomado como indicador convincente de la gravedad de su efecto sobre el grupo de células madre hematopoyéticas. Indagaron en la base de datos SEARCH (System for Evaluation and Archiving of Radiation Accidents based on Case Histories, por sus siglas en inglés), lo cual les permitió analizar los cambios tempranos de las células sanguíneas después de la exposición accidental a la radiación en todo el cuerpo a más de cien pacientes y asignarlos con códigos según la severidad del efecto, H1, H2, H3 y H4. Observaron un patrón específico de cambios en las células sanguíneas dentro de los primeros 5 a 8 días después de la exposición es compatible con la suposición de un daño irreversible del conjunto de células madre distribuidas por toda la médula ósea esquelética, este patrón fue designado como H4. Otro patrón de respuesta de células sanguíneas caracterizado por una recuperación abortiva, que puede explicarse por la hipótesis de células lesionadas, que permite asignar a estos pacientes un código de H3 de gravedad del efecto; H2 o H1 compatible con la suposición de un daño reversible al conjunto de células madre. Mediante modelos bio matemáticos correlacionaron los patrones de cambio de las células sanguíneas con el alcance del daño al conjunto de células madre. Llegaron a la conclusión de que los patrones de cambio en los recuentos de células de sangre periférica indican el efecto de la radiación en el conjunto de células madre hematopoyéticas y tienen el potencial de predecir la regeneración autóctona (Fliedner, 2007 pág. 8).

Los derivados C60 poli hidroxilados tienen la capacidad de eliminar radicales libres y especies reactivas de oxígeno/nitrógeno y actúan como antioxidantes en los sistemas biológicos, protegiendo las células y los órganos contra el estrés oxidativo y el daño oxidativo inducido por RI. Es por tal motivo que Nowak y sus colaboradores en el año 2013 examinaron el efecto del fullereno poli hidroxilado $C_{60}(OH)_{36}$, sobre células mononucleares de sangre periférica humana no irradiadas e irradiadas con rayos X de donantes adultos sanos. Midieron la viabilidad celular y el daño en el ADN, así como el examen de los parámetros seleccionados, los cuales fueron granularidad y fluidez de la membrana de los linfocitos, ya que se sabe que son muy sensibles a la RI. Utilizaron altas dosis de radiación para obtener un efecto máximo en las respuestas celulares a la radiación ionizante e investigar como el $C_{60}(OH)_{36}$ modula esas respuestas. La investigación se inició con la determinación del impacto de $C_{60}(OH)_{36}$ en la supervivencia de los linfocitos no irradiados e irradiados después de 24 y 48 horas de incubación posterior a la irradiación, mostrando como resultado que el $C_{60}(OH)_{36}$ puede tener efecto protector contra altas dosis de rayos X inducidos, impidiendo así la muerte de los linfocitos en sangre periférica humana. Las interacciones en las regiones superficiales de las células son probablemente las responsables de este efecto (Nowak, & Puchala, 2014, págs. 325-331).

Se conoce que la exposición a la radiación ionizante tiene efectos letales en las células sanguíneas. Shanshoury y su equipo de investigación realizaron un estudio que tuvo como objetivo discutir la evaluación del efecto de la RI a dosis bajas en algunos componentes sanguíneos sobre un modelo animal. Los parámetros hematológicos se determinaron para 110 ratas (divididas en 8 grupos) antes y después de la irradiación. Intentaron explicar los cambios en la sangre dependientes del tiempo y de la dosis de radiación. Observaron una reducción significativa en los recuentos de leucocitos un día después de la irradiación, al haber sido expuestos a radiación gamma continuamente con una tasa de dosis de 0.1 Gy, 0.2 Gy, 0.3 Gy, 0.4 Gy, 0.5 Gy, 0.75 Gy y 1 Gy en comparación con el grupo de control, notándose afectaciones desde los 0.3 Gy; la tasa de degradación fue 15 veces mayor que la tasa de recuperación, aunque ambas tasas aumentan linealmente con el aumento de la dosis, sin embargo, la tasa de recuperación en la segunda etapa (aumento de dosis) es más rápida que en la etapa inicial (grupo de control). El recuento de plaquetas muestra un aumento lento en la tasa de recuperación al aumentar la dosis hasta 0.4 Gy, desde la cual hay un aumento lineal hasta una dosis de 1 Gy. La tasa de recuperación en el recuento de glóbulos rojos aumenta con el aumento de la dosis, que alcanza un máximo de aproximadamente 0.5 Gy, un aumento adicional de la dosis (0.75 Gy) dio como resultado una degradación rápida con un recuento mínimo; el cambio en el recuento disminuye exponencialmente con el aumento de la dosis. Llegaron a la conclusión que el daño por RI causa una reducción significativa en los recuentos de células sanguíneas de una manera dependiente de la dosis, lo que puede considerarse un riesgo potencial para la salud durante la exposición a la radiación. Recomiendan que se debe hacer mucho esfuerzo y centrarse en el establecimiento de protocolos para el tratamiento médico de las lesiones por radiación basadas en los cambios hematopoyéticos para la biodosimetría. (El-Shanshoury, 2016 págs. 282-284)

Juan Bustamante realizó un estudio cuantitativo descriptivo en 40 trabajadores de un centro de diagnóstico por imágenes de la ciudad de Cuenca, para determinar las alteraciones en las células sanguíneas causadas por radiaciones ionizantes. Se tomaron muestras de sangre que fueron sometidas a pruebas clínicas como son biometría hemática completa y conteo de reticulocitos, éstas exponen valores hematológicos y de reticulocitos dentro de parámetros normales. Sin embargo, cabe recalcar que los valores de eritrocitos, hemoglobina, hematocrito y plaquetas son mayores en los hombres que en las mujeres y se aprecia un descenso en el número de plaquetas conforme la edad del trabajador aumenta. (Bustamante, 2018 págs. 7-8)

1.2. Planteamiento del Problema

Como se ha enfatizado en los estudios precedentes, la exposición a radiaciones ionizantes, incluso a bajas dosis, representan una alteración en las diferentes componentes sanguíneas. Los efectos que produce la radiación en la sangre pueden ser abordados desde dos puntos de vista: como una técnica que previene la enfermedad de injerto contra huésped en pacientes inmunodeficientes mediante la anulación de los linfocitos-T o como un problema importante de salud pública ya que el personal ocupacionalmente expuesto (POE) puede sufrir cambios significativos en sus componentes sanguíneas. Adicionalmente, existen personas expuestas constantemente a fuentes de radiación natural, como los trabajadores del sector minero, tripulación aérea, entre otros que podrían presentar alteraciones en sus células sanguíneas.

El Reglamento Ecuatoriano de Protección Radiológica indica que las entidades públicas y privadas que hacen uso de fuentes emisoras de radiaciones ionizantes (naturales o artificiales), deben llevar un registro bimensual de la dosis de cada persona identificada como POE, y un registro anual de pruebas clínicas como una biometría hemática. Este tipo de control no es suficiente, sobre todo para entidades que hacen uso de fuentes que emiten altas dosis de radiación ionizante, por ejemplo, Centros de Radioterapia y Medicina Nuclear, para los cuales se requieren controles más rigurosos, tal como lo indican los reglamentos y normas internacionales de Protección Radiológica. (Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, 1979)

Este trabajo evidencia cuantitativa y cualitativamente los efectos biológicos de la radiación en sangre periférica, extraída de hombre y mujeres sin antecedentes patológicos, de 20 a 35 años, el cual mostrará cuáles son los cambios hematológicos vinculados a la exposición a radiación gamma, de modo que los entes regentes de la Protección Radiológica en el Ecuador puedan exigir un mayor control basados en la evidencia de los efectos adversos en personas ecuatorianas.

1.3. Hipótesis

Hipótesis nula: La exposición a dosis de radiación gamma entre 0,56 Gy y 1,68 Gy de sangre periférica extraída de hombres y mujeres entre 20 y 35 años no presenta cambios significativos en el valor promedio del conteo de líneas sanguíneas.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_K = \mu \quad (1)$$

$$H_1: \exists \mu_j \neq \mu \quad j = 1, 2, \dots, K \quad (2)$$

donde, $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_K$, son los valores esperados para cada grupo de datos. $K=4$

1.4. Justificación

El presente estudio piloto proporciona evidencia experimental para elaborar un patrón de cambios cuantitativos en eritrocitos, leucocitos, plaquetas, hemoglobina y hematocrito, observados luego de 26 horas de la exposición de las muestras de sangre extraída a radiación ionizante, con dosis absorbidas de 0,5 Gy, 0,8 Gy y 1,6 Gy, como un indicador convincente de la gravedad de su efecto en las personas expuestas.

El patrón de cambios cuantitativos puede ayudar a responder la incógnita planteada por las entidades internacionales relacionadas con el uso de radiaciones ionizantes: ¿la exposición a bajas dosis de radiación causa leucemia? (Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas, 2016, págs. 5, 15). En el caso de que esta respuesta sea positiva, esto conllevaría a una restricción de los límites de dosis vigentes, no sólo a nivel nacional sino a todo el mundo, ya que los rangos de dosis recomendados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), se basan en evidencia experimental, la cual es escasa debido a la dificultad que representa irradiar, con fines investigativos a una persona usando radiaciones ionizantes.

Por otra parte, los datos reportados mediante este trabajo de titulación permitirá asegurar el Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017, págs. 53-59), el cual en el eje 1 promulga derechos para todos durante toda la vida y el estado se compromete a proteger y respetar todos los derechos de los ecuatorianos; enmarcando el objetivo 1 que garantiza una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas, destacando los servicios sociales como la salud y un hábitat seguro, que van de la mano del desarrollo permanente de la ciencia e investigación

1.5. Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Evaluar los efectos biológicos causados por diferentes dosis de radiación en sangre periférica.

1.5.2 Objetivos específicos

- Diseñar el modelo experimental de la cámara de irradiación.
- Caracterizar la fuente de irradiación.
- Validar la configuración experimental.
- Irradiar la sangre a diferentes dosis.
- Determinar los efectos biológicos en sangre periférica debido a la radiación.

1.6. Radiación Ionizante

Las radiaciones ionizantes son partículas elementales u ondas electromagnéticas que tienen la capacidad de producir iones para separar o agregar un electrón a un átomo (ionización) (Hoyos Serrano, y otros, 2013 págs. 1798-1803) y romper enlaces atómicos que mantienen las moléculas unidas en las células, o produce iones para causar que un electrón salte de órbita interna a otra externa (excitación). La capacidad de ionización de las partículas es proporcional a la energía mientras que la capacidad de penetración es inversamente proporcional al tamaño de la partícula (Khan, 2003 pág. 8). Las radiaciones ionizantes se encuentran en todo lo que nos rodea, provienen del agua, de la vegetación, de la corteza terrestre hasta en nuestro propio organismo y son de amplia aplicación, la mayoría beneficiosas en la medicina, industria, agricultura e investigación (Organización Mundial de la Salud, 2016).

Las radiaciones ionizantes se pueden clasificar en directamente ionizantes e indirectamente ionizantes. Ya que en el presente trabajo se usaron emisiones gamma, se describirán sólo las indirectamente ionizantes.

1.6.1 Partículas indirectamente ionizantes

Son partículas sin carga como los rayos X, rayos gamma, fotones o neutrones; las cuales primero transfieren toda o parte de su energía a los electrones dentro del medio, (Knoll, 1979 pág. 29) por ende, generan relativamente largas interacciones (efecto fotoeléctrico, efecto Compton, producción de pares). Los electrones secundarios resultantes se comportan de manera similar a los electrones rápidos, es decir, pierden su energía a una velocidad menor y siguen un camino mucho más tortuoso a través de los materiales absorbentes. La deposición de energía en la materia por radiación indirecta es, por lo tanto, un proceso de dos pasos. (Attix, 2004 pág. 4)

1.6.1.1 Interacción de la materia con radiación gamma

La radiación gamma es la emisión espontánea de cuantos de energía por el núcleo. Al emitir fotones, el núcleo pasa de un estado excitado a un estado menos excitado. Puede haber transiciones radiativas únicas, cuando el núcleo emite solo una cantidad de gamma y transita al estado fundamental, o transiciones en cascada cuando la energía de excitación se elimina por la emisión en cascada de dos o más fotones.

Aunque se conoce un gran número de posibles mecanismos de interacción de los rayos gamma con la materia, solo tres tipos principales juegan un papel importante en las mediciones de radiación: (Knoll, 1979 pág. 48)

Absorción fotoeléctrica

En este proceso, un fotón experimenta una interacción con un átomo absorbente en el que el fotón desaparece por completo. En su lugar, el átomo expulsa un fotoelectrón energético de una de sus capas internas, la más probable es la capa K, la cual es la más estrechamente unida del átomo. Esta interacción es con el átomo como un todo y no puede tener lugar con electrones libres. El fotoelectrón aparece con una energía dada por: (Knoll, 1979 pág. 49)

$$E_{e^-} = h\nu - E_b \tag{3}$$

Donde E_b representa la energía de enlace del fotoelectrón en su capa original. Además del fotoelectrón, la interacción también crea un átomo absorbente ionizado con una vacante en una de sus capas internas. Esta vacante se llena rápidamente mediante la captura de un electrón libre del medio y/o la reorganización de electrones de otras capas del átomo. Por lo tanto, uno o más fotones de rayos X característicos también pueden generarse. Aunque en la mayoría de los casos, estos rayos X se reabsorben cerca del sitio de origen a través de la absorción fotoeléctrica que involucra capas de electrones más alejadas del núcleo. En algunos de los casos, la emisión de un electrón Auger puede sustituir a los rayos X característicos para transportar la energía de excitación atómica. (Knoll, 1979 pág. 49)

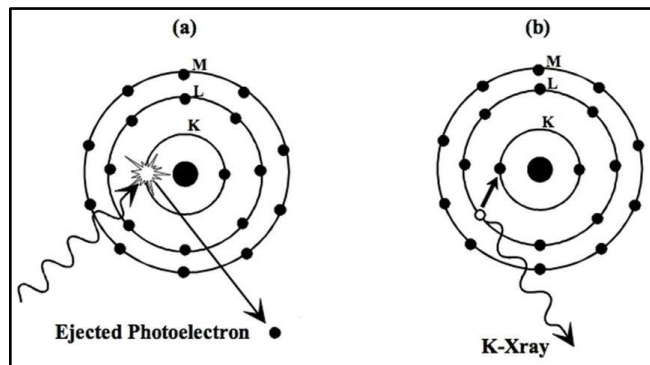


Figura 1-1: Absorción fotoeléctrica
Fuente: (Harley, 2918)

Dispersión Compton

El proceso de interacción de la dispersión Compton tiene lugar entre el fotón de rayos gamma incidente y un electrón en el material absorbente. Con mayor frecuencia es el mecanismo de interacción predominante para las energías de rayos gamma típicas de las fuentes de radioisótopos. En la dispersión de Compton, el fotón de rayos gamma entrante se desvía a través de un ángulo θ con respecto a su dirección original. El fotón transfiere una parte de su energía al electrón (se supone que está inicialmente en reposo), que se conoce como electrón de retroceso. Debido a que todos los ángulos de dispersión son posibles, la energía transferida al electrón puede variar de cero a una gran fracción de la energía de los rayos gamma. La expresión que relaciona la transferencia de energía y el ángulo de dispersión para cualquier interacción puede simplemente derivarse escribiendo ecuaciones simultáneas para la conservación de la energía y el momento. Usando los símbolos definidos en el siguiente boceto: (Knoll, 1979 págs. 49,50)

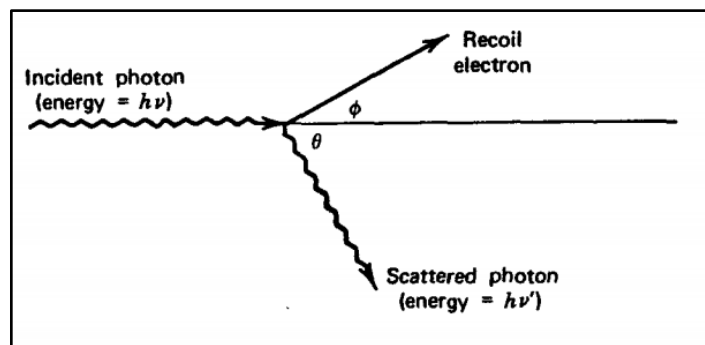


Figura 2-1: Dispersión Compton

Fuente: (Knoll, 1979)

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_0c^2}(1 - \cos\theta)} \quad (4)$$

Donde m_0c^2 es la masa en reposo del electrón (0.511 MeV). Para ángulos de dispersión pequeños, se transfiere muy poca energía; parte de la energía original siempre es retenida por el fotón incidente. (Knoll, 1979 pág. 51)

Producción de pares

Si la energía de rayos gamma excede el doble de la energía de masa en reposo de un electrón (1.02 MeV), el proceso de producción de pares es energéticamente posible. Como cuestión práctica, la probabilidad de esta interacción sigue siendo muy baja hasta que los rayos gamma se acercan a varios MeV y, por lo tanto, la producción de pares se limita predominantemente a los

rayos gamma de alta energía. En la interacción (que se da lugar en el campo de coulomb de un núcleo), el fotón de rayos gamma desaparece y es reemplazado por un par electrón-positrón. Todo el exceso de energía transportado por el fotón por encima del 1.02 MeV requerido para crear el par se convierte en energía cinética compartida por el positrón y el electrón. Como el positrón posteriormente se aniquilará después de disminuir la velocidad en el medio absorbente, normalmente se producen dos fotones de aniquilación como productos secundarios de la interacción. (Knoll, 1979 págs. 51,52)

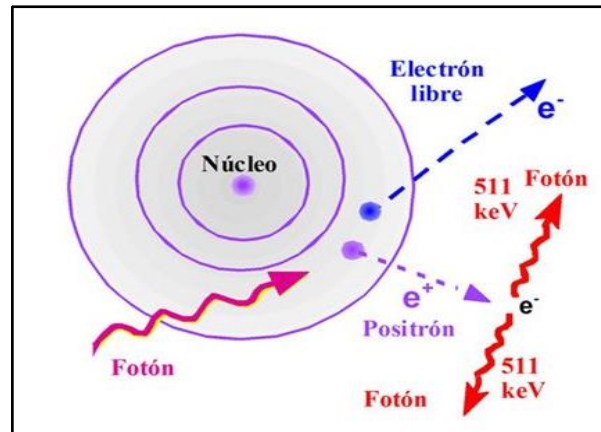


Figura 3-1: Creación de pares
Fuente: (Pamos Ureña, 2016)

La importancia relativa de los tres procesos descritos anteriormente para diferentes materiales absorbentes y energías de rayos gamma se ilustra convenientemente en la figura 4-2. La línea de la izquierda representa la energía a la que la absorción fotoeléctrica y la dispersión de Compton son igualmente probables en función del número atómico del absorbedor. La línea de la derecha representa la energía a la que es igualmente probable la creación de pares y la dispersión Compton. (Knoll, 1979 pág. 52)

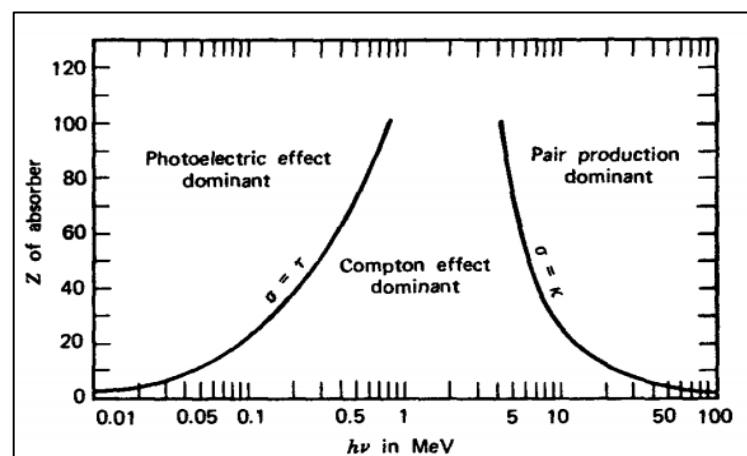


Figura 4-1: La importancia de los tres tipos principales de interacción gamma.
Fuente: (Knoll, 1979 pág. 52)

1.6.1.2 Interacción de la materia con neutrones

Al igual que los rayos gamma, los neutrones no tienen carga y, por lo tanto, no pueden interactuar en la materia mediante la fuerza de Coulomb, que domina los mecanismos de pérdida de energía para las partículas y electrones cargados. Los neutrones también pueden viajar a través de muchos centímetros de materia sin ningún tipo de reacción. Cuando un neutrón experimenta interacción, es con un núcleo de los materiales absorbentes. Como resultado de la interacción, el neutrón puede desaparecer totalmente y ser reemplazado por una o más radiaciones secundarias, o bien la energía o la dirección del neutrón cambian significativamente. A diferencia de los rayos gamma, las radiaciones secundarias resultantes de las interacciones de neutrones son casi siempre partículas cargadas pesadas. Estas partículas pueden producirse como resultado de reacciones nucleares inducidas por neutrones o pueden ser el núcleo del propio material absorbente, que ha ganado energía como resultado de colisiones de neutrones. Las probabilidades relativas de varios tipos de interacciones de neutrones cambian dramáticamente con la energía de neutrones. En una especie de simplificación excesiva, dividiremos los neutrones en dos categorías en función de su energía, ya sea neutrones rápidos o lentos. La línea divisoria será de aproximadamente 0,5 eV. (Knoll, 1979 pág. 55)

Interacción de neutrones lentos

Para neutrones lentos, las interacciones significativas incluyen dispersión elástica con núcleos absorbentes y un gran conjunto de reacciones nucleares inducidas por neutrones. Debido a la pequeña energía cinética de los neutrones lentos, se puede transferir muy poca energía al núcleo en dispersión elástica. Sin embargo, las colisiones elásticas tienden a ser muy probables y a menudo sirven para llevar el neutrón lento al equilibrio térmico con el medio absorbente antes de que tenga lugar un tipo diferente de interacción. Por lo tanto, gran parte de la población en el rango de energía de neutrones lentos se encontrará entre estos neutrones térmicos, que, a temperatura ambiente, produce una energía promedio de aproximadamente 0.025 eV. Las interacciones lentas de neutrones, de importancia real, son las reacciones inducidas por neutrones que pueden crear radiaciones secundarias de suficiente energía para ser detectadas directamente. Debido a que la energía de neutrones entrante es baja, todas esas reacciones deben tener un valor Q (carga de los iones) positivo para ser energéticamente posible (Knoll, 1979 pág. 56)

Interacción de neutrones rápidos

La probabilidad de la mayoría de las reacciones inducidas por neutrones potencialmente útiles en los detectores disminuye rápidamente al aumentar la energía de neutrones. Sin embargo, la

importancia de la dispersión aumenta porque el neutrón puede transferir una cantidad apreciable de energía en una colisión. Las radiaciones secundarias en este caso son núcleos de retroceso, que han captado una cantidad detectable de energía de las colisiones de neutrones. En cada sitio de dispersión, el neutrón pierde energía y, por lo tanto, se modera o ralentiza para reducir la energía. El moderador más eficiente es el hidrógeno porque el neutrón puede perder toda su energía en una sola colisión con un núcleo de hidrógeno. Para núcleos más pesados, solo es posible una transferencia parcial de energía. Si la energía del neutrón rápido es suficientemente alta, puede producirse una dispersión inelástica con núcleos en los que el núcleo de retroceso se eleva a uno de sus estados excitados durante la colisión. El núcleo se des excita rápidamente, emite un rayo gamma, y el neutrón pierde una mayor fracción de su energía que en una colisión elástica equivalente. La dispersión inelástica y los subsecuentes rayos gamma secundarios juegan un papel importante en el blindaje de los neutrones de alta energía, pero son una complicación no deseada en la respuesta de la mayoría de los detectores de neutrones rápidos basados en la dispersión elástica. (Knoll, 1979 pág. 56)

1.7. Exposición a rayos gamma

El concepto de exposición a rayos gamma se introdujo temprano en la historia de la investigación de radioisótopos. Definido solo para las fuentes de rayos X o gamma, existe una tasa de exposición fija en cada punto del espacio que rodea una fuente de intensidad fija. La exposición es lineal, ya que duplicar la intensidad de la fuente también duplica la tasa (5) de exposición en todas partes alrededor de la fuente. La unidad básica de exposición a rayos gamma se define en términos de la carga dQ debido a la ionización creada por las formas de electrones secundarios (electrones negativos y positrones) dentro de un elemento volumétrico de aire y masa dm , cuando estos electrones secundarios están completamente detenidos en el aire. El valor de exposición X viene dado por: (Knoll, 1979 pág. 58)

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

La unidad SI de exposición a rayos gamma es, por lo tanto, el coulomb por kilogramo (C/kg), al que no se le ha dado un nombre especial. La unidad histórica ha sido la Roentgen (R), definida como la exposición que resulta en la generación de una unidad de carga electrostática (aproximadamente 2.08×10^{-4} pares de iones) por 0.001293 g de aire. Las dos unidades están relacionadas por: (Knoll, 1979 pág. 58)

$$1R = 2.58 \times 10^{-4} C/kg \quad (6)$$

Por lo tanto, la exposición se define en términos del efecto de un flujo dado de rayos gamma en un volumen de prueba de aire y es una función solo de la intensidad de la fuente, la geometría entre la fuente y el volumen de prueba, y cualquier atenuación de los gamma rayos que pueden tener lugar entre los dos. Su medición requiere fundamentalmente la determinación de la carga debido a la ionización producida en el aire en condiciones específicas. Inherente a la definición anterior es la obligación de rastrear cada electrón secundario creado por las interacciones primarias de rayos gamma en el volumen de prueba bajo consideración, y sumar las cargas de ionización formadas por ese electrón secundario hasta que llegue al final de su camino. Este requisito es a menudo difícil o imposible de alcanzar en la práctica real y, por lo tanto, los instrumentos diseñados para medir la exposición a los rayos gamma generalmente emplean aproximaciones que implican el principio de compensación. (Knoll, 1979 pág. 58)

La exposición a los rayos gamma, aunque no está directamente relacionada con los fenómenos físicos, a menudo es de interés en la dosimetría de rayos gamma. Por lo tanto, a menudo es conveniente poder calcular la tasa de exposición a una distancia conocida de una fuente de radioisótopos puntual. Si suponemos que el rendimiento por desintegración de los rayos X y gamma se conoce con precisión para el radioisótopo de interés, la exposición por unidad de actividad de la fuente a una distancia conocida simplemente se puede expresar en las siguientes condiciones: (Knoll, 1979 pág. 58)

- La fuente es lo suficientemente pequeña como para que se mantenga la geometría esférica.
- No se producen atenuaciones de los rayos X o gamma en el aire y no existe otro material entre la fuente y el punto de medición.
- Solo los fotones que pasan directamente de la fuente al punto de medición contribuyen a la exposición, y los rayos gamma dispersados en los materiales circundantes pueden descuidarse. (Knoll, 1979 pág. 58)

La tasa de exposición \dot{X} es entonces:

$$\dot{X} = \Gamma_{\text{s}} \frac{\alpha}{d^2} \quad (7)$$

Donde α es la actividad de la fuente y Γ_{s} se define como la tasa de exposición constante para el radioisótopo específico de interés. El subíndice s implica que se ha asumido que todos los rayos X y gamma emitidos por la fuente por encima de una energía umbral contribuyen a la dosis, mientras que los que están por debajo de esta energía no penetran lo suficiente como para ser de interés práctico. (Knoll, 1979 pág. 58)

1.7.1 Exposición interna

Es producida cuando un radionucleido es inhalado, ingerido o introducido en el torrente sanguíneo, puede ser por medio de inyecciones o heridas. Esta exposición cesa cuando el radionucleido es eliminado del organismo, puede ser naturalmente por medio de sudor o excrementos o gracias al seguimiento de un tratamiento. (Organización Mundial de la Salud, 2016)

1.7.2 Exposición externa

Se produce cuando el material radiactivo presente en el aire, en forma de polvo, aerosol o líquido, se deposita sobre la piel o la ropa; generalmente este material radiactivo se elimina del organismo mediante un lavado. También se considera exposición externa a la radiación ionizante producida de origen externo como los generadores de rayos x o fuentes naturales. (Organización Mundial de la Salud, 2016)

1.8. Dosis

La dosis de radiación permite conocer los efectos que la radiación produce sobre el tejido humano. El impacto que ocasionan estos efectos debe reducirse o más razonablemente posible. Hay que tener presente que la misma cantidad de radiación produce diferente daño en un cierto tejido biológico, y que el daño depende del tipo de radiación (alfa, beta, gamma). (Consejo de Seguridad Nuclear, 2010 pág. 4)

1.8.1 Dosis absorbida

Dos materiales diferentes, si se someten a la misma exposición a rayos gamma, en general absorberán diferentes cantidades de energía. Debido a que se esperaría que muchos fenómenos importantes, incluidos los cambios en las propiedades físicas y reacciones químicas, escalen a medida que la energía absorbida por unidad de masa del material aumente; se define la unidad que mide esta cantidad es de interés fundamental. La energía absorbida de cualquier tipo de radiación por unidad de masa del absorbedor se define como la dosis absorbida. (Knoll, 1979 pág. 59) Se representa con la letra D, donde $d\bar{\epsilon}$ es la energía media impartida por la radiación a un material de masa dm . (Agencia Internacional de Energía Atómica, 2007 pág. 21) Se emplea para evaluar la posibilidad de cambios bioquímicos en tejidos específicos y describe la intensidad de la energía entregada en cualquier cantidad pequeña de tejido situada en cualquier parte del organismo. (Radiological Society of North America, 2018 pág. 2) La dosis absorbida debe ser una medida razonable

de los efectos químicos o físicos creados por una exposición a la radiación dada en un material absorbente. (Knoll, 1979 pág. 59)

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} \quad (8)$$

$\bar{\epsilon}$ representa la energía neta que permanece en el volumen de materia considerado. Su unidad de medida es el J/Kg que también conocido como Gray (Gy).

1.8.2 Dosis equivalente

Cuando se evalúan los efectos de la radiación sobre los organismos vivos, la absorción de cantidades iguales de energía por unidad de masa en diferentes condiciones de irradiación no garantiza el mismo efecto biológico. De hecho, el alcance de los efectos puede diferir tanto como un orden de magnitud dependiendo de si la energía se deposita en forma de partículas cargadas pesadas o electrones. El daño biológico creado por la radiación ionizante es atribuible a la alteración química de las moléculas biológicas que están influenciadas por la ionización o excitación causada por la radiación. La gravedad y la permanencia de estos cambios están directamente relacionadas con la tasa local de deposición de energía a lo largo del camino que las partículas recorren, conocida como transferencia lineal de energía (TLE). Radiaciones con grandes valores de TLE (como partículas cargadas pesadas) tienden a provocar un daño biológico mayor que aquellas con un TLE más bajo (como electrones), a pesar de que la energía total depositada por unidad de masa es la misma. Por lo tanto, se ha introducido el concepto de dosis equivalente para cuantificar más adecuadamente el probable efecto biológico de la exposición a la radiación dada. (Knoll, 1979 pág. 60)

La dosis equivalente es la dosis absorbida promediada para un tejido u órgano y ponderada respecto a la radiación incidente. (Cherry, 1998 pág. 3) Se emplea para evaluar el daño biológico que producirá la dosis absorbida. (Radiological Society of North America, 2018)

$$Dosis\ Equivalente = H_T = \sum_R W_R D_{T,R} \quad (9)$$

Donde $D_{T,R}$ es la dosis absorbida promediada para todo el órgano o tejido T debida a la radiación R y W_R es el factor de ponderación radiológica¹. Su unidad es $J \cdot kg^{-1}$ o Sievert (Sv).

¹ Es un número que, dependiendo del tipo y energía de la radiación R , representa los valores de la eficacia biológica relativa de dicha radiación para inducir efectos estocásticos a bajas dosis.

1.8.3 Dosis efectiva

Suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo, para mostrar la combinación de diferentes dosis en diferentes tejidos de manera que sea posible la correlación con el total de efectos estocásticos. (Agencia Internacional de Energía Atómica, 2013) Se la utiliza para evaluar la posibilidad de efectos que podrían ocurrir a largo plazo. Toma en cuenta tres factores: la dosis absorbida por todos los órganos del cuerpo, el nivel relativo del daño causado por la radiación y la sensibilidad de cada órgano a la radiación. (Agencia Internacional de Energía Atómica, 2013)

$$E = \sum_T W_T H_T \quad (10)$$

Donde W_T es el factor de ponderación tisular, representa la contribución relativa de ese órgano o tejido al detrimento total derivado de efectos estocásticos, generados por una irradiación a cuerpo entero bajo un campo de radiación uniforme; y H_T es la dosis equivalente del tejido. (Agencia Internacional de Energía Atómica, 2007 pág. 29)

1.8.4 Límites de dosis

Se han establecido límites de dosis para no superar los valores estándares, con la intención de reducir las dosis a niveles tan bajos como sea razonablemente posible.

Tabla 1-1: Niveles de dosis recomendados en situaciones de exposición planificada.

Tipo de límite	Ocupacional	Público
Dosis efectiva	100 mSv promediados en un período de 5 años 20 mSv/año sin superar 50 mSv/ en un año	1 mSv/año 1 mSv/año
Dosis equivalente total en:		
Cristalino	20 mSv (máximo 50 mSv/año)	15 mSv
Piel	500 mSv/año	50 mSv
Manos y pies	500 mSv/año	--

Fuente: (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2016 págs. 142,143)
Realizado por: Chiluiza Valeria, 2019

En Ecuador las exposiciones ocupacionales en las prácticas pacíficas de radiaciones ionizantes, están reguladas en el Reglamento de Seguridad Radiológica publicado mediante decreto ejecutivo N°3640, Registro oficial N°891 el 8 de agosto de 1979, los límites acordados se describen en la tabla 2-2: (Zambrano Barragán, 2019 págs. 27,28)

Tabla 2-1: Límites Nacionales de dosis.

Órgano	Dosis máxima permitida	Dosis máxima permitida
Cuerpo entero, gónadas, médula ósea	5 rem/año	50 mSv/año
	3 rem/trimestre	30 mSv/año
Hueso, piel de todo el cuerpo, tiroides	30 rem/año	300 mSv/año
	15 rem/trimestre	150 mSv/trimestre
Manos, antebrazos, pies, tobillos	75 rem/año	750 mSv/año
	40 rem/trimestre	400 mSv/trimestre
Todos los otros órganos	8 rem/trimestre	150 mSv/año
		80 mSv/trimestre
Personal femenino en edad reproductiva	1.25 rem/trimestre	12.5 mSv/trimestre
Mujer en estado de gravidez	1 rem/periodo de embarazo	10 mSv/periodo de embarazo
Miembros del público en general	10% de los límites establecidos para el POE	10 % de los límites establecidos para el POE

Fuente: (Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, 1979 pág. 5)

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2019

1.8.5 Dosímetro

El dosímetro de radiación es un dispositivo, instrumento o sistema que mide o evalúa, directa o indirectamente, las cantidades de exposición, kerma, dosis absorbida o dosis equivalente, o sus derivados de tiempo (tasas) o cantidades relacionadas de radiación ionizante. Un dosímetro junto con su lector se conoce como un sistema de dosimetría. La medición de una cantidad dosimétrica es el proceso de encontrar el valor de la cantidad experimentalmente utilizando sistemas de dosimetría. El resultado de la medición es el valor de una cantidad dosimétrica expresada como el producto de un valor numérico y una unidad apropiada. Para funcionar como un dosímetro de radiación, el dosímetro debe poseer al menos un efecto físico que es una función de la cantidad dosimétrica medida y se puede utilizar para la dosimetría de la radiación con la calibración

adecuada. Para ser útiles, los dosímetros de radiación deben exhibir varias características deseables como: exactitud y precisión, linealidad, dependencia de la dosis o de la tasa de dosis, respuesta energética, dependencia direccional y resolución espacial. (International Atomic Energy Agency, 2003 pág. 59)

1.8.6 Electrete

Un electrete es una pieza de material dieléctrico que exhibe una carga eléctrica casi permanente. La carga del electrete produce un fuerte campo electrostático capaz de recolectar iones de signo opuesto. Hasta hace poco, electretes han sido considerados como análogos de los imanes, digno solamente de interés académico. Sin embargo, con el desarrollo de polímeros de fluorocarbono de alta capacidad dieléctrica como el teflón, los electretes se han convertido en componentes electrónicos confiables capaces de mantener campos electrostáticos constantes incluso en condiciones de alta temperatura y humedad. (Kotrappa, 1987 pág. 47)

1.9. Blindaje

Es un material absorbente utilizado como barrera física para prevenir o reducir el paso de la radiación entre la fuente de radiación y las personas expuestas; depende de la energía y el tipo de radiación. Por ejemplo, las partículas alfa son detenidas por una hoja de papel o piel del cuerpo humano, las partículas beta son frenadas por unos pocos centímetros de madera o por una hoja de aluminio y la radiación gamma es detenida por una pared gruesa de plomo o cemento. (Consejo de Seguridad Nuclear, 2010 pág. 18)

En lo que se refiere al material de blindaje, la densidad y el espesor del mismo van de la mano para disminuir la intensidad de la radiación. (Núñez, 2008 pág. 6)

1.10. Cámara de irradiación

Una cámara de irradiación es un instrumento que se utiliza para exponer a un material o a una muestra al efecto de las radiaciones ionizantes y simultáneamente debe garantizar total protección de las RI a las personas que se encuentran a su alrededor. Esto supone que la zona a ser irradiada queda absolutamente aislada del exterior. Una cámara de irradiación está constituida por una fuente generadora de radiación ionizante, un blindaje óptimo que no permita la irradiación fuera de la misma y una disposición para colocar el objeto o muestra a irradiar. El diseño de la cámara de ionización depende de las necesidades que se presenten en cuanto a volumen, funcionalidad o disposición de la fuente y muestras.

1.11. Efectos Biológicos de la Radiación Ionizante

Se consideran como efectos biológicos a las lesiones detectables inducidas por la radiación en los seres humanos. El cambio que ocurre tras la interacción de la radiación ionizante con la materia viva, se define como una modificación molecular que puede o no evolucionar hacia un daño, que puede o no repararse. Este daño es una anomalía estructural o funcional de la célula, que se puede o no expresar como una lesión en el individuo irradiado o en su progenie. Esta interacción radiación-materia viva es un fenómeno aleatorio de carácter probabilístico. El lugar en el que se lleva a cabo la interacción tampoco es selectivo, por lo que la transferencia de energía se puede producir dentro o fuera de la célula. (Ortega , y otros, 1998 págs. 30,31)

1.11.1 Efectos subcelulares de la radiación

El efecto de la radiación en la materia viva se inicia a nivel molecular, la molécula sufrirá una ionización que modificará sus propiedades químicas, o una excitación, que presenta consecuencias químicas, pero en menor grado. Se estima el número de ionizaciones que produce cada gray, conociendo la masa del núcleo y sabiendo que se consumen 25 eV en cada ionización. (Sociedad Española de Física Médica, 2016 pág. 89)

$$\begin{aligned} \text{Diámetro nuclear} &= 12 \mu\text{m} \rightarrow \text{densidad} = 1 \text{ g/cm}^3 \rightarrow \text{masa nuclear} = 9 \times 10^{-13} \text{ kg} \\ 1\text{Gy} &= 1 \text{ J/kg} \rightarrow 9 \times 10^{-13} \text{ J/núcleo} = 5,6 \times 10^6 \text{ eV/núcleo} \\ \text{Energía invertida en ionizaciones} &= 2,8 \times 10^6 \text{ eV/núcleo} \\ 25 \text{ eV/ionización} &\rightarrow 2,8 \times 10^6 / 25 \sim 100000 \text{ ionizaciones/núcleo} \end{aligned}$$

Después de la interacción de la radiación con un átomo del medio celular suceden las siguientes interacciones:

Tabla 3-1: Secuencia temporal de acontecimientos subcelulares tras un suceso de interacción.

Etapa	Tiempo	Suceso
Física	10^{-18}s	Una partícula cruza una molécula
	10^{-15}s	Intervalo entre ionizaciones sucesivas
Físico-química	10^{-14}s	Disociación de moléculas excitadas. Comienzo de reacciones
	10^{-13}s	Termalización de electrones y disociación de estados excitados
	10^{-12}s	Difusión de radicales

Química	$10^{-11}s$	Solvatación de electrones
	$10^{-10}s$	Completadas las reacciones de difusión rápida
	$10^{-8}s$	Productos moleculares formados. Decaimiento de excitaciones singlete
	$10^{-7}s$	Distribución homogénea de radicales
	$10^{-6}s$	Captura de radicales por moléculas reactivas
	$10^{-3}s$	Decaimiento de excitaciones triplete
	1s	Concluyen las reacciones químicas
Biológica	> 1s	Se inicia la respuesta biológica al daño celular
	Horas	Concluye la acción de los mecanismos de reparación
	Días	Aparición de los efectos tisulares agudos
	Meses	Aparición de los efectos tisulares tardíos
	Años	Manifestación del daño carcinogénico

Fuente: (Sociedad Española de Física Médica, 2016)

Realizado por: Chiluíza Valeria, 2019

1.11.1.1 Acción directa

La radiación ionizante produce que las macromoléculas se exciten o ionicen. Las macromoléculas ionizadas se transforman a moléculas anormales, debido a que su estructura ha sido alterada al haber perdido a uno o varios electrones, produciéndose un cambio molecular. Las macromoléculas excitadas son inestables, debido a que poseen un exceso de energía, el cual lo pueden perder mediante la emisión de fotones y así recuperar su estado de equilibrio. A un cierto nivel de energía absorbida se produce el rompimiento de un enlace covalente; para que esto ocurra, no es preciso que la interacción haya tenido lugar con un electrón que participe en el enlace, ya que también pudo haber sido producto de fenómenos de migración o transferencia energética intramolecular e intermolecular. Al romperse un enlace covalente, la macromolécula se desintegra en dos radicales libres más un electrón desapareado. Como resultado se tiene un cambio en la macromolécula y la generación de dos nuevas moléculas. (Ortega , y otros, 1998 pág. 31)

1.11.1.2 Acción indirecta

Debido a que la molécula de agua es abundante (más del 80% de la masa celular), es el blanco más común de ionizaciones y excitaciones. (Sociedad Española de Física Médica, 2016 pág. 91) El resultado de las dos interacciones conduce al fenómeno denominado radiólisis del agua. La excitación provoca el rompimiento de un enlace y forma un radical HO y un radical H , ambos con un electrón desapareado. La ionización produce un ion positivo HOH^+ y un electrón libre; este electrón reacciona con otra molécula de agua dando como producto un ion HOH^- . Los pares

de iones formados son inestables y se disgregan inmediatamente en iones H^+ , HO^- ; y radicales libres $OH \cdot$ y $H \cdot$, con electrones desapareados. Los nuevos iones formados tienen la probabilidad de recombinarse y formar nuevamente agua, mientras que los radicales libres suelen reaccionar con otras moléculas del medio, produciendo alteraciones. (Ortega , y otros, 1998 págs. 31,32)

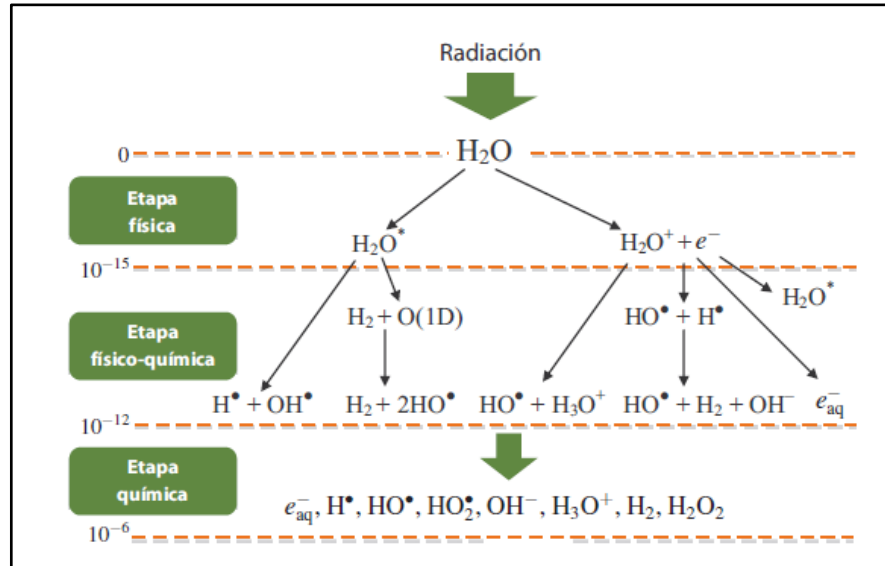


Figura 5-1: Radioquímica y radiólisis.
Fuente: (Sociedad Española de Física Médica, 2016)

Los radicales libres presentan carácter oxidante y reductor, que debido a su gran capacidad de reacción, pueden volver a combinarse entre sí dando lugar a moléculas estables tóxicas o no tóxicas para la célula. Una de las nuevas especies formadas son los peróxidos y son sumamente perjudiciales para la célula porque requieren encontrarse a una distancia menor de una molécula blanco para reaccionar y además recorren mayores distancias antes de ser neutralizados. (Sociedad Española de Física Médica, 2016 pág. 93)

De esta forma, macromoléculas lejanas al lugar de la interacción con la radiación, sufrirán modificaciones, por el motivo de que los radicales libres tienen mayor capacidad de difusión por el medio de suspensión. (Ortega , y otros, 1998 pág. 32)

1.11.2 Efectos celulares de la radiación

Los daños subcelulares causados por la radiación, especialmente los daños del genoma provocarán efectos en el desarrollo de la célula. Estos efectos no se producen de forma inmediata, más bien se presentarán a lo largo del ciclo vital de la célula; gracias a que toda célula dispone de dos alelos su función específica se mantendrá al menos parcialmente, de manera que la lesión aleatoria de genes complicadamente causará una pérdida inmediata de viabilidad en la célula.

Igualmente, la célula posee suficientes orgánulos que le posibilitan continuar viva realizando sus funciones básicas. (Sociedad Española de Física Médica, 2016 pág. 139)

Las lesiones del ADN no se manifestarán en el ciclo vital de la célula irradiada, ya que antes de que la célula empiece su mecanismo de duplicación, ese daño podría ser reparado de manera que el daño inicial desaparecería y no generaría consecuencias para la célula o su descendencia. El daño genético también podría expresarse como una mutación inofensiva, que no representa un riesgo para la vida de la célula o su descendencia. (Sociedad Española de Física Médica, 2016 pág. 140)

El daño sí puede manifestarse catastróficamente para la célula, llegando incluso a causar su muerte, o la del individuo, cuando muere junto con muchas más células de manera que comprometa la función de algún tejido vital; o si la mutación no es letal para la célula, se puede dar que es compatible con la vida y genera la activación de un gen promotor o represor de tumores, con el que se podría suscitar un proceso carcinogénico. (Sociedad Española de Física Médica, 2016 pág. 140)

La última posibilidad es que la mutación no presente efecto somático en la célula, pero si tiene la disposición de efectuar una inestabilidad genómica que, a mediano plazo y después de varios ciclos reproductivos, cause la pérdida de su capacidad proliferativa en el linaje de la célula dañada o en la aparición de un genotipo carcinogénico en dicha descendencia. (Sociedad Española de Física Médica, 2016 pág. 140)

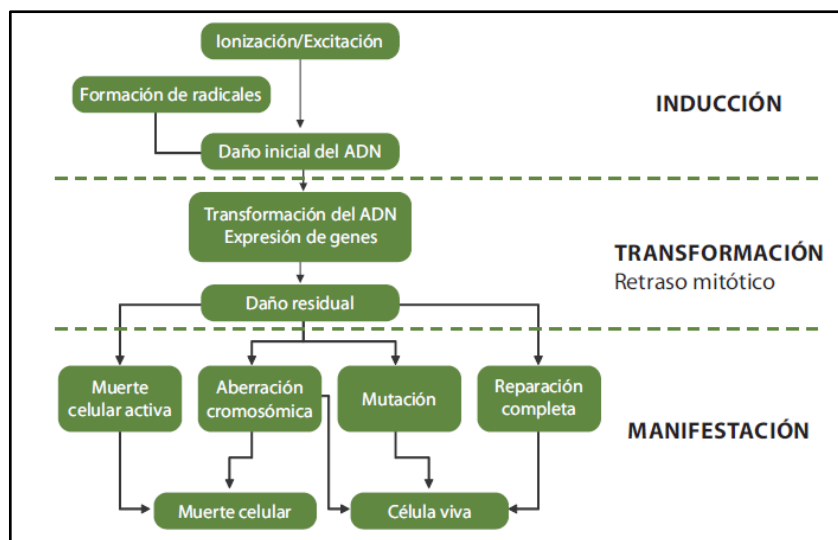


Figura 6-1: Etapas del daño celular.
Fuente: (Sociedad Española de Física Médica, 2016)

1.11.3 Efectos deterministas

Son efectos producidos tras la absorción de grandes dosis de radiación, y son causados como consecuencia de la muerte celular inducida por la radiación. Existe una dosis umbral de radiación, que, por debajo del mismo, el número de células afectadas es insignificante y no representa peligro

de manifestar efectos biológicos. La dosis se relaciona con el número de células afectadas, con lo que se afirma que la gravedad es proporcional a la dosis recibida. La aparición de estos efectos suele ser inmediata o tras un periodo corto después de la irradiación y solo ocurren cuando una cantidad grande de células en un tejido u órgano irradiado ha muerto por la radiación y su pérdida no puede ser reparada por el incremento de la proliferación celular. (Consejo de Seguridad Nuclear, 2013 pág. 9)

La consecutiva pérdida del tejido se dificulta por procesos inflamatorios y si el daño es bastante extenso, también se ve afectado por fenómenos secundarios a nivel sistémico, como es la fiebre o deshidratación. Algunos ejemplos clínicos de estos efectos son: cambios necróticos en la piel, necrosis y cambios fibróticos en los organismos internos, enfermedad aguda de la radiación después de la irradiación de todo el cuerpo, cataratas, esterilidad, eritema y caída del pelo. (Sociedad Argentina de Radioprotección, 2002 pág. 40)

En el sistema hematopoyético el efecto determinista que se produce son infecciones y hemorragias, que presentan un periodo de latencia aproximadamente de dos semanas; el umbral de dosis determinado para el tejido es de 2 Gy, llegando a producir efectos severos a partir de los 2 Gy; causando leucopenia o plaquetopenia. (Consejo de Seguridad Nuclear, 2013 pág. 11)

1.11.3.1 Efectos hematológicos

El sistema hematopoyético está formado por la sangre en circulación (sangre periférica), el tejido linfoide (bazo, timo y nodos linfáticos) y la médula ósea (encuentra en el interior de huesos largos, esternón, vértebras, costillas, pelvis, cintura escapular y huesos del cráneo). El efecto de más impacto que produce la radiación en este sistema es la disminución de los glóbulos blancos en la circulación periférica. (Chavez C, 2014 pág. 436)

Dosis pequeñas de radiación ionizante que lesionen letalmente a células progenitoras, generan la depleción de células sanguíneas maduras circulantes. La sensibilidad a la radiación de las células madre y precursores comprometidos ocasiona el síndrome hematopoyético a la radiación. La pausa de la proliferación de estas células bloquea el proceso de hematopoyesis, por lo tanto, la muerte de células sanguíneas funcionales no será compensada por la producción de nuevas células; generando un descenso en el número de células circulantes. Los diferentes efectos producidos en sangre periférica dependen de la radiosensibilidad de las células precursoras, de su capacidad de regeneración, de su supervivencia en la sangre y sobre todo de la dosis de radiación administrada. (Alcaraz Baños, y otros, 2003 págs. 98,99)

Síndrome hematopoyético

Este síndrome se origina por una reducción del número de glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas en la sangre. Se inicia con dosis entre 1 y 10 Gy. Primero existe un período de latencia que se caracteriza por una sensación de bienestar, no se notan signos de enfermedad, pero el número de células presentes en el flujo sanguíneo periférico puede ser bajo. (Chavez C, 2014 pág. 438) La enfermedad se manifiesta a las dos o tres semanas después de la exposición, provocando fiebre, anemia, hemorragias e infecciones. Si la dosis ha sido inferior a los 3 Gy, existe la posibilidad de recuperación a las tres semanas, de caso contrario y lo más probable es que el individuo fallezca. (Finestres Zubeldia, 2012 pág. 69)

1.11.3.2 Efectos sobre la médula ósea

La médula ósea es un tejido biológico flexible que se encuentra en el interior de los huesos. Puede ser de dos clases: roja y amarilla. Se va a hablar de la médula ósea roja ya que la amarilla no participa en la formación de la sangre. (Chavez C, 2014 pág. 437)

La médula roja es el lugar en donde se lleva a cabo la hematopoyesis, es decir donde se originan las células sanguíneas; se encuentra localizada en los huesos planos como el ilion, el esternón, las costillas y en la epífisis de los huesos largos. Está formada por células totipotenciales hematopoyéticas que dan origen a las células madre de las cuatro series que componen las células sanguíneas: los normoblastos (precursores de los eritrocitos), los linfoblastos (precursores de los linfocitos), los mieloblastos (precursores de los granulocitos) y los megacarioblastos (precursores de las plaquetas). (Variaciones del hemograma en personal de salud expuesto a radiaciones ionizantes, en los hospitales de tercer nivel, Sucre 2011, 2014 pág. 437) Estos precursores hematopoyéticos presentan una elevada radiosensibilidad, por lo que dosis moderadas de 0.5 Gy pueden conducir a un descenso en la proliferación de las células madre y precursores comprometidos, lo que conlleva posteriormente a una disminución en el número de células funcionales de la sangre. (Alcaraz Baños, y otros, 2003 pág. 99)

Después de la exposición las primeras células afectadas son los linfocitos, las cuales son consideradas las más radiosensibles del organismo. Se observan efectos con dosis del orden de 0.1 Gy, lo cual no sucede con las demás células sanguíneas. Fracciones pequeñas diarias de radiación generan efectos más nocivos a los linfocitos que dosis grandes periódicas, por lo que, al presentar una respuesta tan rápida, se interpreta que el efecto causado por radiación influye sobre los propios linfocitos más que sobre sus células precursoras. (Chavez C, 2014 pág. 437)

Generalmente las células expuestas a radiación mueren por fallos en sus mecanismos de replicación, pero los linfocitos presentan muerte por apoptosis a bajas dosis en pocos minutos después de la exposición; esta elevada sensibilidad causa que la respuesta inmunitaria humoral sea más radiosensible que la inmunidad celular. (Alcaraz Baños, y otros, 2003 pág. 99)

Los granulocitos tras la exposición presentan un apresurado aumento de número (granulocitosis), consecutivo por una disminución rápida y después menos pronunciada de la cantidad de células (granulocitopenia). Bajo una exposición a dosis moderadas de radiación, se puede generar un aumento transitorio en el recuento de estas células entre 15 y 20 días después. (Chavez C, 2014 pág. 437)

La exposición a la radiación sobre plaquetas produce una depleción en el número de las mismas, y progresa con lentitud, debido a que toma más tiempo a las células precursoras más sensibles llegar a su madurez. Las plaquetas disminuyen su número hasta llegar a un mínimo, para después recuperarse. (Variaciones del hemograma en personal de salud expuesto a radiaciones ionizantes, en los hospitales de tercer nivel, Sucre 2011, 2014 pág. 437) Esta disminución beneficia la manifestación de hemorragias múltiples e incoercibles que, agregado a la carencia de producción de eritrocitos, desencadenan anemias intensas. (Alcaraz Baños, y otros, 2003 pág. 99)

Los glóbulos blancos debido a que presentan una vida prolongada en sangre periférica, son los menos sensibles comparados con las demás células sanguíneas. Las afecciones de estas células no se manifiestan inmediatamente, sino hasta transcurridas varias semanas. Suelen presentar tamaño y formas normales, y en pocos casos se observan anisocitosis y macrocitosis. (Chavez C, 2014 pág. 437)

1.11.4 Efectos estocásticos

Estos efectos se producen tras exposiciones a dosis bajas de radiación, en la cual, la célula no muere, sino sufre una modificación en la molécula de ADN. No existe una dosis umbral, ya que no se puede prescindir que incluso a dosis muy bajas de radiación, exista una probabilidad, aunque sea mínima, de que la célula sea modificada. (Consejo de Seguridad Nuclear, 2013 pág. 15)

1.11.4.1 Efectos estocásticos somáticos (cáncer)

La exposición a bajas dosis de radiación se puede desencadenar en cáncer. La transición de una célula normal a una célula maligna es un proceso complejo que depende del tipo de célula, del

mecanismo de acción del carcinógeno implicado y del tipo de cáncer que se origine. (Consejo de Seguridad Nuclear, 2013 pág. 16)

La carcinogénesis es un proceso multietapas: la iniciación ocurre tras una única y breve exposición a las radiaciones ionizantes, parece irreversible y puede ser hereditaria, en esta fase se supone una mutación; la promoción tumoral radica en una fase de proliferación celular, en la cual el daño inicial se extiende debido a la aparición de un clon de células alteradas, esta fase es reversible y se puede parar mediante agentes anti carcinógenos; y, por último, la fase de progresión tumoral, en la cual la multiplicación de las células es incontrolada y en la cual los mecanismos de defensa del huésped fracasan, el tumor se hace clínicamente detectable. (Sociedad Española de Física Médica, 2016 pág. 215)

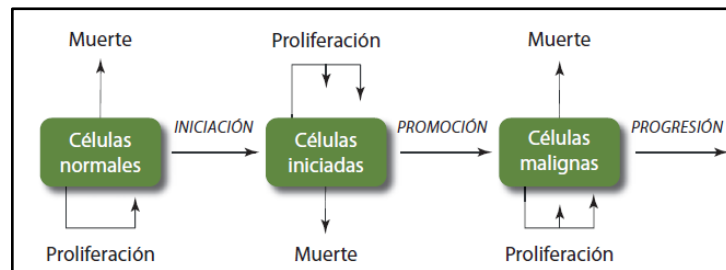


Figura 7-1: Simplificación del proceso de carcinogénesis.

Fuente: (Sociedad Española de Física Médica, 2016)

1.11.4.2 Efectos estocásticos hereditarios

Un trastorno hereditario es una condición patológica, causada por una mutación o aberración cromosómica, transferida de generación en generación. Estos trastornos son:

- Mendelianos: son causados por mutaciones en genes simples y siguen las leyes mendelianas de la herencia, por ejemplo, trastornos autosómicos dominantes y recesivos y los ligados al cromosoma X recesivos. (Sociedad Española de Física Médica, 2016 pág. 217)
- Cromosómicos: son consecuencia de las anomalías en el número o la estructura de los cromosomas. (Sociedad Española de Física Médica, 2016 pág. 217)
- Multifactoriales: estos efectos son el resultado de la acción de múltiples factores genéticos y ambientales, no siguen las leyes mendelianas de la herencia como el trastorno de labio leporino. (Sociedad Española de Física Médica, 2016 pág. 217)

Varios de los trastornos autosómicos recesivos aparecen en la infancia o niñez mientras que los trastornos autosómicos dominantes aparecen raramente en la niñez. Las anomalías congénitas se manifiestan en el nacimiento, y los trastornos multifactoriales comunes surgen en la adultez. (Sociedad Española de Física Médica, 2016 pág. 217)

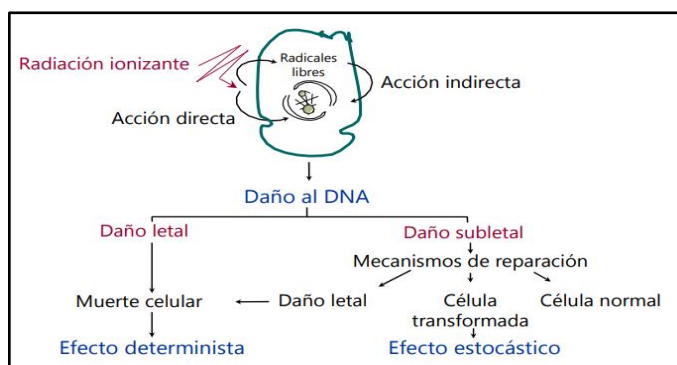


Figura 8-1: Efectos biológicos de la radiación ionizante.
Fuente: (Real Gallego, 2014)

Tabla 4-1: Principales características de los efectos somáticos y deterministas

	Efectos estocásticos	Efectos deterministas
Mecanismo	Lesión subletal (una o pocas células)	Lesión letal (muchas células)
Naturaleza	Somática o hereditaria	Somática
Gravedad	Independiente de dosis	Dependiente de dosis
Dosis umbral	No	Sí
Relación dosis-efecto	Lineal-cuadrática: lineal	Lineal
Aparición	Tardía	Inmediata o a corto plazo

Fuente: (Consejo de Seguridad Nuclear, 2013)
Realizado por: Chiluita Valeria, 2019

1.12. Hematología

Es la ciencia que estudia el origen, diagnóstico, tratamiento, predicción y prevención de las patologías de la sangre y de los órganos que dan lugar a su formación. La hematología es una especialidad médica que se dedica al estudio a investigar la sangre y los órganos hematopoyéticos, los cuales son la médula ósea, ganglios linfáticos y el bazo. (Pérez, y otros, 2012 pág. 5)

1.13. Sangre

Es un tejido conectivo líquido especializado que se desplaza por todo el organismo a través de capilares, venas y arterias del sistema vascular. La sangre venosa se caracteriza por ser desoxigenada, fluida y opaca, se caracteriza por llevar residuos del metabolismo y de paredes menos gruesas; la sangre arterial es oxigenada, limpia y de color rojo brillante rutilante, y la sangre capilar que transporta gases por constitución de paredes finas. (Soto, y otros, 1994 págs. 521-522) La sangre periférica es la sangre que circula por todo el cuerpo.

1.13.1 Funciones de la sangre

- Absorción en el intestino de los principios inmediatos que ingresan con la dieta.

- Transporte de oxígeno.
- Transporte de sustancias de desecho que serán eliminadas por el pulmón y el riñón.
- Transporte de hormonas.
- Regulación de la temperatura corporal.
- Regulación del pH.
- Función defensiva. (Soto, y otros, 1994 pág. 522)

1.13.2 Composición de la sangre

La sangre está formada por una fase sólida (glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas) y una fase líquida (plasma). El plasma constituye entre 55-60% del volumen sanguíneo mientras que los eritrocitos lo hacen en un 40-45% y solamente el 1% lo constituyen los leucocitos y trombocitos. (Chavez C, 2014 pág. 412.413) Presenta dos fases:

- Fase sólida, está compuesta por los llamados elementos formes o componentes celulares que son los glóbulos rojos, que se encargan de suministrar oxígeno desde los pulmones a tejidos y órganos; glóbulos blancos son los encargados de combatir las infecciones y forman parte del sistema inmunitario del cuerpo y plaquetas que ayudan a la coagulación de la sangre cuando existe una herida.
- Fase líquida, está compuesta por el plasma o componente celular, contiene agua, sales y proteínas. (Soto, y otros, 1994 pág. 523)

1.14. Biometría hemática

La biometría hemática, o citometría hemática es un examen de laboratorio que se encarga de analizar las tres líneas celulares de la sangre: eritroide, leucocitaria y plaquetaria; identifica de forma cualitativa y cuantitativa a estas células diferenciales y encamina al médico en el diagnóstico y comprobación de cierto tipo de patologías hematológicas o de diferentes órganos y sistemas. (Martínez Raza, 2019 pág. 7)

1.14.1 Serie roja

Los glóbulos rojos o también llamados eritrocitos o hematíes, representan el 45% del volumen sanguíneo, son células que carecen de núcleo y presentan forma de disco bicóncavo, su coloración rojiza se debe a la presencia de hemoglobina; se encuentran normalmente entre 4 y 5.5 millones

de hematíes por milímetro cúbico del volumen sanguíneo, su tiempo de vida media es de 90 a 120 días, además transportan gases como oxígeno (O_2) y dióxido de carbono (CO_2). (Martínez Raza, 2019 pág. 7) Al ser observados a través del microscopio se los diferencian ya que deben ser de color rosa a salmón. (Carr, y otros, 2009 pág. 5)

1.14.1.1 Hematocrito (Hto)

El término hematocrito (*hemo* = sangre, *krités* = separador), es el volumen ocupado de hematíes en relación a la cantidad de plasma, se define como volumen de hematíes por decilitro de sangre y se expresa en porcentaje. El hematocrito muestra la fluidez de la sangre y refleja cierto tipo de anemias o eritrocitosis. (Miale, 1985 pág. 379)

Fundamento

El método micro hematocrito posibilita determinar el valor del hematocrito a través de la centrifugación de la sangre total. (Miale, 1985 pág. 382) Esta prueba se realiza para ratificar el diagnóstico de varias patologías afecciones como: cardiopatías, deshidratación, enfermedades pulmonares crónicas, hemoconcentración, policitemia primaria o secundaria, eclampsia durante el embarazo, shock; igualmente los valores por debajo de la referencia pueden indicar anemia, hipertiroidismo, artritis, hemorragia, leucemia, fallos en la médula ósea. (Martínez Raza, 2019 pág. 8)

Valores de referencia

Tabla 5-1: Valores de referencia del hematocrito.

Edad	Hematocrito (%)
1 a 15 días	44-64
16 a 31 días	45-50
1 a 12 meses	34-38
1 a 5 años	33-41
6 a 14 años	34-43
Mujer mayor a 15 años	38-48
Hombre mayor a 15 años	40-54

Fuente: (Martínez Raza, 2019)

Realizado por: Chiluita Valeria, 2019

1.14.1.2 Hemoglobina (Hb)

El término hemoglobina (*hemo*= sangre, *globus*= masa redonda), es una proteína heterogénea que se produce en el desarrollo del eritroblasto. (Soto, y otros, 1994 pág. 527) Esta proteína es la encargada de darle el color característico de la sangre debido a la presencia de hierro, su función es el transporte de gases como el oxígeno (O_2) y dióxido de carbono (CO_2) desde los pulmones, las branquias o la piel del animal hasta sus capilares o tejidos. (Voet, y otros, 2004 págs. 333,334) Se mide en gramos por decilitro (g/dl) e indica la cantidad de esta proteína por unidad de volumen y es el único parámetro por que se utiliza para la determinación de anemia. (Ruiz, 2003 pág. 13)

Fundamento

Para poder determinar la hemoglobina es necesario conocer el valor hematocrito, ya que están relacionados directamente; su determinación establece el procedimiento más sencillo utilizado en el diagnóstico de anemias, sobre hidratación, desnutrición, sangrado, deficiencias nutricionales de hierro, folato, vitamina B6; las causas incluyen fumar, enfermedad cardíaca, enfermedad renal, deshidratación, policitemia vera, entre otras. (Martínez Raza, 2019 pág. 9)

Valores de referencia

Tabla 6-1: Valores de referencia de la hemoglobina

Edad	Hemoglobina (g/dL)
1 a 15 días	16.2-24.0
16 a 31 días	14.0-17.0
1 a 12 meses	9.0-14.6
1 a 5 años	9.6-15.5
6 a 14 años	10.0-15.5
Mujer mayor a 15 años	12.0-16.0
Hombre mayor a 15 años	13.5-18.0

Fuente: (Martínez Raza, 2019)

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2019

1.14.1.3 Volumen corpuscular medio (VCM)

Describe el volumen medio del volumen de cada hematíe en micrómetros (μm) o femtolitros ($fl = 10^{-15}$ litros). (Soto, y otros, 1994 pág. 532)

(11)

$$VCM = \frac{\text{Hematocrito } \% \times 10}{\text{Hematíes (millones/mm}^3\text{)}}$$

Fundamento

Al ser un indicador del tamaño del hematíe, un descenso del valor de referencia indica que son más pequeños de lo normal, conocidos como microcíticos, lo que significa que la persona presenta anemia ferropénica; y un aumento por encima del valor de referencia confirma que son más grandes que su tamaño estándar, indicando la presencia de anemias por déficit de ácido fólico, o anemia perniciosa por déficit de vitamina B_{12} . (Soto, y otros, 1994 pág. 533)

Valores de referencia

Los valores de referencia se encuentran en el rango de 80 y 96 femtolitros.

1.14.1.4 Hemoglobina corpuscular media (HCM)

Es la cantidad de hemoglobina presente en cada hematíe, su resultado se expresa en picogramos ($pg = 10^{-12}$ gramos). El promedio del peso de la hemoglobina se obtiene mediante la siguiente fórmula: (Soto, y otros, 1994 pág. 533)

$$HCM = \frac{\text{Hemoglobina (g/dl)} \times 10}{\text{Hematíes (millones /mm}^3\text{)}} \quad (12)$$

Fundamento

Este parámetro permite clasificar las anemias en: hipocrómicas, que son causadas debido a un déficit de hierro, y las hiperocrómicas, las cuales presentan al nivel alto de hemoglobina corpuscular media, que, normalmente alteran un déficit de vitamina B12 o ácido fólico. (Tuñón, 2019)

Valores de referencia

Los valores de referencia están entre el rango de 27 y 33 picogramos.

1.14.1.5 Concentración de hemoglobina corpuscular media (CHCM)

Este parámetro expresa la proporción de cada hematíe que está ocupado por le hemoglobina. Su resultado se expresa en porcentaje utilizando la siguiente fórmula: (Soto, y otros, 1994 pág. 533)

$$CHCM = \frac{\text{Hemoglobina}}{\text{Hematocrito}} \times 100 \quad (13)$$

Fundamento

Una concentración de hemoglobina corpuscular media por debajo del valor de referencia establecido indica que los hematíes presentan una concentración baja de hemoglobina (hipocromía), resultando anemia ferropénica y anemias genéticas; y cuando la CHCM es mayor al valor de referencia es un indicador de la presencia de enfermedades genéticas raras como la hipercromía. (Soto, y otros, 1994 pág. 533)

Valores de referencia

Los valores de referencia se encuentran dentro de rango entre 32 y 36%.

1.14.2 Serie blanca

Los glóbulos blancos, también conocidos como leucocitos, son células sanguíneas incoloras, dotadas de núcleo que presentan un tamaño de 10 a 20 micras, normalmente existen entre 5000-10 000 células por milímetro cúbico, su tiempo de vida media es de 24-72 horas; son generados en la epífisis, médula ósea activa, pero maduran en ganglios, bazo y timo. Los glóbulos blancos intervienen en la defensa del del sistema inmunitario por medio de la producción de proteínas especiales que combaten a microorganismos extraños para exterminarlos. (Martínez Raza, 2019 pág. 10) El recuento del número total de leucocitos se encuentra entre 4 000 y 11 000 *leucocitos/mm³*. (Soto, y otros, 1994 pág. 536)

Desde el punto de vista morfológico, los glóbulos blancos se clasifican en: granulocitos, que se caracterizan por tener un núcleo segmentado y agranulocitos, que poseen un núcleo definido. (Soto, y otros, 1994 pág. 535)

1.14.2.1 Granulocitos

Son leucocitos que poseen un solo núcleo, fragmentado con presencia de granulaciones, los cuales se diferencian por las coloraciones que toman al ser teñidos y permiten clasificarlos de la siguiente forma: (Soto, y otros, 1994 pág. 535)

- **Neutrófilos:** su función principal es la fagocitosis, que consiste en capturar y digerir partículas nocivas o alimentos; son capaces de combatir infecciones causadas por bacterias y cuerpos extraños y son considerados la primera línea de defensa natural. (Soto, y otros, 1994 pág. 538) Los neutrófilos pueden ser segmentados-maduros, formados por varios lóbulos unidos entre sí por puentes de cromatina; y cayados-inmaduros, que es el granulocito en banda. (Martínez Raza, 2019 pág. 11) Al ser observados por el microscopio se los reconoce por presentar un color lila. (Carr, y otros, 2009 pág. 5)
- **Eosinófilos:** son leucocitos semejantes a los neutrófilos, se diferencian ya que presentan solo dos lóbulos, (Soto, y otros, 1994 pág. 538) poseen granulaciones más gruesas de color naranja-marrón al ser observados a través del microscopio. (Carr, y otros, 2009 pág. 5) La cantidad de eosinófilos aumenta en la presencia de reacciones alérgicas, y disminuye ante los altos niveles de corticoides. (Soto, y otros, 1994 pág. 539)
- **Basófilos:** son un tipo de leucocitos menos abundante en la sangre periférica; (Soto, y otros, 1994 pág. 539) se los identifica en el microscopio por obtener colores desde el azul oscuro hasta el negro, se caracterizan por tener granulaciones gruesas en el citoplasma e incluso pueden cubrir el núcleo. (Carr, y otros, 2009 pág. 5) Intervienen en las reacciones de hipersensibilidad, moderan la respuesta alérgica al liberarse histamina y están presentes en procesos de sinusitis, enfermedad de linfoma y en la enfermedad de Hodking. (Martínez Raza, 2019 pág. 12)

1.14.2.2 Agranulocitos


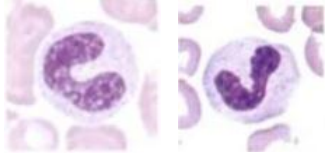
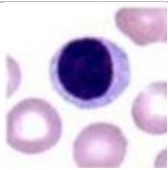
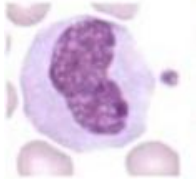
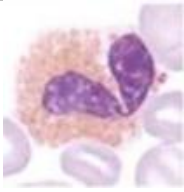
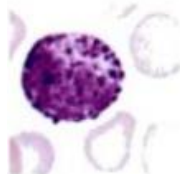
Estos leucocitos maduros se caracterizan por la presencia de un único núcleo, ausencia de granulaciones, por el tamaño y por la consistencia de la cromatina nuclear. (Soto, y otros, 1994 pág. 539) Se clasifican en:

- **Monocitos:** son células que no poseen granulaciones, se caracterizan por tener un núcleo hendido y son las células circulantes más grandes. Están presentes en procesos virales y bacterianos, producen anticuerpos y destruyen células anormales mediante la fagocitosis. (Soto, y otros, 1994 pág. 539)

- **Linfocitos:** son células mononucleares que no poseen granulaciones, su núcleo es redondo y ocupa la mayor parte de la célula; proveen inmunidad y actúan junto con los monocitos-macrófagos para aniquilar el antígeno. Se dividen en linfocitos T, que son programados en el timo e intervienen en procesos de inmunidad celular y en reacciones alérgicas retardadas, su vida media es de meses incluso años; y linfocitos B, que maduran en el bazo y ayudan en la producción de anticuerpos y reaccionan ante una infección viral, su tiempo de vida media es de horas. (Martínez Raza, 2019 pág. 11)

Valores de referencia

Tabla 7-1: Células halladas en un recuento diferencial de leucocitos.

TIPO DE CÉLULA	VALOR DE REFERENCIA	REPRESENTACIÓN
<p>Neutrófilos polinucleares, segmentados (10-15 μm, núcleo de 2-5 lóbulos conectados por filamentos, cromatina gruesa, citoplasma azul pálido.)</p>	50-70%	
<p>Neutrófilos en banda (19-15 μm, núcleo en forma de C o S, cromatina gruesa, citoplasma azul pálido a rosa.)</p>	0-5%	
<p>Linfocitos (7-18 μm, núcleo redondo. Cromatina condensada, citoplasma escaso.)</p>	20-40%	
<p>Monocitos (12-20 μm, núcleo en forma de herradura, cromatina símil encaje, citoplasma gris azulado, numerosas vacuolas, varios gránulos finos.)</p>	3-11%	
<p>Eosinófilos (12-17 μm, núcleo con 2-3 lóbulos, cromatina de grumos gruesos, citoplasma rosa, bordes irregulares, color rosa-anaranjado.)</p>	0-5%	
<p>Basófilos (10-14 μm, núcleo con 2 lóbulos, cromatina gruesa, citoplasma lavanda, gránulos.)</p>	0-1%	

Fuente: (Carr, y otros, 2009)

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2019

Fundamento

Los leucocitos son parte fundamental del tejido hematopoyético, se caracterizan por poseer un núcleo de forma variable; por la existencia de granulaciones las cuales son teñidas con diferentes colorantes, por su diámetro y por la cromatina del núcleo que puede presentar variaciones en su densidad, es posible la diferenciación de 5 tipos de leucocitos maduros; los granulocitos (neutrófilos, eosinófilos y basófilos) representan un 65% y el 35% restante corresponde a la concentración de agranulocitos (monocitos y linfocitos), los cuales actúan en reacciones de defensa contra enfermedades e infecciones, lo hacen debido a que tienen la capacidad de fagocitar cuerpos extraños y bacterias, además de favorecer la producción de anticuerpos. (Martínez Raza, 2019 pág. 14)

1.14.2.3 Fórmula leucocitaria

La fórmula leucocitaria o recuento diferencial leucocitario (RDL) consiste en la especificación en una muestra sanguínea del porcentaje de cada uno de los diferentes tipos de leucocitos con respecto al total de los mismos. Se basa en la diferenciación morfológica de los diferentes tipos de leucocitos cuando son observados en un microscopio óptico. Cuando se lo realiza en sangre periférica, se observan las formas más maduras de los leucocitos. (García Espinosa, y otros, 2015 págs. 164,165)

Tabla 8-1: Valor de referencia de la fórmula leucocitaria

Valor	Neutrófilos segmentados	Neutrófilos cayados	Eosinófilos	Basófilos	Monocitos	Linfocitos
Normal	40-75%	3-5%	1-7%	0,2-1,5%	3,5-9%	20-45%
Alto	Neutrofilia	Desviación a la izquierda	Eosinofilia	Basofilia	Monocitosis	Linfocitosis
Bajo	Neutropenia	Desviación a la derecha	Eosinopenia	Basopenia	Monocitopenia	Linfoenia

Fuente: (García Espinosa, y otros, 2015)

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2019

1.14.3 Serie trombocítica

Las plaquetas forman la tercera línea celular sanguínea, al medir de 2-4 μm de diámetro son las células más pequeñas entre los glóbulos rojos y glóbulos blancos, se caracterizan por no poseer núcleo y presentar una forma de disco elíptico. Su tiempo de vida media oscila entre 4-8 días. (Soto, y otros, 1994 pág. 541) Las plaquetas se forman por diferenciación de los megacariocitos, que son células generadas en la médula ósea; están formadas por mitocondrias, glucógeno y gránulos

específicos, los cuales permiten su participación en la coagulación sanguínea. (Martínez Raza, 2019 pág. 14)

Fundamento

Mediante el método indirecto, se estima el número de plaquetas como orientación en estudios de coagulación debido a que los trombocitos constituyen una parte fundamental del organismo, al participar en la homeostasia del cuerpo (*hemos*= sangre, *stasis*=detención), intervienen en la detención de la hemorragia al formar el trombo. Esta prueba se la efectúa en pacientes con petequias, hemorragias espontáneas o menstruaciones intensas, también se la utiliza para controlar la evolución de la enfermedad y del tratamiento en pacientes que tienen trombocitopenia o insuficiencia de la médula ósea. (Martínez Raza, 2019 pág. 14) Un valor elevado de plaquetas se traduce en una proliferación acelerada de la médula ósea, como es el caso de anemias hemolíticas; mientras que un valor menor se asocia con disminución en la trombopoyesis. (López, 2016 pág. 249)

Valores de referencia

Los valores de referencia tanto para el hombre como para la mujer se encuentran dentro del rango entre 150 000 – 500 000 *plaquetas/mm³*. (Soto, y otros, 1994 pág. 541)

Tabla 9-1: Índices hematológicos de acuerdo a la edad.

Edad	Hb (g/dL)	Hto (%)	VCM (fL)	CHCM (g/%)	Reticulocitos	Leucocitos P (10 ³ /mm ³)	Plaquetas (10 ³ /mm ³)
26-30 sem de gestación	13.4	41.5	118.2	37.9	-	4.4	254
32 sem	15.0	47	118	32	3-10	-	290
A término (CU)	13.5-16.5	51	108	33	3-7	18.1	290
1-3 días	14.5-18.5	56	108	33	1.8-4.6	18.9	192
2 sem	13.4-16.6	53	105	31.4	-	11.4	252
2 meses	10.7-11.2	35	95	31.8	0.1-1.7	10.8	-
6 meses	9.4-12.6	36	76	35	0.7-2.3	11.9	-
6 meses – 2 años	11.1-10.5	36	78	33	-	10.6	150-350
2-6 años	10.5-12	37	81	34.0	0.5-1	8.5	150-350
6-12 años	11.5-13.5	40	86	34	0.5-1	8.1	150-350
12-18 años							
Hombre	13-14.5	43	88	34	0.5-1	7.8	150-350
Mujer	12-14.0	41	90	34	0.5-1	7.8	150-350

Adulto								
Hombre	13.5-15.5	47	90	34	0.8-2.5	7.4	150-350	
Mujer	12-14.0	41	90	34	0.8-4.1	7.4	150-350	

Fuente: (López, 2016 pág. 247)

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2019

1.15. Composición de la sangre y efectos biológicos de la radiación producidos en cada uno de sus componentes

Tabla 10-1: Efectos biológicos causados por radiación en los componentes sanguíneos.

Componentes de la sangre	Efectos biológicos producidos por la radiación
Leucocitos <ul style="list-style-type: none"> • Granulocitos • Linfocitos • Monocitos 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de actividad funcional. • Caída significativa de los niveles de ATP en una hora de exposición a 5 Gy. • Irradiación antes de una transfusión causa un metabolismo oxidativo defectuoso. • Deterioro funcional después de una exposición a 30 Gy. • La preexposición a dosis bajas de timidina radiactiva reduce significativamente el daño cromosómico. • Dosis ente 25-50 Gy disminuye significativamente su supervivencia y crecimiento.
Eritrocitos	<ul style="list-style-type: none"> • Dosis de 20 kGy de irradiación gamma causa la interrupción de la cadena de la proteína polipeptídica de la hemoglobina en los eritrocitos. • Al irradiarse con radio presentan hemolisis. • Al irradiarse con rayos X de 450 Gy se genera la agregación de proteínas de membrana. • La exposición a rayos X causa alteraciones osmóticas. • La irradiación de los eritrocitos con una dosis de 20 Gy causa un aumento significativo en la concentración externa de iones de potasio y la concentración interna de iones de sodio a través de la membrana bilipídica.
Plaquetas	<ul style="list-style-type: none"> • La exposición a una dosis de 50 Gy redujo los rendimientos de las plaquetas. • La irradiación no interfiere en la eficacia clínica de las plaquetas.
Plasma	<ul style="list-style-type: none"> • A una exposición de 50 Gy presenta cambios en la absorción óptica en plasma sanguíneo humano liofilizado. • Mediante la esterilización por radiación criogénica de suero sanguíneo y plasma, proporciona seguridad radiológica y bacteriológica de productos sanguíneos y preparaciones de proteínas de sangre.

Fuente: (A review on the effects of ionizing radiation on blood and blood components, 1998)

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2019

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

El presente trabajo se fundamenta en dos etapas. Etapa I: diseño, implementación, cálculo de la dosis del irradiador gamma y la irradiación de las muestras de sangre. Etapa II: Análisis de la sangre mediante la biometría hemática.

2.1 Etapa 1

2.1.1 *Diseño del irradiador gamma*

El diseño de la cámara de irradiación se modeló paramétricamente en el programa NX 12, que permitió realizar simulaciones multidisciplinarias para el análisis estructural, de movimiento, térmico, de flujo, multifísicas y de optimización de la misma. (ANEXO 1)

Al haber comprobado su funcionalidad, se procedió a fundir plomo para obtener un cubo, el cual, posteriormente se lo introdujo en una fresadora CNC con tres grados de libertad (es decir, se desplaza en los ejes x, y, z), es una máquina automatizada que permitió la producción del diseño anteriormente modelado debido a que es capaz de fabricar piezas con perfiles sumamente complejos. (ANEXO 2)

Una vez obtenido el irradiador, el siguiente paso fue triturar y tamizar la piedra de uranio, con la finalidad de que encajara dentro de cada uno de los 32 desbastes cilíndricos del irradiador. Esta actividad supuso una elevada exposición, por lo que para llevarla a cabo se dispuso de un equipo de protección radiológica formado por: lentes plomadas, guantes plomados, delantal plomado y cuello tiroideo. Al haber transformado la piedra en polvo, se inició el proceso de llenado de los desbastes que posteriormente se sellarían con hipóxica. (ANEXO 3)

La pared externa de la cámara tiene un espesor de 5,4 mm de plomo, lo cual asegura que las partículas alfa, beta y un cierto porcentaje de las partículas gamma no son emitidas hacia al exterior del irradiador. La pared interna de la cámara tiene 3 mm de plomo lo cual asegura la atenuación del 100% las partículas alfa y beta, sin embargo, las emisiones gamma, aunque pierden parte de su energía, aún logran ingresar al interior de la cámara e interactuar con las muestras en su interior.

2.1.2 *Adecuar la incubadora para obtener una temperatura de 37°C*

Se construyó una incubadora hecha con poliestireno expandido (EPS) de 6 centímetros de grosor debido a que es un excelente aislante térmico. Sus dimensiones fueron: 79 cm de alto y 69 cm de largo y ancho. Dentro de la incubadora se incorporaron una lámpara calefactora de una potencia de 100 watts y un sensor de temperatura, que se unen a un circuito en una plaqueta de lectura y moderación. Todo este circuito va conectado a un transformador de 24 voltios que se acopla a una fuente de 120 voltios que viene a ser el tomacorriente.

El circuito de lectura y moderación está formado por un potenciómetro y unos transistores; además está programado con una secuencia lógica: al momento de alcanzar una temperatura máxima establecida en la plaqueta de lectura y moderación (38°C), la lámpara deja de recibir el fluido eléctrico que es interrumpida por acción de un relé. Al momento en que la temperatura desciende a los 36°C enseguida se empieza a emitir fluido eléctrico, es decir, a pasar más corriente a la lámpara. Cabe recalcar que a corriente que fluye hacia la lámpara en ningún momento es menor a 120 voltios ya que el cable que está conectado al sensor a la plaqueta es el polo negativo y el cable que está conectado directamente a la fuente eléctrica es el polo positivo. (ANEXO 4)

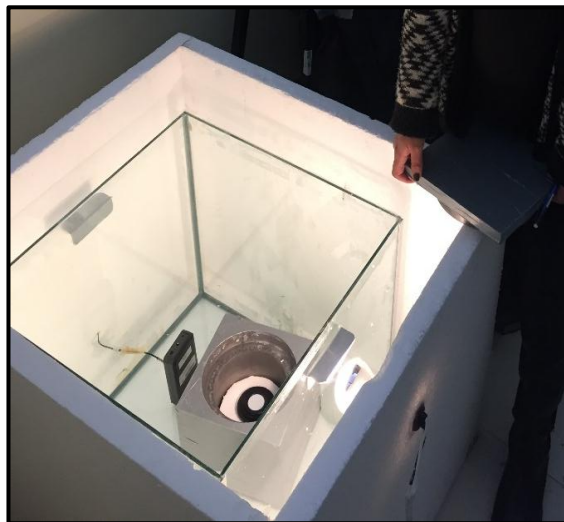


Figura 1-2: Sistema de blindajes

Fuente: Chiluíza Valeria, 2019

Una vez adecuada la incubadora se monitoreo la temperatura días antes de la exposición y durante la irradiación a las muestras sanguíneas para corroborar que el rango de temperatura se mantenga en $37\pm 1^{\circ}\text{C}$. (ANEXO 5)

2.1.3 *Adaptar el set de tubos de ensayo para la irradiación de la sangre*

Se utilizó una gradilla de poliestireno expandido para tubos de ensayo. Debido a que el material es maleable, se dibujó una circunferencia de 6.8 cm de radio para posteriormente proceder a cortarla con la ayuda de un estilete. Finalmente, se la introdujo dentro del irradiador.



Figura 2-2: Configuración de los tubos de ensayo para la irradiación

Fuente: Chiluiza Valeria, 2019

2.1.4 *Caracterizar la fuente de irradiación*

Para determinar la composición de la fuente y su respectiva actividad se debe llevar a cabo un método denominado espectrometría gamma. Debido a que la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo no cuenta con los equipamientos necesarios para poder llevar a cabo un análisis de espectrometría gamma, se destinaron dos muestras de la piedra de uranio al Laboratorio de Análisis de Radioactividad, perteneciente a la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares, la cual está inmersa dentro del Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables.

El análisis de espectrometría gamma sirve para determinar cuantitativamente el contenido radiactivo de diferentes muestras. Consiste en la obtención del espectro de las radiaciones gamma emitidas por los radionucleidos o isótopos radiactivos. Se basa en la respuesta (cuentas) del detector (semiconductor bajo ciertas condiciones) las cuales son proporcionales a la energía del rayo gamma detectado. El resultado del análisis se muestra en el ANEXO 6.

Tabla 1-2 Características físicas de los elementos que componen la roca.

Isótopo	Tiempo de vida media (T½)	Masa del isótopo encontrada en la muestra	Porcentaje representativo del isótopo en la muestra
	años	g	%
U-238	4,47E+09	1,447E+02	9,78E+01
Ra-226	1,30E+03	4,101E-07	2,77E-07
Rn-222	1,06E-02	1,318E-12	8,91E-13
Pb-214	5,19E-05	8,031E-15	5,43E-15
Bi-214	3,82E-05	6,334E-14	4,28E-14
Pb-210	2,22E+01	2,012E-09	1,36E-09
Th-232	1,40E+10	3,196E+00	2,16E+00
Ac-228	7,12E-04	3,144E-15	2,13E-15
Pb-212	1,23E-03	1,089E-14	7,37E-15
U-235	7,04E+08	8,380E-03	5,67E-03

Fuente: Nucléide Lara

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2019



Figura 3-2: Composición de la roca

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2019

2.1.5 Efectuar un análisis de la dosis emitida por la fuente

2.1.5.1 Medida de dosis gamma utilizando electretes

El arreglo experimental (electrete – irradiador), utilizado para determinar la dosis absorbida (dosímetro), propuesto para el cálculo de la dosis depositada dentro del irradiador, se muestra en la figura 12-3. En la parte B de la figura 12-3 se muestra un cubo de plomo que contiene en sus paredes aproximadamente 32 g de material radioactivo (ver ANEXO 3), así mismo ilustra una de las posiciones en las que se colocó el electrete de corto plazo (configuración ST) de Marca Rad

Elec Inc, con el objetivo de determinar la mejor posición para lograr una dosis homogénea. Esta configuración experimental constituye una cámara de ionización elemental, que no depende directamente de la energía del rayo incidente, sino sólo de la cantidad de iones producidos dentro del irradiador. (Kotrappa, 1982 pág. 175)

Se realizaron múltiples medidas del voltaje, (ANEXO 7) las cuales tuvieron un comportamiento lineal entre 10 V y 59 V. Para valores superiores o inferiores a este rango, la respuesta cambia su comportamiento.

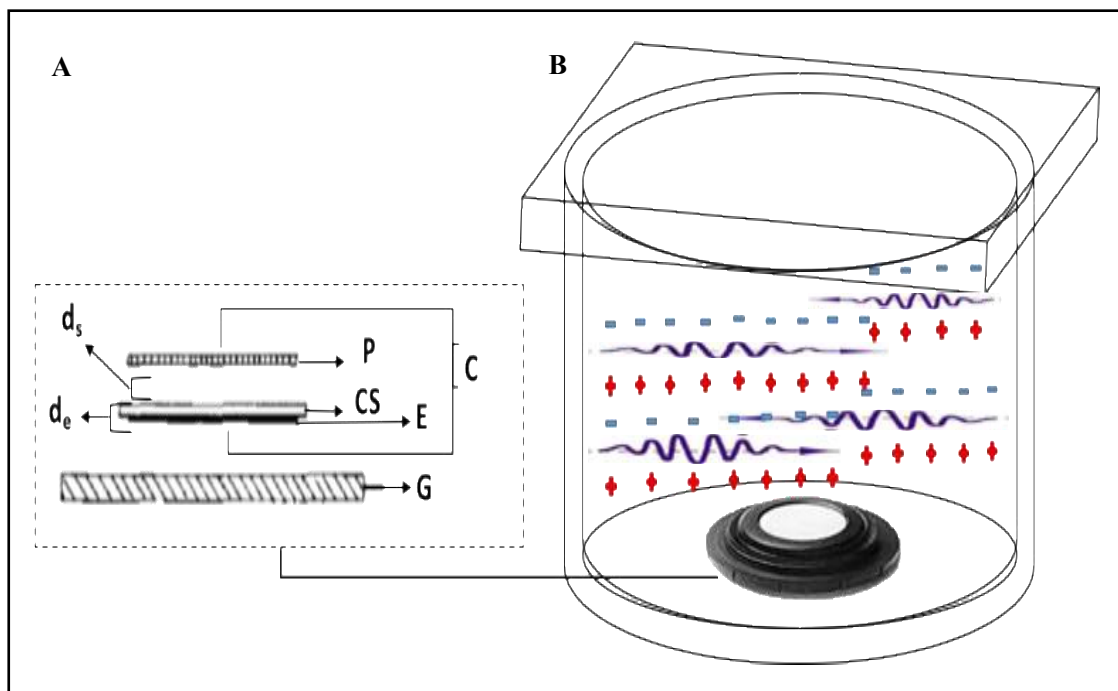


Figura 4-2: A) Configuración interna de una electrete. G-placa a tierra, E-electrete, CS-superficie conductiva, C-capacitancia B) Esquema de la configuración experimental

Fuente: Tene Talía, 2019

En la figura 12-3 parte A, se explora el diseño del electrete. La configuración interna comprende una placa a tierra (G), teflón (E), superficie conductiva (CS), representación de la capacitancia (C), lamina prueba (P), la distancia entre la prueba y el electrete (d_s) y el grosor del electrete (d_e). Para determinar la posición en la cual las muestras a irradiar reciban una dosis homogénea, se ensayaron 6 posiciones diferentes, como se detalla en la Tabla 12, con 10 repeticiones cada una en intervalos de tiempo entre 10 y 30 minutos cada una. De las 6 posiciones, dos fueron las escogidas para realizar los posteriores cálculos, debido a su baja fluctuación.

Tabla 2-2: Posiciones de ensayo para determinar una dosis homogénea dentro del irradiador.

CÓDIGO	POSICIÓN DEL ELECTRETE	DIRECCIÓN DEL ELECTRETE	ALTURA
AB	Dentro de la cámara en el centro	Hacia arriba	6.8 cm desde el borde interno superior
AC	Dentro de la cámara en el centro	Hacia arriba	8 cm desde el borde interior superior
EB	Dentro de la cámara, a un lado, en contacto con la pared	Hacia un lado	6.8 cm desde el borde interno
EC	Dentro de la cámara, a un lado, en contacto con la pared	Hacia un lado	8 cm desde el borde superior
FB	Dentro de la cámara en el centro	Hacia un lado	6.8 cm desde el borde interno
FC	Dentro de la cámara en el centro	Hacia un lado	8 cm desde el borde superior

Realizado por: Chiluíza Valeria, 2019

2.1.5.2 Dosímetro: respuesta del electrete

Un electrete es una pieza de un material dieléctrico que muestra una carga eléctrica permanente. La carga del electrete produce un fuerte campo eléctrico capaz de coleccionar iones de signo opuesto. Si el material dieléctrico es teflón, los pares de iones producidos dentro de la cámara, se recolectan en la superficie del electrete causando una reducción del campo electrostático. La diferencia entre el voltaje puede ser medido y se usa para calcular las cargas recolectadas en el electrete debido a la ionización producida en un volumen. La dosis de radiación se calcula a partir de esta medida, asumiendo una saturación en la recolección de cargas.

El Teflón, un plástico fluorocarbonado, es conocido por ser un electrete estable. Mediante el método de contacto líquido se retiene la carga en el teflón. El teflón puede mantener su carga por más de dos años, inclusive bajo situaciones de alta humedad y temperaturas hasta 60°C. Asumiendo una saturación en la recolección de iones producidos dentro de un volumen determinado, el cambio del voltaje puede ser calculado. Una vez que se obtiene la diferencia de voltaje en voltios (V) del electrete, es decir antes y después de la exposición a la radiación ionizante, se puede calcular la respuesta del dosímetro R, mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{f \cdot v}{C \cdot \left(1 + \epsilon_0 \frac{d_p}{d_e}\right)} \left[\frac{V}{mGy} \right] \quad (14)$$

Donde,

$$f = \text{factor de conversión} = 34,233 \times 10^{-12} \left[\frac{C}{mGy \text{ ml}} \right],$$

$v = \text{volumen del electrete a presión y temperatura ambiente [ml]}$

$C = \text{Capacitancia del sistema [pF]}$

$\epsilon_0 = \text{Constante dieléctrica del material}$

$d_p = \text{distancia entre las cargas (probe) y el electrete [cm]}$

$d_e = \text{espesor del electrete [cm]}$

La Tabla 13-3 nos muestra la respuesta del electrete en voltios sobre mGy para electretes de diferentes espesores. El cálculo desarrollado con los electretes asumen que existe una saturación en la recolección de iones sin pérdida (recombinación) de iones y sin ninguna multiplicación de iones, esta asunción es válida solamente para tiempos de exposición cortos.

Tabla 3-2: Respuesta de los electretes, que presentan las siguientes características:
Capacitancia del Sistema 54pF, Constante Dieléctrica del Teflón 2.1. *
Características del electrete utilizado en este trabajo.

v	d_e	d_p	Respuesta del electrete (dosímetro)
<i>ml</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	$\left[\frac{V}{mGy} \right]$
23,30	0,01	0,66	0,14
23,30	0,08	0,66	0,81
23,30	0,31	0,66	2,71
131,55*	0,23*	6,70*	1,34

Fuente: (X and Gamma dose measurement using electrets, 1982)

Realizado por: Chiluíza Valeria, 2019

2.1.6 Cálculo de la dosis absorbida y tasa de dosis

Una vez que se calculó la respuesta del electrete, se determinó la dosis absorbida y la tasa de dosis para las diferentes posiciones propuestas en la Tabla 12-3. En la Tabla 16-4 expuesta en los resultados se reporta la dosis absorbida calculada para la posición AB, es decir el electrete hacia arriba, dentro de la cámara en el centro geométrico a 6,8 cm desde el borde interno superior y la Tabla 17-4 reporta la dosis absorbida para la posición AC, donde el electrete se encuentra hacia arriba, dentro de la cámara en el centro geométrico a 8,0 cm desde el borde interno superior.

2.1.6.1 Dosis entregada a las muestras

Las muestras fueron expuestas a tres intervalos de tiempo: 8, 12 y 24 horas, en la posición AB. Los valores de dosis absorbida depositada en cada muestra se reportan en la Tabla 18-4 en el capítulo de resultados.

Para la fase de exposición de las muestras de sangre se utilizará la siguiente nomenclatura de dosis:

Tabla 4-2: Nomenclatura de dosis en las muestras de sangre

Tiempo de exposición	Identificador	Dosis
h		Gy
0	D ₀	0,0
8	D ₁	0,56
12	D ₂	0,84
24	D ₃	1,68

Realizado por: Chiluza Valeria, 2019

2.2 Etapa II

2.2.1 Irradiar la sangre a diferentes dosis

2.2.1.1 Población

Personas (estudiantes, docentes, personal administrativo) que tengan entre 20 y 35 años de edad que no presenten patologías preexistentes de la Facultad de Ciencias. Según el registro obtenido se cuentan 2036 personas.

2.2.1.2 Muestra

Considerando que este es un estudio piloto se decidió seleccionar una muestra de 10 mujeres y 10 hombres, de tal modo que el tamaño de la muestra es:

$$P = \frac{10 \text{ mujeres} + 10 \text{ hombres}}{2036} = 0,010 \quad (15)$$

Todas las personas que forman parte de la muestra llenaron encuestas, con la finalidad de corroborar que ninguna persona sufre alguna patología y por medio de la cual autorizan la extracción 10 ml de sangre. (ANEXO 8)

2.2.1.3 Experimento

Materiales para extracción de sangre

- Torniquete
- Algodón
- Alcohol
- Vacutainer
- Tubos de tapa lila que indica la presencia del anticoagulante EDTA
- Bandas adhesivas

Método de extracción de sangre

- La extracción de sangre se llevó a cabo en el Laboratorio de Técnicas Nucleares de la ESPOCH, en el cual se aplicaron las respectivas normas de higiene.
- Se tomaron los datos personales de cada uno de los pacientes y se procedió a codificar los tubos.
- Se ubicó el sitio de punción para posteriormente desinfectarlo con una torunda y alcohol antiséptico.
- Se colocó el torniquete en la parte superior del brazo con la finalidad de dar a notar la vena con acumulación de sangre.
- Se introdujo la aguja en la vena con el bisel hacia arriba.
- Seguidamente se recogió la sangre en dos tubos herméticos con tapa de color lila, el cual es un indicativo que contiene anticoagulante tipo EDTA.
- Se retiró el torniquete del brazo, luego la aguja y finalmente se limpió con una torunda de alcohol para parar el sangrado en el sitio de la punción.
- Una vez cesado el sangrado se colocó una venda adhesiva de protección.

Método de irradiación

- Al haber obtenido dos tubos de sangre periférica, cada uno de 5 ml, se extrajo 2.5 ml de uno de los dos tubos con la ayuda de una micropipeta electrónica de volumen variable y se depositó esa cantidad de sangre en otro tubo con anticoagulante EDTA; estos 2.5 ml se los destinó a congelación ya que son la muestra control.
- Los 7,5 ml restantes se los acomodó dentro del irradiador.
- Transcurridas 8 horas dentro del irradiador, se retiró 2.5 ml de sangre, los cuales fueron destinados a congelación.

- Transcurridas 12 horas de exposición a la radiación se retiró un volumen de otros 2.5 ml de sangre, para luego ser puestos en congelación.
- Y, finalmente después de 24 horas sometida la muestra a la irradiación, se retiraron los últimos 2.5 ml de sangre periférica.
- Transcurridas las 24 horas después de haber sido irradiadas las muestras, se las transportaron al Laboratorio Clínico de la ESPOCH para su procesamiento.

Este procedimiento se llevó a cabo con las veinte muestras sustraídas.

2.2.2 *Determinación de los efectos biológicos en sangre periférica*

Para poder determinar los efectos biológicos producidos en sangre periférica irradiada a diferentes tiempos se consensuó realizar la prueba clínica denominada “Biometría Hemática”, la cual es descrita a continuación:

2.2.2.1 *Materiales y reactivos*

Tabla 5-4: Listado de equipos, materiales y reactivos para realizar una biometría hemática

Biometría Hemática	
Materiales y equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Capilares azules • Plastilina de sellado para capilares • Microscopio Olympus CX31RBSFA • Microcentrífuga D-78532 • Muestras de sangre • Homogeneizador de muestras • Microcentrífuga • Pipeta de glóbulos rojos • Piano Diffcount • Cámaras de Neubauer • Regla de Hto • Calculadora • Pipeta de Thoma • Agitador de pipetas de glóbulos blancos • Absorbedor • Portaobjetos • Lápiz marcador • Cubreobjetos 	<ul style="list-style-type: none"> • Alcohol 70% • Reactivo Wright • Reactivo de Turk (Leucotest) • Agua destilada • Aceite de inmersión

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2019

2.2.2.1. Determinación del hematocrito

- Se homogenizaron las muestras durante cinco minutos.
- Se debe llenar aproximadamente 70-80% de un capilar azul sin heparina para sangre con una porción de la muestra.
- Ocluir con plastilina un extremo del capilar.
- Colocar el capilar con el extremo ocluido adherido al reborde externo de la plataforma del cabezal de la microcentrífuga Centrifugen D-78532 por un tiempo de 10 minutos a 2000RPM.
- Transcurrido los diez minutos se procede a determinar el hematocrito con la regla específica, en la cual se lee el número de eritrocitos, se lo multiplica por cien y se lo divide para el volumen total de la sangre. (ANEXO 9)

2.2.2.2. Determinación de la hemoglobina

La hemoglobina se determina mediante la fórmula matemática que divide el valor del hematocrito para un factor de tres.

2.2.2.3. Determinación de glóbulos rojos

Para determinar la cantidad de glóbulos rojos, es necesario conocer el porcentaje del hematocrito y el volumen de hemoglobina para guiarnos de la siguiente tabla.

Tabla 6-2: Tabla de relación entre hematocrito y glóbulos rojos.

Hto (%)	Hb (g/dl)	CGR/mm ³	Hto (%)	Hb (g/dl)	CGR/mm ³
40	13,2	4*300,000			
39	12,87	4*200,000	60	19,8	6*300,000
38	12,54	4*100,000	59	19,47	6*200,000
37	12,21	4*000,000	58	19,14	6*100,000
36	11,88	3*900,000	57	18,81	6*000,000
35	11,55	3*800,000	56	18,48	5*900,000
34	11,22	3*700,000	55	18,15	5*800,000
33	10,89	3*600,000	54	17,82	5*700,000
32	10,56	3*500,000	53	17,49	5*600,000
31	10,23	3*400,000	52	17,16	5*500,000
30	9,9	3*300,000	51	16,83	5*400,000
29	9,57	3*200,000	50	16,5	5*300,000

28	9,24	3*100,000	49	16,17	5*200,000
27	8,91	3*000,000	48	15,84	5*100,000
26	8,58	2*900,000	47	15,5	5*000,000
25	8,25	2*800,000	46	15,18	4*900,000
24	7,92	2*700,000	45	14,85	4*800,000
23	7,59	2*600,000	44	14,52	4*700,000
22	7,26	2*500,000	43	14,19	4*600,000
21	6,93	2*400,000	42	13,86	4*500,000
20	6,6	2*300,000	1	13,53	4*400,000

Fuente: Garbay Inés, 2019

Realizado por: Chiluíza Valeria, 2020

2.2.2.4. *Determinación de VCM, HCM y CHCM*

La determinación de cada una de estas pruebas se dio por medio de un cálculo operacional a partir del hematocrito donde ponemos en práctica las fórmulas para determinación de VCM (9), para la determinación de HCM (10) y para el cálculo de CHCM (11).

2.2.2.5. *Determinación de glóbulos blancos*

- Pipetear sangre con la pipeta de Thoma y el absorbedor hasta la marca de 0.5 evitando la formación de burbujas.
- Limpiamos la pipeta para eliminar el exceso de sangre.
- Aspiramos reactivo de Turk hasta la marca 11, evitando formación de burbujas.
- Retiramos el agitador y colocamos la pipeta en el agitador de pipetas durante tres minutos.
- Limpiamos con algodón y alcohol la cámara de Neubauer.
- Eliminar las tres primeras gotas de la dilución de la pipeta de Thomas.
- Colocar una gota en la cámara de Neubauer y dejar reposar por tres minutos para que se asienten los leucocitos.
- Posteriormente se procede a observar en el microscopio para el cual enfocamos con lente de 10 X, con lente de 20 X se observó la distribución de las células y se enfocó con lente de 40 X para contar los leucocitos que se encuentran distribuidos en los 16 cuadros de los 4 cuadrantes situados en las esquinas de la cámara.
- Para obtener el número de los glóbulos rojos totales se multiplica la cantidad observada en el microscopio y se lo multiplica por el número 50.

2.2.2.6. Extendidos de sangre (frotis sanguíneo)

Se extiende una gota de sangre sobre un portaobjetos, la cual se tiñe y se examina en el microscopio los glóbulos rojos, leucocitos y plaquetas; con el objetivo de establecer características y diferencias morfológicas en cada uno de los tipos de célula y en evaluar la frecuencia relativa de diferentes leucocitos. El portaobjetos es sometido a una de las tinciones de Romanowsky, en este caso la tinción Wright, que es muy fiable y fácil de usar.

Método para realizar un frotis sanguíneo

- Primero debemos buscar un extensor, el cual es portaobjetos que tenga los cantos lisos.
- Dejar caer una pequeña gota de sangre con la ayuda de un capilar, de unos dos a tres milímetros en un extremo de un portaobjetos completamente limpio y seco.
- Colocamos el portaobjetos extensor a un ángulo de 35-40° sobre el portaobjetos que tiene la gota de sangre; se lo desplaza unos milímetros hacia adelante y posteriormente hacia atrás, de manera que la hacer contacto con la gota, esta se extiende rápidamente a lo largo del portaobjetos de base.
- El extendido debe tener una longitud de unos 30 milímetros (figura 13-3). No se debe retirar el portaobjetos extensor hasta que se haya extendido toda la sangre. El espesor del extendido puede regularse cambiando el ángulo al que se sostiene el extensor, variando el tamaño de la gota de sangre y cambiando la presión y velocidad del extendido.
- Dejar que los extendidos se sequen al aire y codificar el portaobjetos.

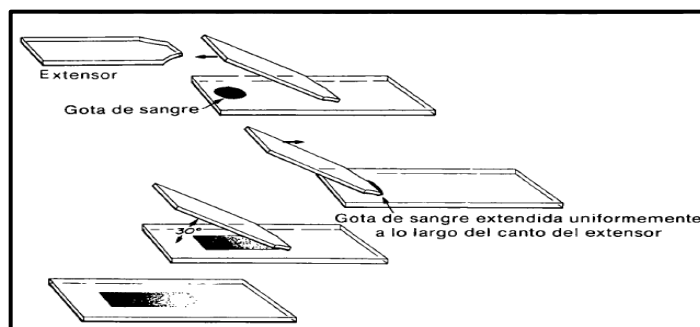


Figura 5-2: Método de preparación de un frotis sanguíneo

Fuente: (Sagñay Chucurri, 2017)

Método para realizar la tinción Wright (ANEXO 10)

- Cubrir completamente el portaobjetos con la tinción de Wright. Transcurridos tres minutos agregar agua destilada con suavidad y de manera uniforme. Aparecerá un resplandor verde metálico.
- Después de transcurridos cinco minutos, enjuagar con agua potable.
- Limpiar la parte posterior del portaobjetos con una torunda empapada de alcohol para eliminar todos los restos del tinte.
- Colocar una gota de aceite de inmersión cubriendo el extendido con un cubreobjetos. El cubreobjetos es esencial ya que permite examinar el extendido con bajo aumento.
- Estudiar la morfología de los glóbulos rojos de todos los portaobjetos.

2.2.2.7. *Fórmula Leucocitaria*

Utilizando los frotis realizados anteriormente se observó e identificó en el microscopio la cantidad existente de cada tipo de leucocitos: neutrófilos, monocitos, linfocitos, eosinófilos y basófilos.

2.2.2.8. *Determinación de las plaquetas*

- Colocar la placa portaobjetos en el microscopio y observar con el lente 100x.
- Observar de tres a ocho plaquetas por cien glóbulos rojos.
- Contar las plaquetas en 10 campos microscópicos.
- Calcular el número total de plaquetas utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Plaquetas} = \frac{\sum \text{plaquetas recuento de 10 campos}}{10} \times 20\,000 \quad (16)$$

2.3 Modelo Estadístico

Los datos de las biometrías hemáticas realizadas se registraron en el programa estadístico Excel, para posteriormente analizarlos mediante el programa de análisis estadístico Graph Pad Prism 7 para Windows. En el programa estadístico se determinó el análisis de la varianza (ANOVA) el cual prueba que las medias de dos o más poblaciones son iguales; evalúa la importancia de uno o más factores al comparar las medias de las variables de la respuesta en los diferentes niveles de los factores y permite comparar varios datos con la muestra de control.

CAPÍTULO III

3 MARCO DE ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Análisis de resultados

Así como en la metodología, la exposición de resultados y discusión se efectuará en varias partes.

3.1 *Tasa de dosis del irradiador y dosis absorbida entregada a las muestras*

A continuación, se reportan los valores de dosis absorbida calculadas para 2 posiciones AB y AC, las cuales presentan una menor dispersión de datos y representan una posición sencilla para colocar las muestras de sangre.

Tabla 1-3: Dosis absorbida calculada para los voltajes registrados en la posición AB. Usando un factor de respuesta (R:1,34).

	Voltaje	Dosis Absorbida	Error Relativo Dosis A.	Tiempo de exposición	Tasa de dosis	Error Relativo Tasa de Dosis	Tasa de dosis
	V	mGy		min	mGy/min		Gy/h
	59	43,99	0,02	31	1,42	0,02	0,09
	56	41,75	0,02	30	1,39	0,02	0,08
	52	38,77	0,02	30	1,29	0,02	0,08
	51	38,02	0,02	30	1,27	0,02	0,08
	53	39,51	0,02	30	1,32	0,02	0,08
	40	29,82	0,03	31	0,96	0,03	0,06
	43	32,06	0,02	30	1,07	0,02	0,06
	35	26,09	0,03	30	0,87	0,03	0,05
	37	27,59	0,03	30	0,92	0,03	0,06
	38	28,33	0,03	30	0,94	0,03	0,06
Total	464	345,93	0,002	302	1,15	0,002	0,07

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2019

Tabla 2-3: Dosis absorbida calculada para los voltajes registrados en la posición AC. Usando el valor de R:1.34.

	Voltaje	Dosis Absorbida	Error Relativo Dosis A.	Tiempo de exposición	Tasa de dosis	Error Relativo Tasa de Dosis	Tasa de dosis
	V	Gy		min	mGy/min		Gy/h
	107	80	0,01	10	7,977	0,02	0,48
	71	53	0,01	10	5,293	0,02	0,32
	79	59	0,01	10	5,915	0,02	0,35
	65	48	0,02	10	4,821	0,02	0,29
	62	46	0,02	10	4,647	0,02	0,28
	23	17	0,04	10	1,690	0,02	0,10
	46	35	0,02	10	3,454	0,02	0,21
	23	17	0,04	10	1,690	0,02	0,10
	26	20	0,04	10	1,963	0,02	0,12
	7	5	0,14	10	0,547	0,02	0,03
Total	509	379,98	0,002	100	3,80	0,002	0,23

Realizado por: Chiluíza Valeria, 2019

Según lo expuesto en las tablas, los valores de tasa de dosis para las posiciones AB y AC son 0,07 Gy/h (20%) y 0.23 Gy/h (61%) respectivamente. La dispersión en los valores del voltaje en la posición AC, claramente influyen en la obtención de la tasa de dosis correspondiente a esta posición, por lo tanto, se eligió trabajar con las muestras de sangre ubicadas en la posición AB y su respectiva tasa de dosis.

Los tiempos elegidos para exposición de las muestras de sangre son 8, 12 y 24 horas respectivamente, por lo que la dosis absorbida correspondiente a cada intervalo de tiempo se indica en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Dosis absorbida (Gy) por las muestras para los intervalos de tiempo de exposición de las muestras de sangre.

Posición de la muestra	Tasa de dosis	Tiempo de exposición	Dosis Absorbida	Incertidumbre Dosis	Dosis máxima	Dosis mínima	Nomenclatura usada en el trabajo
	Gy/h	h	Gy	Gy	Gy	Gy	
-	-	0	0	-	-	-	D ₀
AB	0,07	8,0	0,56	0,10	0,66	0,46	D ₁
		12,0	0,84	0,20	1,04	0,64	D ₂
		24,0	1,68	0,30	1,98	1,38	D ₃

Realizado por: Chiluíza Valeria, 2019

3.1.1 Resultados de la biometría hemática

Una vez que se expusieron las muestras de sangre a las dosis expuestas en la Tabla 3-4, se obtuvieron los siguientes resultados:

3.1.1.1 Contaje de hemoglobina

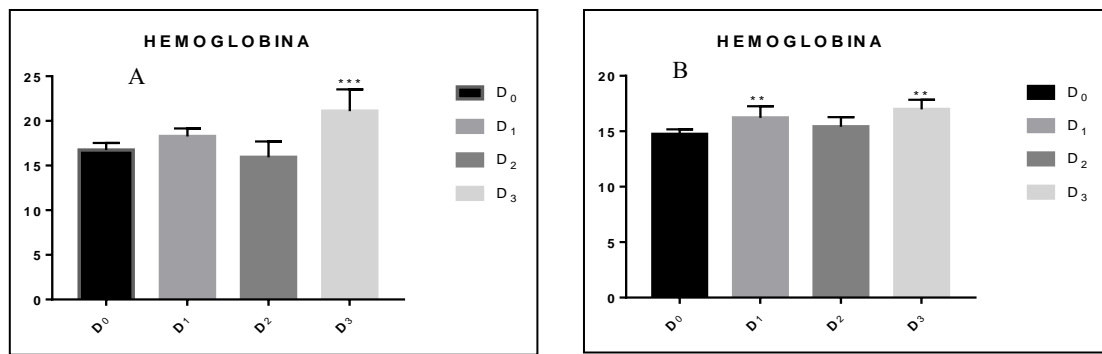


Figura 1-3: Contaje de la hemoglobina en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D_0 = 0 \text{ Gy}$, $D_1 = 0.56 \text{ Gy}$, $D_2 = 0.84 \text{ Gy}$ y $D_3 = 1.68 \text{ Gy}$.

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2020

Tanto en hombres como en mujeres se evidencia un incremento en el nivel de la hemoglobina, como se indica en la figura 1-3, cuando las muestras han sido expuestas a 1.68 Gy en relación con el control (0 Gy). Luego de realizar un análisis de varianza para $N=40$, se rechaza la hipótesis nula: las dosis de radiación gamma entre 0,56 y 1,68 Gy no producen efectos en los niveles de hemoglobina de la sangre periférica extraída de hombres y mujeres entre 20 y 35 años. Se demuestra que para hombres la dosis D_3 (**= $p<0.001$) presenta un valor promedio mayor de hemoglobina frente a la dosis de control. Para las mujeres se demuestra que la dosis D_1 y D_3 (**= $p<0.01$) existe un aumento del valor promedio de hemoglobina frente a la dosis de control.

El aumento de la hemoglobina concuerda con la investigación de Hillyer y sus colaboradores, en la cual justifican este incremento debido a la presencia elevada de oxígeno en la sangre, y, a mayor concentración de oxígeno se requiere una mayor capacidad para transportarlo; siendo la hemoglobina responsable de esta función. La diferencia entre la muestra inicial y final en la cantidad de hemoglobina no representa un cambio o alteración drástica en su función o viabilidad. (Hillyer, 1991 pág. 498)

3.1.1.2 Contaje del hematocrito

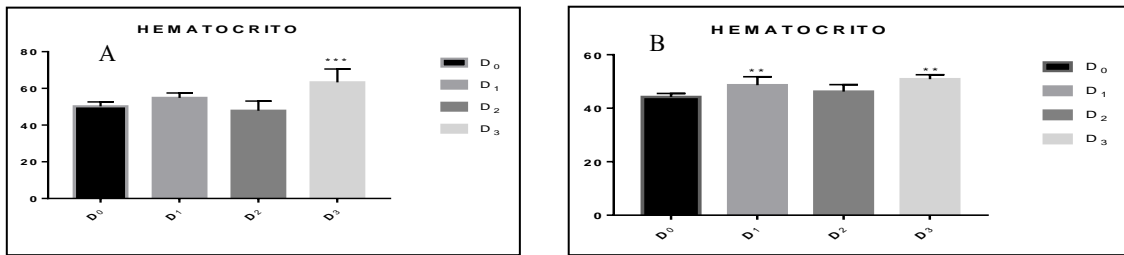


Figura 2-3: Contaje del hematocrito en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D_0 = 0$ Gy, $D_1 = 0.56$ Gy, $D_2 = 0.84$ Gy y $D_3 = 1.68$ Gy.

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2020

Se observa en la figura 2-3, que, para ambos sexos, hay un aumento en el volumen de glóbulos rojos con relación al total de la sangre (hematocrito), para la sangre expuesta a 1.68 Gy en relación a la muestra control ($D_0 = 0$ Gy). Para $N=40$, luego de realizar un análisis de varianza se rechaza la hipótesis nula: las dosis de radiación gamma entre 0,56 y 1,68 Gy no producen efectos en el nivel de hematocrito en muestras de sangre extraído de hombres y mujeres entre 20 y 35 años. Se demuestra que para hombres la dosis D_3 (***) presenta un valor promedio mayor de hematocrito frente a la dosis de control. Para las mujeres se demuestra que la dosis D_1 y D_3 (**=) existe un aumento del valor promedio de hematocrito frente a la dosis de control.

Al existir una relación directa entre la hemoglobina y el hematocrito, el incremento de hemoglobina supone un incremento en la cantidad de hematocrito, lo que representa una concentración elevada de glóbulos rojos tal como los resultados lo reportan Una investigación realizada por Sosa y su grupo de trabajo en el año 2016 corrobora el incremento de hematocrito y hemoglobina en sangre irradiada, este incremento lo justifican únicamente a las variaciones experimentales entre las muestras. (Sosa, México, 2016)

3.1.1.3 Contaje de glóbulos rojos

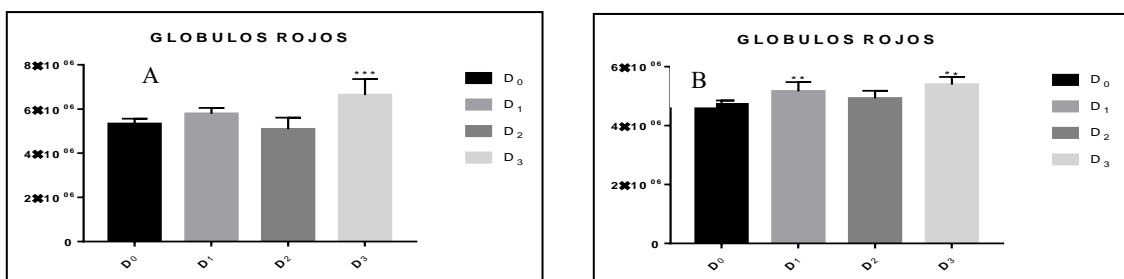


Figura 3-3: Contaje de glóbulos rojos en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D_0 = 0$ Gy, $D_1 = 0.56$ Gy, $D_2 = 0.84$ Gy y $D_3 = 1.68$ Gy.

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2020

En la figura 3-3 se observa para ambos sexos un aumento en la cantidad de glóbulos rojos cuando se somete un grupo de muestras de sangre periférica a la exposición a 1.68 Gy en relación a la muestra control ($D_0 = 0$ Gy). Para $N=40$, luego de realizar un análisis de varianza se rechaza la hipótesis nula: las dosis de radiación gamma entre 0,56 y 1,68 Gy no producen efectos en el número de glóbulos rojos en la sangre periférica extraída de hombres y mujeres entre 20 y 35 años. Se demuestra que para hombres la dosis D_3 ($***=p<0.001$) presenta un valor promedio mayor de glóbulos rojos frente a la dosis de control. Para las mujeres se demuestra que la dosis D_1 y D_3 ($**=p<0.01$) producen un aumento del valor promedio de glóbulos rojos frente a la dosis de control.

La cantidad de glóbulos rojos se determinó mediante los valores de hematocrito, por lo que, al aumentar el hematocrito, aumenta la cantidad de glóbulos rojos. Un recuento alto de glóbulos rojos provoca un ictus cerebral, isquemia cerebral, infarto agudo de miocardio, trombosis de las arterias de extremidades o una embolia pulmonar.

Ya que los glóbulos rojos no fueron calculados de manera directa, es decir por el conteo de los glóbulos rojos de la sangre total si no que fueron calculados mediante la tabla 6-2, que relaciona la cantidad de glóbulos rojos con el hematocrito y la hemoglobina se puede considerar que la cantidad de glóbulos rojos determinada para cada una de las exposiciones a la radiación no es 100% confiable y presenta cierto porcentaje de error sistemático en el método de medida.

3.1.1.4 Contaje del volumen corpuscular medio (VCM)

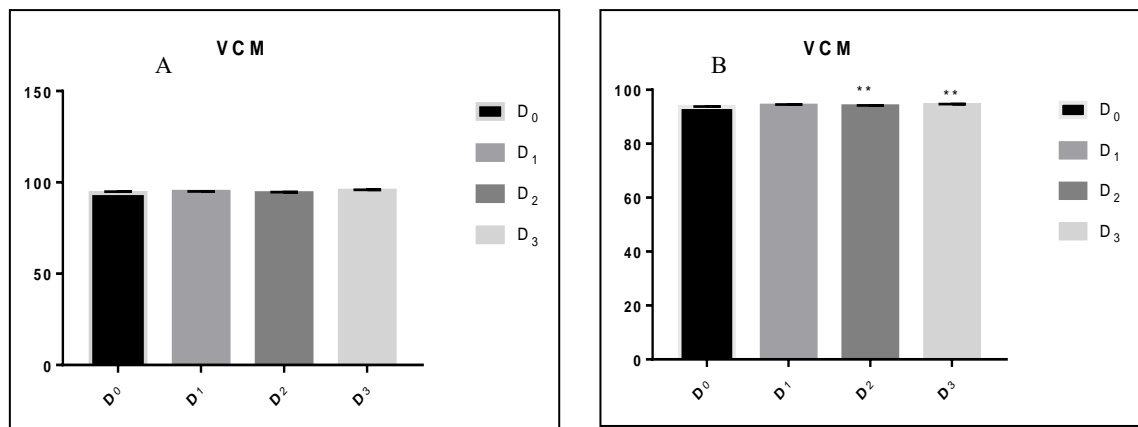


Figura 4-3: Contaje del volumen corpuscular medio en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D_0 = 0$ Gy, $D_1 = 0.56$ Gy, $D_2 = 0.84$ Gy y $D_3 = 1.68$ Gy

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2020

La figura 4-3 muestra una compatibilidad entre los valores promedio del contaje de VCM con relación con el grupo control (0 Gy). Luego de realizar un análisis de varianza para $N=40$, se

acepta la hipótesis nula: las dosis de radiación gamma entre 0,56 y 1,68 Gy no producen cambios en el conteo del VCM de la sangre periférica extraída de hombres y mujeres entre 20 y 35 años. La variación del volumen corpuscular medio es mínima, presentando un aumento de 1 fL en las muestras que fueron expuestas a 1.68 Gy con relación a la muestra control ($D_0 = 0 \text{ Gy}$). Erkal y su equipo de investigadores justifican este mínimo aumento en el volumen corpuscular medio de los eritrocitos con el inevitable proceso de envejecimiento de los mismos, esto produce una reducción en la deformabilidad de la membrana de la célula (Erkal, 2009 págs. 263-267) El VCM se mantiene dentro de los valores de referencia en todas las muestras, tanto las de control como las irradiadas a las tres dosis; implicando que la radiación ionizante no produjo cambios biológicos significativos, lo cual es confirmado por la estadística utilizada.

3.1.1.5 Contaje de hemoglobina corpuscular media (HCM)

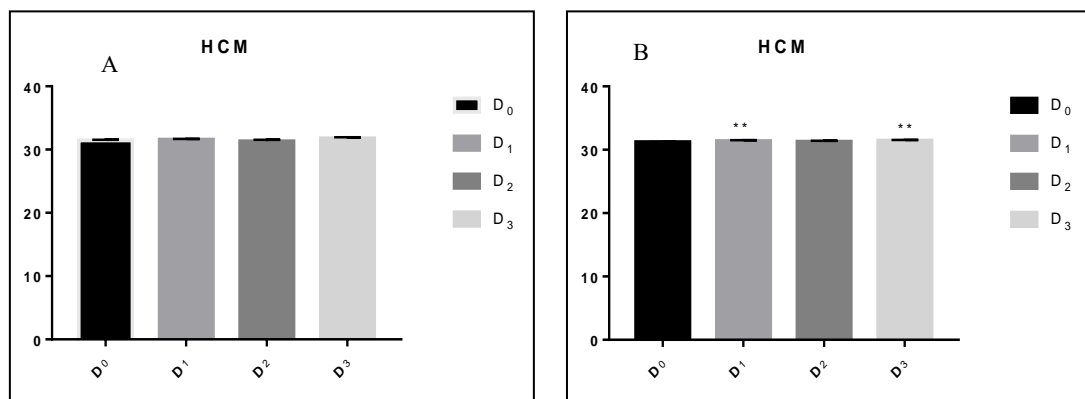


Figura 5-3: Contaje de hemoglobina corpuscular media en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D_0 = 0 \text{ Gy}$, $D_1 = 0.56 \text{ Gy}$, $D_2 = 0.84 \text{ Gy}$ y $D_3 = 1.68 \text{ Gy}$.

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2020

La figura 5-3 muestra una compatibilidad entre los valores promedio del contaje de HCM con relación con el grupo control (0 Gy). Luego de realizar un análisis de varianza para $N=40$, se acepta la hipótesis nula: las dosis de radiación gamma entre 0,56 y 1,68 Gy no producen cambios en el conteo del HCM de la sangre periférica extraída de hombres y mujeres entre 20 y 35 años. Existe un aumento mínimo en los valores de hemoglobina corpuscular media; a la exposición de 1.68 Gy aumenta máximo 0.5 picogramos en relación con la HCM de la muestra control. Sin embargo, todos los valores se encuentran dentro del rango de referencia.

3.1.1.6 Contaje de la concentración de hemoglobina corpuscular media (CHCM)

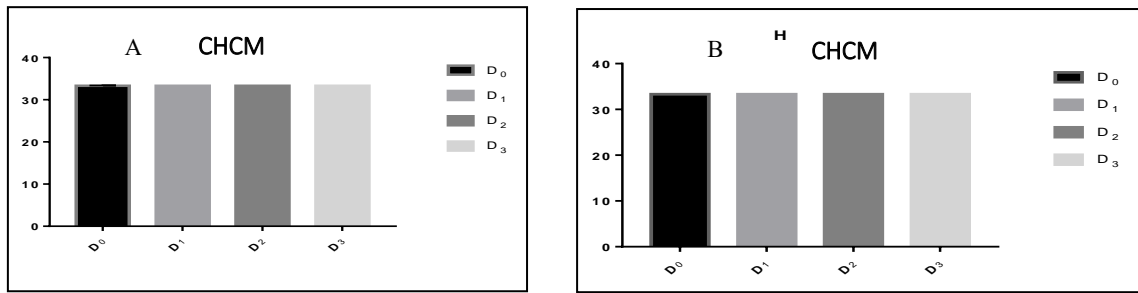


Figura 6-3: Contaje de CHCM en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D_0 = 0 \text{ Gy}$, $D_1 = 0.56 \text{ Gy}$, $D_2 = 0.84 \text{ Gy}$ y $D_3 = 1.68 \text{ Gy}$.

Realizado por: Chiluíza Valeria, 2020

La figura 6-3 muestra una compatibilidad entre los valores promedio del contaje de CHCM con relación con el grupo control (0 Gy). Luego de realizar un análisis de varianza para $N=40$, se acepta la hipótesis nula: las dosis de radiación gamma entre 0,56 y 1,68 Gy no producen cambios en el conteo del HCCM de la sangre periférica extraída de hombres y mujeres entre 20 y 35 años.

Debido a que la concentración de hemoglobina corpuscular media es producto de la relación entre hematocrito y hemoglobina, y, que estos valores se encuentran dentro de los parámetros de referencia con un aumento mínimo a dosis de 1.68 Gy; es de esperarse que la CHCM no presente variaciones significativas; no obstante, el presentar un incremento casi se debe al proceso de envejecimiento de los glóbulos rojos. (Erkal, 2009 págs. 263-267) El HCCM se mantiene dentro de los valores de referencia en todas las muestras, tanto las de control como las irradiadas a las tres dosis; implicando que la radiación ionizante no produjo cambios biológicos significativos, lo cual es confirmado por la estadística utilizada.

3.1.1.7 Contaje de glóbulos blancos

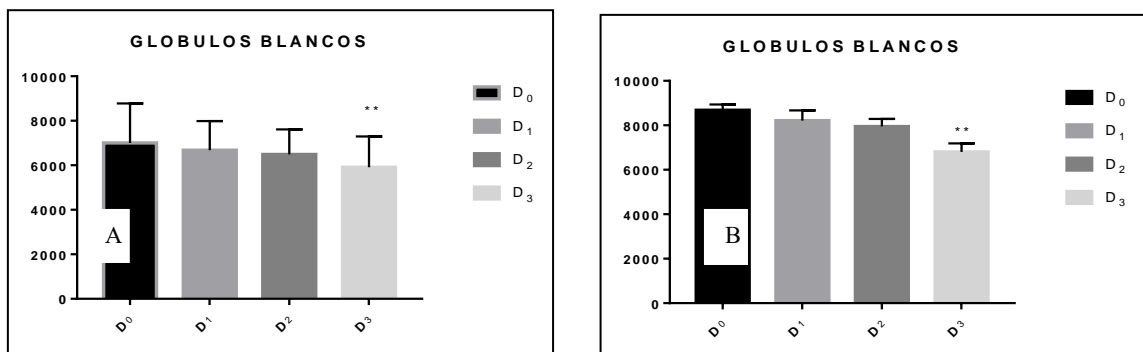


Figura 7-3: Contaje de glóbulos blancos en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D_0 = 0 \text{ Gy}$, $D_1 = 0.56 \text{ Gy}$, $D_2 = 0.84 \text{ Gy}$ y $D_3 = 1.68 \text{ Gy}$.

Realizado por: Chiluíza Valeria, 2020

Tanto en hombres como en mujeres se evidencia un descenso en la cantidad de glóbulos blancos, como se indica en la figura 7-3, cuando las muestras han sido expuestas a 1.68 Gy en relación con el control (0 Gy). Luego de realizar un análisis de varianza para N=40, se rechaza la hipótesis nula: las dosis de radiación gamma entre 0,56 y 1,68 Gy no producen efectos en la cantidad de glóbulos blancos de la sangre periférica extraída de hombres y mujeres entre 20 y 35 años. Se demuestra que para hombres y mujeres la dosis D₃ (**=p<0.01) presenta un valor promedio menor de glóbulos blancos frente a la dosis de control.

El principal efecto de la radiación sobre las muestras sanguíneas es el descenso en el número de glóbulos blancos en la circulación periférica; tal como lo muestra la figura 7-3 B, la lesión letal en las células precursoras genera el descenso en estas células maduras circulantes. Al conocer que los efectos a la célula dependen de su capacidad de regeneración y sobre todo de supervivencia en la sangre, y, sabiendo que los leucocitos se encuentran de paso entre el sitio donde se produjeron y los tejidos donde realizan sus funciones, este estudio demuestra que existe una correlación negativa entre la cantidad de leucocitos y el tiempo de exposición a la radiación: esto quiere decir que, a mayor tiempo de exposición, menor cantidad de leucocitos. (Chavez C, 2014 pág. 497) Un recuento bajo de leucocitos supone un debilitamiento del sistema inmune, con lo cual el individuo tiende a ser vulnerable a infecciones y patologías causadas por bacterias.

3.1.1.8 Contaje de neutrófilos

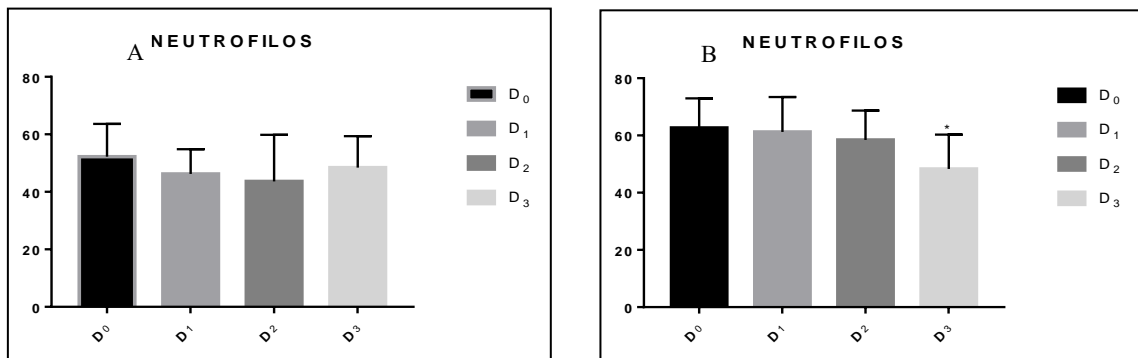


Figura 8-3: Contaje de neutrófilos en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D_0 = 0 \text{ Gy}$, $D_1 = 0.56 \text{ Gy}$, $D_2 = 0.84 \text{ Gy}$ y $D_3 = 1.68 \text{ Gy}$.

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2020

En la figura 8-3 A, se observa una compatibilidad entre los valores promedio del contaje de neutrófilos con relación con el grupo control (0 Gy) en hombres. Mientras que para mujeres en el gráfico B, se observa el descenso estadísticamente significativo (análisis de varianza N=40) en la cantidad de neutrófilos para la exposición a 1.68 Gy (*=p<0.05) en relación con el control. Los neutrófilos presentan un descenso en su cantidad de células después de la exposición a 1.86 Gy,

lo cual se relaciona con una alteración de su metabolismo oxidativo y pérdida de actividad funcional. (Jacobs, 1998 pág. 512)

3.1.1.9 Contaje de eosinófilos

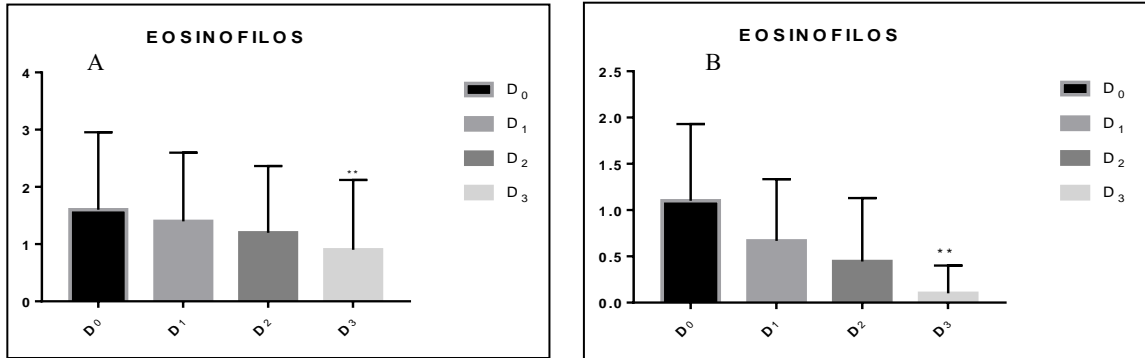


Figura 9-3: Contaje de eosinófilos en: A) Hombres y B) Mujeres. Sangre periférica fue expuesta a $D_0 = 0 \text{ Gy}$, $D_1 = 0.56 \text{ Gy}$, $D_2 = 0.84 \text{ Gy}$ y $D_3 = 1.68 \text{ Gy}$.

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2020

En la figura 9-3 se observa que tanto para hombres como para mujeres existe un descenso estadísticamente significativo en la cantidad de eosinófilos para la exposición a $D_3 = 1.68 \text{ Gy}$. (**= $p < 0.01$) en relación con el control. Luego de realizar un análisis de varianza se rechaza la hipótesis nula: las dosis de radiación gamma entre 0,56 y 1,68 Gy no producen efectos en el número de eosinófilos en la sangre periférica extraída de hombres y mujeres entre 20 y 35 años.

La disminución en el número de eosinófilos supone una caída significativa en los niveles de ATP acompañado de pérdida de su actividad funcional. (Jacobs, 1998 pág. 512)

3.1.1.10 Contaje de basófilos

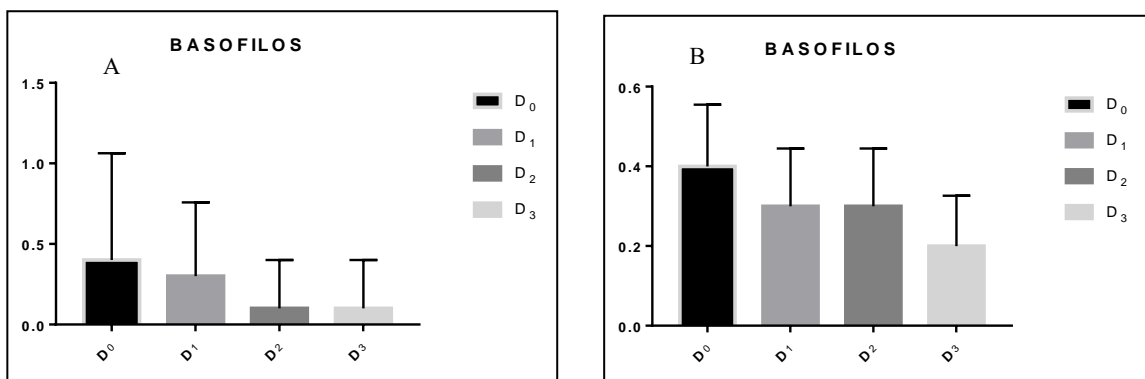


Figura 10-3: Contaje de basófilos en: A) Hombres y B) Mujeres. Sangre periférica fue expuesta a $D_0 = 0 \text{ Gy}$, $D_1 = 0.56 \text{ Gy}$, $D_2 = 0.84 \text{ Gy}$ y $D_3 = 1.68 \text{ Gy}$.

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2020

En la figura 10-3 se indica una disminución de la cantidad de basófilos después de la exposición a 1.68 Gy en relación con el control (0 Gy). Para N=40, luego de realizar un análisis de varianza se rechaza la hipótesis nula: las dosis de radiación gamma entre 0,56 y 1,68 Gy no producen efectos en el nivel de basófilos en muestras de sangre extraído de hombres y mujeres entre 20 y 35 años

La disminución e la cantidad de basófilos supone una pérdida en su actividad funcional. (Jacobs, 1998 pág. 512)

La granulocitopenia se produce por el recuento bajo de granulocitos, y es una enfermedad en la cual se pierde la capacidad de combatir gérmenes, y con ello, las infecciones.

3.1.1.11 Contaje de linfocitos

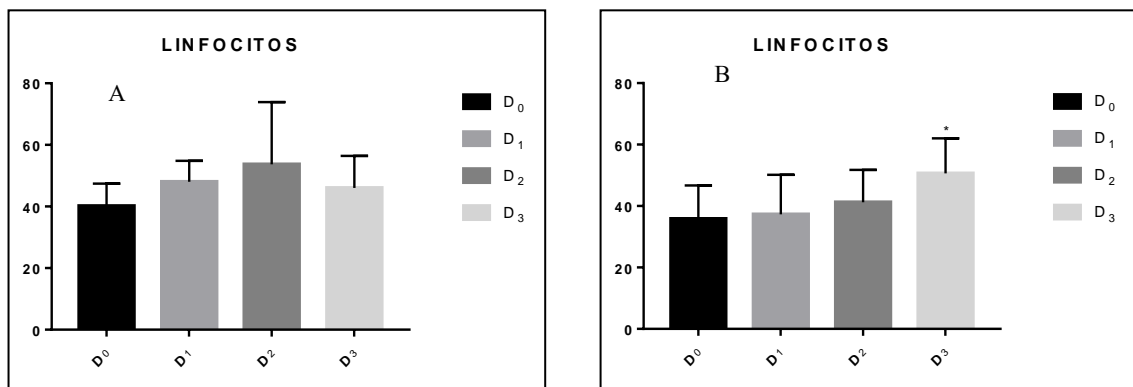


Figura 11-3: Contaje de linfocitos en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D_0 = 0 \text{ Gy}$, $D_1 = 0.56 \text{ Gy}$, $D_2 = 0.84 \text{ Gy}$ y $D_3 = 1.68 \text{ Gy}$.

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2020

En la figura 9-3 A, se observa un aumento en la cantidad de linfocitos después de la exposición a $D_2 = 0.84 \text{ Gy}$, sin embargo, para los hombres no hay un parámetro estadístico significativo que corrobore esta aseveración dada la varianza del grupo de datos D_2 . Para las mujeres se tiene un valor ($*=p<0.05$) para la dosis D_3 , el cuál rechaza la hipótesis nula: las dosis de radiación gamma entre 0,56 y 1,68 Gy no producen cambios en el contaje de linfocitos de la sangre periférica extraída de hombres y mujeres entre 20 y 35 años.

La literatura describe que los linfocitos son las células más radiosensibles, siendo letales las dosis más bajas, y, que ante a la exposición a la radiación, son las primeras en descender. Sin embargo, en este trabajo de titulación se observa un incremento en los linfocitos desde la exposición a 0.56 Gy a las 8 horas, como la exposición a 0.84 Gy a 12 horas y a 1.68 Gy en 24 horas de exposición. Esto se justifica mediante uno de los reportes de la UNSCEAR, en el que, linfocitos in vitro fueron

expuestos a una dosis única de 0.005 Gy de rayos gamma y no se creó condiciones para una respuesta adaptativa, pero dos dosis, cada una de 0.005 Gy administradas en el mismo ciclo celular, sí lo hicieron. (La respuesta inmune adaptativa entra en acción cuando falla la inmunidad innata.) El cuerpo humano detecta a la radiación como si fuera un agente patógeno, por lo que, la inducción del mecanismo de reparación de los linfocitos tiene lugar entre 4 y 6 horas después de la exposición a dosis de radiación gamma y sigue siendo efectiva durante tres ciclos celulares. (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1994 págs. 188-189) Esto se traduce en el aumento de linfocitos pretendiendo atacar al agente patógeno (radiación). Al presentar un recuento alto de linfocitos se puede evidenciar una infección, cáncer de la sangre o el sistema linfático o trastornos autoinmunitarios.

3.1.1.12 Contaje de monocitos

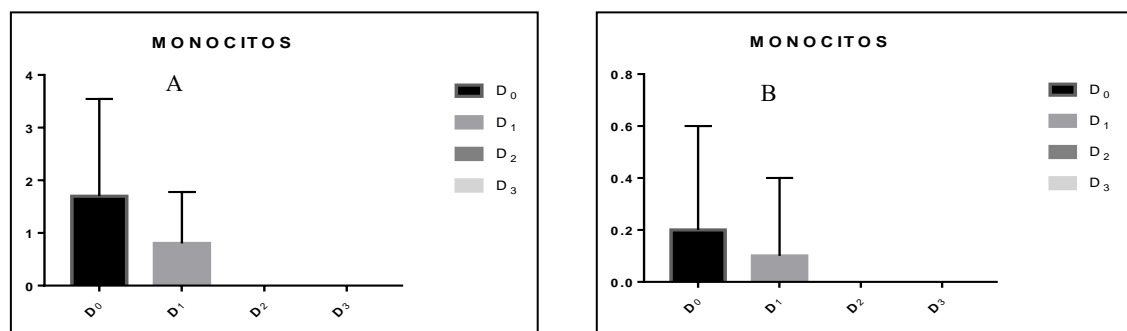


Figura 12-3: Contaje de monocitos en: A) Hombres y B) Mujeres. Sangre periférica fue expuesta a $D_0 = 0 \text{ Gy}$, $D_1 = 0.56 \text{ Gy}$, $D_2 = 0.84 \text{ Gy}$ y $D_3 = 1.68 \text{ Gy}$.

Realizado por: Chiluita Valeria, 2020

Tanto en hombres como en mujeres se evidencia una reducción absoluta en la cantidad de monocitos, como se indica en la figura 12-3, cuando las muestras han sido expuestas a 0.84 y 1.68 Gy en relación con el control (0 Gy). Luego de realizar un análisis de varianza para $N=40$, se rechaza la hipótesis nula: las dosis de radiación gamma entre 0,56 y 1,68 Gy no producen efectos en los niveles de monocitos de la sangre periférica extraída de hombres y mujeres entre 20 y 35 años.

La disminución absoluta de los monocitos se justifica con el trabajo de Jacobs, en el cual expone que la exposición de los monocitos a radiación ionizante disminuye significativamente la supervivencia y el crecimiento de monocitos humanos. (Jacobs, 1998 pág. 515)

La reducción absoluta de monocitos implica una condición denominada monocitopenia, significa que el sistema inmunológico está debilitado como ocurre en casos de infecciones en la sangre, tratamientos de quimioterapia y problemas en la médula ósea como anemia aplásica y leucemia.

3.1.1.13 Contaje de plaquetas

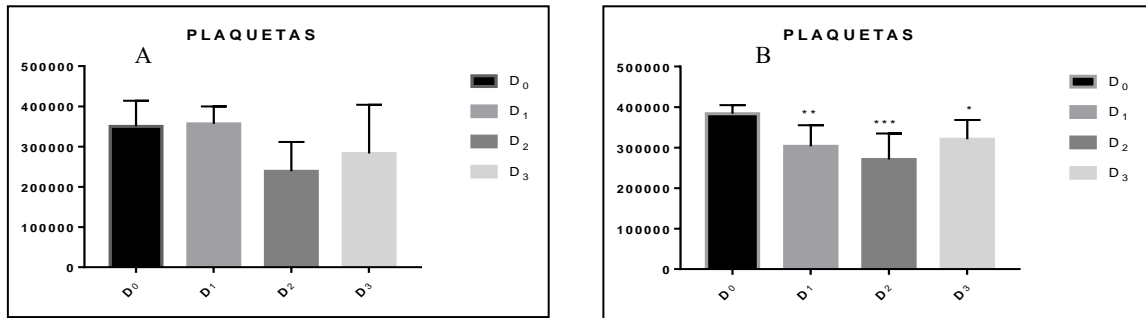


Figura 13-3: Contaje de plaquetas en: A) Hombres y B) Mujeres. La sangre venosa fue expuesta a $D_0 = 0 \text{ Gy}$, $D_1 = 0.56 \text{ Gy}$, $D_2 = 0.84 \text{ Gy}$ y $D_3 = 1.68 \text{ Gy}$.

Realizado por: Chiluita Valeria, 2020

Tanto en hombres como en mujeres se evidencia un incremento en la cantidad de plaquetas, como se indica en la figura 13-3, cuando las muestras han sido expuestas a 1.68 Gy en relación con el control (0 Gy). Luego de realizar un análisis de varianza para $N=40$, se rechaza la hipótesis nula: las dosis de radiación gamma entre 0,56 y 1,68 Gy no producen efectos en los niveles de plaquetas de la sangre periférica extraída de hombres y mujeres entre 20 y 35 años. Sin embargo, para los hombres no hay un parámetro estadístico significativo que corrobore esta aseveración dada la varianza del grupo de datos D_2 . Para las mujeres se demuestra que la dosis D_1 (**= $p<0.01$), D_2 (**= $p<0.001$) y D_3 (**= $p<0.01$) existe un aumento del valor promedio de plaquetas frente a la dosis de control.) existe un descenso del valor promedio de plaquetas frente a la dosis de control. Los resultados muestran una disminución en el número de plaquetas, sin embargo, aún se encuentran dentro de los valores de referencia y estudios concuerdan en que la exposición a la radiación gamma sobre plaquetas no induce efectos biológicos clínicamente significativos, y que la radiación no interfiere con la eficacia clínica de las plaquetas. (Jacobs, 1998) Al ser unas células carentes de núcleo son más radiorresistentes.

Tabla 4-3: Comparación de los resultados de la serie roja entre hombres y mujeres

	GR (CGR/mm ³)				Hto (%)				Hb(g/dL)				VCM (fL)				HCM (pg)				CHCM (g/dL)			
	Hombres		Mujeres		Hombres		Mujeres		Hombres		Mujeres		Hombres		Mujeres		Hombres		Mujeres		Hombres		Mujeres	
	M	DE	M	DE	M	DE	M	D E	M	D E	M	DE	M	DE	M	DE	M	D E	M	DE	M	D E	M	DE
D 0	532000 0	24000 0	472000 0	132664. 99	50. 2	2.4	44.2	1. 32	16.73	0. 8	14.7 3	0.4 4	94.15	0.79	93. 63	0.18	31 .4 3	0. 1 0	31.2	0.0	33 .3 2	0. 05	33.3 2	0.00 8
D 1	578000 0	26758 1.76	516000 0	316859. 59	54. 8	2.67	48.6	3. 16	18.26	0. 89	14.6 6	1.0 5	94.79	0.24	94. 15	0.36	31 .5 8	0. 07	31.3	0.1	33 .3 2	0. 00	33.3 2	0.00 7
D 2	508000 0	52877 2.16	492000 0	260000	47. 8	5.28	46.2	2. 6	15.93	1. 76	15.4	0.8 6	94.02	0.66	87. 59	0.74	31 .3 2	0. 22	31.2	0.1	33 .3 2	0. 00	33.3 2	0.00 8
D 3	663000 0	72945 1.84	539000 0	262488. 09	63. 3	7.29 16.7 3	50.9	2. 62	21.1	2. 43	16.9 6	0.8 7	95.41	0.49	94. 41	0.28	31 .7 9	0. 16	31.4	0.0	33 .3 2	0. 00	33.3 2	0.00 4

Realizado por: Chiluiza Valeria, 2020

Análisis: La tabla 19-4 demuestra el conteo de los parámetros biométricos de la serie roja: GR (glóbulos rojos), Hto (hematocrito), Hb (hemoglobina), VCM (volumen corpuscular medio), HCM (hemoglobina corpuscular media) y HCCM (concentración de hemoglobina corpuscular media) tanto de hombres como de mujeres vs las diferentes dosis de radiación a las que fueron expuestas $D_0 = 0Gy$, $D_1 = 0.56Gy$, $D_2 = 0.84Gy$ y $D_3 = 1.68 Gy$. El grupo control D_0 fue comparado con los valores de referencia y todos los resultados se encuentran dentro de los parámetros.

Tabla 5-3: Comparación de los resultados de la serie blanca entre hombres y mujeres.

	GB				Neutrófilos				Linfocitos				Monocitos				Eosinófilos				Basófilos			
	Hombres		Mujeres		Hombres		Mujeres		Hombres		Mujeres		Hombres		Mujeres		Hombres		Mujeres		Hombres		Mujeres	
	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE
D0	648	1130.	8683.	1020.	52.	11.4	62.	10.3	45.	9.77	35.	10.9	1.	1.8	0.	0.	0.	1.2	1.1	0.8	0.	0.3	0.	0.4
	5	05	33	89	2	6	6	7	1		8	0	7	4	1	3	9	2		3	1		4	8
D1	668	1308.	8212.	1440.	46.	8.64	61.	12.2	51.	8.25	37.	12.8	0.	0.9	0.	0.	1.	1.2	0.6	0.6	0.	0.4	0.	0.4
	0	47	5	43	2		2	5	3		3	8	8	7	2	4	4		6	6	3	5	2	
D2	591	1387.	7950	1073.	43.	16.2	58.	10.2	54.	16.9	41.	10.5	0	0	0	0	1.	1.3	0.1	0.3	0.	0.6	0.	0.4
	0	94		93	6		4	6	4	4	2	4					6	5			4	6	3	5
D3	700	1775.	6806.	1197.	48.	10.9	48.	12	50.	11.1	50.	11.4	0	0	0	0	1.	1.1	0.4	0.6	0	0	0.	0.4
	5	30	25	76	4	7	3		4	0	6	0					2	6	4	8			3	5

Realizado por: Chiluita Valeria, 2020

Análisis: La tabla 20-4 demuestra el conteo de los parámetros biométricos de la serie blanca: GB (glóbulos blancos), neutrófilos, linfocitos, monocitos, eosinófilos y basófilos, tanto de hombres como de mujeres vs las diferentes dosis de radiación a las que fueron expuestas $D_0 = 0Gy$, $D_1 = 0.56Gy$, $D_2 = 0.84Gy$ y $D_3 = 1.68 Gy$. El grupo control D_0 fue comparado con los valores de referencia y todos los resultados se encuentran dentro de los parámetros.

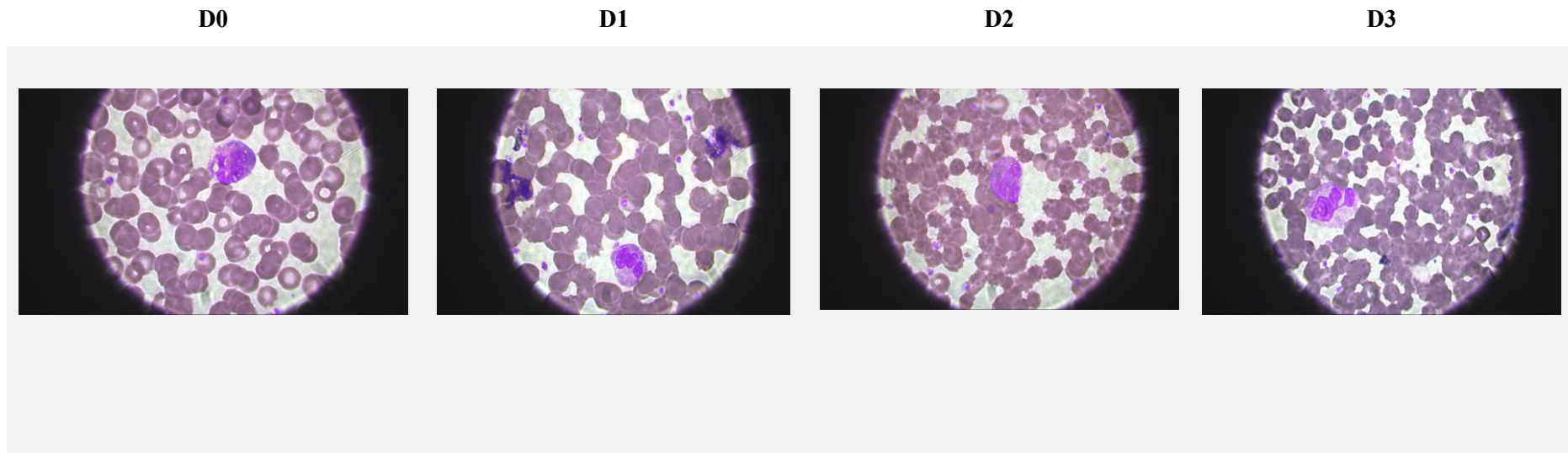
Tabla 6-3: Comparación de resultados de la serie trombocítica entre hombres y mujeres.

	Plaquetas			
	Hombres		Mujeres	
	Media	D. Estándar	Media	D. Estándar
D0	350330	63536.55	302957.14	52384.61
D1	356360	43557.98	383700	21099.0521
D2	238560	71986.72	270512.5	64251.48
D3	282660	121485.69	320625	47638.89

Realizado por: Chiluita Valeria, 2020

Análisis: La tabla 21-4 demuestra el conteo de los parámetros biométricos de la serie trombocítica: plaquetas tanto de hombres como de mujeres vs las diferentes dosis de radiación a las que fueron expuestas $D_0 = 0Gy$, $D_1 = 0.56Gy$, $D_2 = 0.84Gy$ y $D_3 = 1.68 Gy$. El grupo control D_0 fue comparado con los valores de referencia y todos los resultados se encuentran dentro de los parámetros.

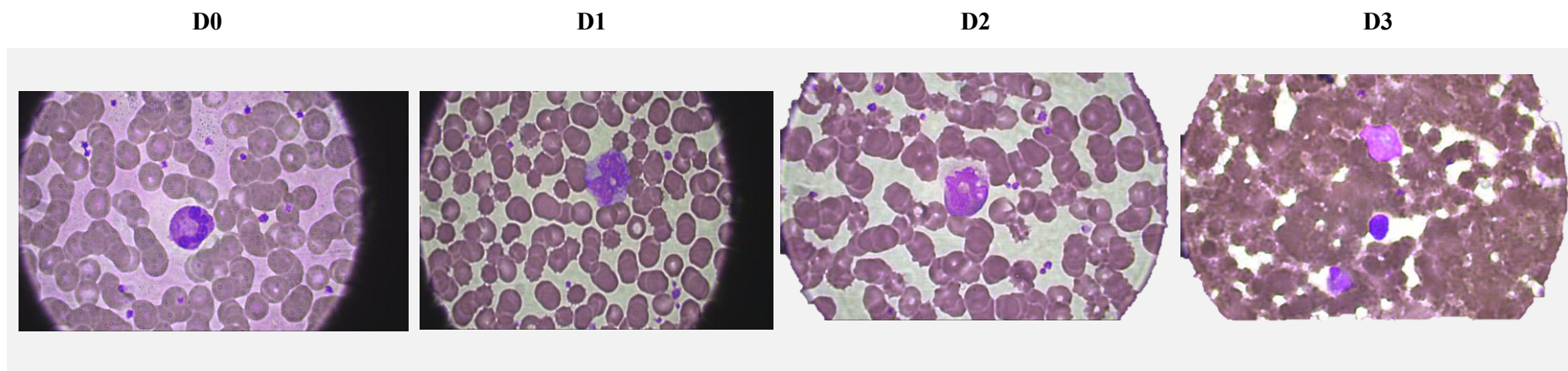
Tabla 7-3: Cambios morfológicos de células sanguíneas en muestra de mujeres a diferentes dosis.



Realizado por: Chiluzia Valeria, 2019

Análisis: Las fotografías obtenidas mediante el dispositivo Motic Images Plus 3.0(x64) (el cual fue adecuado al microscopio) de los extendidos de sangre de muestras femeninas expuestas a dosis de radiación: $D_0 = 0Gy$, $D_1 = 0.56Gy$, $D_2 = 0.84Gy$ y $D_3 = 1.68 Gy$ presentan cambios morfológicos visibles. Se observa a dosis de 0 Gy que las células mantienen su morfología intacta, a 0.56 Gy existe aglutinación de glóbulos rojos, a 0.84 Gy se observa como cierta cantidad de glóbulos rojos han explotado y a 1.86 Gy se puede observar cómo se formó una sola masa de glóbulos rojos, perdiendo su capacidad de frontera otorgada por su membrana.

Tabla 8-3: Cambios morfológicos de células sanguíneas en muestra de hombres a diferentes dosis



Realizado por: Chiluzia Valeria, 2020

Análisis: Se observó mediante el dispositivo Motic Images Plus 3.0(x64) (el cual fue adecuado al microscopio) los extendidos de sangre de muestras masculinas expuestas a dosis de radiación: $D_0 = 0Gy$, $D_1 = 0.56Gy$, $D_2 = 0.84Gy$ y $D_3 = 1.68 Gy$. Se evidencia que a dosis de 0 Gy que las células mantienen su morfología intacta, a 0.56 Gy existe aglutinación de glóbulos rojos y cierto aspecto de estallido de los mismos, a 0.84 Gy se observa como cierta cantidad de glóbulos rojos han explotado y a 1.86 Gy se puede observar cómo se formó una sola masa de glóbulos rojos, perdiendo su capacidad de frontera otorgada por su membrana

Por medio de las fotografías tomadas se puede observar notablemente un cambio en la morfología de las células sanguíneas, sobre todo de los glóbulos rojos y glóbulos blancos. Estos cambios morfológicos se deben a que la radiación conduce a la destrucción de las membranas de las células sanguíneas; esta es la razón por la cual los glóbulos rojos, cuando fueron expuestos a 1.86 Gy tomaron el aspecto de haberse fusionado y haber formado una sola masa; incluso los leucocitos segmentados tienden a dividirse. La radiación causa la deformación de las membranas y aumentan su rigidez, lo que es resultado de la pérdida de elasticidad de la membrana y un aumento en la fragilidad osmótica. Además, la radiación gamma daña la bicapa lipídica y las proteínas del citoesqueleto, generando propiedades micro reológicas afectando la función de las células como parámetros biofísicos (fragilidad, grado de agregabilidad y viscosidad).

El conocimiento de los efectos físicos de la radiación en la sangre constituye una evidencia ya establecida y representativa del riesgo que producen a las personas que están en contacto constante con las mismas. Los efectos biológicos resultantes de las radiaciones pueden aparecer casi inmediatamente o a lo largo de un período, pero al referirnos al daño hematológico se habla de efectos tempranos, ya que se ha demostrado que incluso a exposiciones de ocho horas existe un cambio en los parámetros sanguíneos.

La literatura menciona que las personas con más años de edad son más radiosensibles, por la disminución de defensas y de los procesos reparativos del organismo. Se debe tener en cuenta que este estudio se realizó en personas jóvenes, que presentan en general más radio resistencia y procesos de reparación más rápidos, por lo que se justifica que, a pesar de observar variaciones en el hemograma, casi todos los valores se encuentran dentro de los parámetros de referencia.

CONCLUSIONES

- Se diseñó una cámara de irradiación de plomo, de tal forma que la dosis recibida por las muestras de sangre sea homogénea. La fuente emisora de radiación fue colocada de manera simétrica en 32 desbastes cilíndricos ordenados circularmente alrededor de las muestras, cada desbaste tiene la capacidad de contener un gramo de roca radiactiva. La cámara de irradiación tiene un espesor de 5,4 mm de plomo, lo cual asegura que las partículas alfa, beta y un cierto porcentaje de las partículas gamma no son emitidas hacia al exterior del irradiador, proporcionando protección radiológica a la experimentadora. La pared interna de la cámara tiene 3 mm de plomo lo cual asegura la atenuación del 100% las partículas alfa y beta, sin embargo, las emisiones gamma, aunque pierden parte de su energía, aún logran ingresar al interior de la cámara e interactuar con las muestras en su interior.
- La caracterización de la fuente de irradiación se realizó mediante el análisis de espectrometría gamma, el cual se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de Radioactividad, perteneciente a la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares, la cual está inmersa dentro del Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. Este análisis determinó la composición de la roca radiactiva: Uranio que representa el 97.83% del total de la composición de la roca, Torio que representa el 2.16% y otros elementos, entre ellos el bismuto, plomo, radón y actinio, tan solo representan el 0.01% del total de la composición de la roca radiactiva.
- La validación de la configuración experimental se llevó a cabo mediante un monitoreo constante de la temperatura de la incubadora, con el dispositivo Tamper Monitor, la temperatura se mantuvo en el rango de 36-38°C, que es la adecuada para que la sangre periférica circule constantemente por el flujo sanguíneo del cuerpo humano. También se realizó un monitoreo de dosis con la ayuda de electretes, determinando que $D_0 = 0Gy$ a 0 horas de exposición, $D_1 = 0.56Gy$ a 8 horas de exposición, $D_2 = 0.84Gy$ a 12 horas de exposición y $D_3 = 1.68 Gy$ a 24 horas de exposición.
- Una vez obtenidos 10 ml de sangre periférica contenidos en tubos de ensayo con anticoagulante EDTA, se extrajo 2.5 ml usando una micropipeta electrónica de volumen variable y se depositó esa cantidad de sangre en otro tubo con anticoagulante EDTA; estos 2.5 ml se los destinó a congelación ya que son la muestra control. Los 7,5 ml

restantes se los acomodó dentro del irradiador. Transcurridas 8 horas dentro del irradiador, se retiró 2.5 ml de sangre, los cuales fueron destinados a congelación; este volumen fue expuesto a 0.56 Gy de radiación. Transcurridas 12 horas de exposición se retiró un volumen de otros 2.5 ml de sangre, los que fueron expuestos a 0.84 Gy de radiación para después destinarlos a congelación. Y, finalmente después de 24 horas de haber sido sometida la muestra a una exposición de 1.68 Gy de radiación, se retiraron los últimos 2.5 ml de sangre periférica.

- Mediante la prueba clínica denominada biometría hemática que se realizó a todas las muestras de sangre, se determinaron variaciones en el hemograma, los cuales proveen información específica y detallada del estado general de la sangre periférica basándose en el recuento de los tres tipos de células sanguíneas: los glóbulos rojos incrementaron su número de células cuando fueron expuestos a 1.68 Gy de radiación gamma, esto supone vulnerabilidad hacia las anemias; los glóbulos blancos de igual manera se redujeron a dosis de 1.68 Gy, este es un claro indicativo de que la radiación puede aumentar el riesgo de desarrollar leucemia; y finalmente las plaquetas, que presentando una disminución en su número de células, no induce efectos biológicos clínicamente significativos.

RECOMENDACIONES

- Para determinar el número de glóbulos rojos se recomienda utilizar el método directo, el cual consiste en contar la cantidad de glóbulos rojos a través del microscopio.
- Utilizar el equipo de protección radiológica durante toda la exposición a la radiación ionizante, ya que, aunque la cámara de irradiación represente el blindaje necesario para prevenir o reducir el paso de la radiación; influye en la disminución casi total de la exposición del experimentador y se desarrolla una cultura de protección y seguridad radiológica.
- Corroborar que todos los instrumentos utilizados estén calibrados.
- Advertir a las personas naturales que se está realizando irradiación, de ser posible, solo el experimentador debe estar en el laboratorio.
- Realizar pruebas más específicas para demostrar el efecto de las radiaciones ionizantes en el organismo como las dosimetrías citogenéticas o el test de micronúcleos.
- Capacitar frecuentemente al POE y a las personas naturales que están expuestos a recibir dosis de radiación sobre los riesgos que se presentan con la exposición a radiaciones ionizantes, para mantener una cultura de auto cuidado, protección, capacitación y seguridad.
- Al ser un trabajo multidisciplinario, se recomienda buscar información y ayuda en personas que sean expertas en temas relacionados con radiaciones, bioquímica y estadística.
- Motivar a los estudiantes tanto de bioquímica como de física a reproducir esta tesis pero con muestras sanguíneas de miembros del POE de un hospital, que hayan trabajado mínimo diez años, para poder observar efectos biológicos que la radiación ionizante produce a largo plazo.

- Realizar biometrías hemáticas a los trabajadores de minas.
- Dejar los laboratorios impecables al haber terminado las pruebas determinadas.

BIBLIOGRAFÍA

Jacobs, Geoffrey. *A review on the effects of ionizing radiation on blood and blood components..* 53, Jerusalén : Radiation Physics and Chemistry, 1998, Vol. 34. 34018733.

Agencia Internacional de Energía Atómica.. *Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice.* Vienna : IAEA, 2007. 92-0-115406-2.

IAEA. [En línea] 13 de 07 de 2013. [Citado el: 15 de 12 de 2019.] https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content-es/InformationFor/HealthProfessionals/1_Radiology/QuantitiesUnits.htm. Sin ISSN.

Alcaraz Baños, Miguel y López , Carmen.. *Bases físicas y biológicas del radiodiagnóstico médico.* Murcia : EDITUM, 2003. 84-8371-361-6.

An electret passive environmental Rn222 monitor based on ionization measurement.

Kotrappa, P, y otros. 1, Olean : Health Physics Society, 1987, Vol. 54. 0017-9078/88.

Attix, Frank Herbert.. *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry.* Wisconsin : WILEY-VCH, 2004. 978-0-471-01146-0.

Brandan, María Ester, Díaz, Rodolfo y Ostrosky, Patricia. biblioteca digital. *biblioteca digital.* [En línea] 23 de 09 de 1995. [Citado el: 28 de 12 de 2019.] <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/099/htm/laradser.htm>. 968-16-3452-7.

Bustamante, Juan. *Alteraciones producidas por Radiaciones Ionizantes en células sanguíneas en el personal de MEDIMAGEN.* Cuenca : Universidad del Azual , 2018. 14545.pdf.

Carr, Jacqueline y Rodak, Bernadette. *Atlas de Hematología Clínica.* Madrid : EDITORIAL MÉDICA PANAMERICANA, 2009. 978-950-06-0101-6.

Cherry, Robert. 1998. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo.* [En línea] 19 de 03 de 1998. [Citado el: 19 de 12 de 2019.] <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+48.+Radiaciones+ionizantes.84-7434-995-8>.

Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica. *Reglamento de Seguridad Radiológica.* Quito : Editora Nacional, 1979. 1979-R-60940.

Comisión Internacional de Protección Radiológica. *ICRP Publicación 103: Las recomendaciones 2007 de la comisión internacional de protección radiológica.* Madrid : Senda Editprial S.A., 2007. 978-84-691-5410-G.

Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones

Atómicas. Informe del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas. Nueva York : Naciones Unidas, 2016. 0255-139X.

Consejo de Seguridad Nuclear. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. *CIEMAT.* [En línea] 12 de 03 de 2009. [Citado el: 13 de 12 de 2019.] http://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros_md/624874014_241120091324.pdf.

Consejo de Seguridad Nuclear. [En línea] 26 de 11 de 2013. [Citado el: 17 de 12 de 2019.] http://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros_md/1581136598_1572009112950.pdf.

CSN. *CSN.* [En línea] 13 de 12 de 2012. [Citado el: 22 de 12 de 2019.] <https://www.csn.es/documents/10182/914805/Protecci%C3%B3n%20radiol%C3%B3gica>. M-22895-2012.

Consejo de Seguridad Nuclear . *Dosis de radiación.* Madrid :, 2010. SBD-04.07.
Evaluation of low dose ionizing radiation effect on some blood components in animal model.

El-Shanshoury, H, El-Shanshoury, G y Abaza, A. 3, Cairo : Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 2016, Vol. 9. ISSN 1687-8507.
Evaluation of the red cell storage lesion after irradiation in filtered packed red cell units.

Hillyer, C, Tiegerman, K y Berkman, E. 6, Massachusetts : New England Medical Center Hospital, 1991, Vol. 31. 1853441.

Finestres Zubeldia, Fernando. *Protección en radiología odontológica.* Barcelona : Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona, 2012. 978-84-475-3537-8.

García Espinosa, Benjamín, Rubio Campal, Faustina y Crespo González, María Rosario. *Técnicas de análisis hematológico.* Madrid : Ediciones Paraninfo, 2015. 978-84-283-3523-2.

Harley, Alejandro.. slideplayer. *slideplayer.* [En línea] slideplayer, 23 de 09 de 2018. [Citado el: 28 de 12 de 2019.] <https://slideplayer.es/slide/11799364/>. --.

Hoyos Serrano, Maddelaine y Flores Patty, Lesly Pamela. 2013. Tipos de Radiación, Aplicaciones, Beneficios y Riesgos. *Revistas Bolivianas.* [En línea] 17 de 10 de 2013. [Citado el: 27 de 11 de 2019.] http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2304-37682013001000003&lng=es&nrm=iso.2304-3768.

International Atomic Energy Agency.. *Review of Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students.* Vienna : IAEA, 2003. 92–0–107304–6.

Khan, Faiz.. *The Physics of Radiation Therapy.* Filadelfia : Lippincott Williams e Wilkins, 2003. 0-78 17-3065-1.

Knoll, Glenn.. *Radiation Detection and Measurement.* Ann Arbor : John Wiley & Sons, Inc., 1979. 9780471427698.

López, Santiago.. mediagraphic. *mediagraphic.* [En línea] 23 de 07 de 2016. [Citado el: 21 de 12 de 2019.] <https://www.medigraphic.com/pdfs/actpedmex/apm-2016/apm164h.pdf>. 37(4):241-246-249.

Martínez Raza, Yomara Alejandra. *Determinación y estandarización de valores de referencia de hematología en base a rango de edades en pacientes pediátricos de 0 a 19 años del hospital pediátrico "Alfonso Villagómez Román".* Riobamba : ESPOCH, 2019. 56T00853.pdf.

Miale, John. *HEMATOLOGÍA: Medicina de laboratorio.* Miami : REVERTÉ, 1985. 84-291-5550-3.

Ministerio de Energía y Recursos No Renovables.. www.gob.ec. *www.gob.ec.* [En línea] 18 de 12 de 2019. [Citado el: 19 de 12 de 2019.] <https://www.gob.ec/mernnr/tramites/analisis-espectrometria-gamma-muestra#description>. --.

Núñez, Margarita. ALASBIMN. *ALASBIMN*. [En línea] 09 de 06 de 2008. [Citado el: 16 de 12 de 2019.] http://alabimn.net/comites/tecnologos/material/Proteccion_radiologica.pdf. --.

Organismo Internacional de Energía Atómica. *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad*. Viena : Organismo Internacional de Energía Atómica, 2016. 978-92-0-3079150.

Organización Mundial de la Salud. World Health Organization. *World Health Organization*. [En línea] 29 de 04 de 2016. [Citado el: 04 de 12 de 2019.] <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>. 9243650483.

Ortega , Xavier y Jorba, Jaume. *Radiaciones Ionizantes. Utilización y riesgos*. Barcelona : Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, 1998. 84-8301-170-0.

Pamos Ureña, Manuel. SlidePlayer. *SlidePlayer*. [En línea] 08 de 12 de 2016. [Citado el: 26 de 12 de 2019.] <https://slideplayer.es/slide/3480373/>. --.

Pathophysiological principles underlying the blood cell concentration responses used to assess the severity of effect after accidental whole-body radiation exposure: An essential basis for an evidence-based clinical triage.

Fliedner, Theodor M., y otros. 4, Ulm : Experimental Hematology, 2007, Vol. 35. ISBN 0301-472X.

Pérez, José Carlos y Gómez, David. *HEMATOLOGÍA: La sangre y sus enfermedades*. México : MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, 2012. 978-607-15-0748-8.

Radiological Society of North America. RadiologyInfo. *RadiologyInfo*. [En línea] 11 de 04 de 2018. [Citado el: 15 de 12 de 2019.] https://www.radiologyinfo.org/sp/pdf/safety-hiw_09.pdf. 6131368260.

Real Gallego, Almudena. Universidad Complutense de Madrid. *Universidad Complutense de Madrid*. [En línea] 27 de 11 de 2014. [Citado el: 20 de 12 de 2019.] https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-19202/Efectos%20de%20las%20RI_UCM_27%20nov%202014_A%20Real_pdf.pdf. --.

Ruiz, Argüelles Guillermo. *Fundamentos de hematología*. Mexico : Editorial Médica Panamericana, 2003. 978-607-7743-04-0.

Sagñay Chucurri, Freddy Efraín. *Prevalencia de anemia y factores de riesgos asociados en los estudiantes de octavo a tercer año de bachillerato de la Unidad Educativa Carlos María de la Condamine Cantón Pallatanga provincia de Chimborazo. Régimen costa período 2017-2018.* Riobamba : ESPOCH, 2017. 86T00079.pdf.

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. *Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida.* Quito : Constitución de la República del Ecuador, 2017. CNP-003-2017.

Sociedad Argentina de Radioprotección.. ICRP. *ICRP.* [En línea] 12 de 07 de 2002. [Citado el: 20 de 12 de 2019.] http://www.icrp.org/docs/SG02_Spanish.pdf. 0048-7619.

Sociedad Española de Física Médica.. *Fundamentos de Física Médica. Radiobiología y principios de oncología.* Madrid : ADI, 2016. 978-84-944186-3-1.

Soto, José María y Martín, Pedro Gabriel.. *ENFERMERÍA: Anatomo-fisiología.* Barcelona : Ediciones Científicas y Técnicas, 1994. 84-458-0176-7.

Spectroscopic study of gamma irradiated bovine hemoglobin.

Maghraby, Ahmed Mohamed y Ali, Maha Anwar.. 76, Cairo : Radiation Physics and Chemistry, 2007, Vol. 39. ISBN 39007528.

Study on the effect of polyhydroxylated fullerene, C60(oh)36, on X-ray irradiated human peripheral blood mononuclear cells.

Nowak, Katarzyna, y otros. 97, Lodz : Radiation Physics and Chemistry, 2014, Vol. 97, págs. 325-331. ISBN 978-80-87294-13-0.

Tuñón, María Dolores. Webconsultas. *Webconsultas.* [En línea] 20 de 02 de 2019. [Citado el: 20 de 12 de 2019.] <https://www.webconsultas.com/pruebas-medicas/resultados-y-valores-de-un-hemograma-12159>. --.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.. *Sources and effects of ionizing radiation.* New York : UNSCEAR, 1994. 92-1-142211-6.

Variaciones del hemograma en personal de salud expuesto a radiaciones ionizantes, en los hospitales de tercer nivel, Sucre 2011.

Chavez Cala, Valeria Lauren. 6, Sucre : Dialnet, 2014, Vol. 10. 978-095-8375-12-2.

Voet, Donald y Voet, Judith. *Bioquímica*. Montevideo : Editorial Médica Panamericana, 2004. 950-06-2301-3. *X and Gamma dose measurement using electrets*.

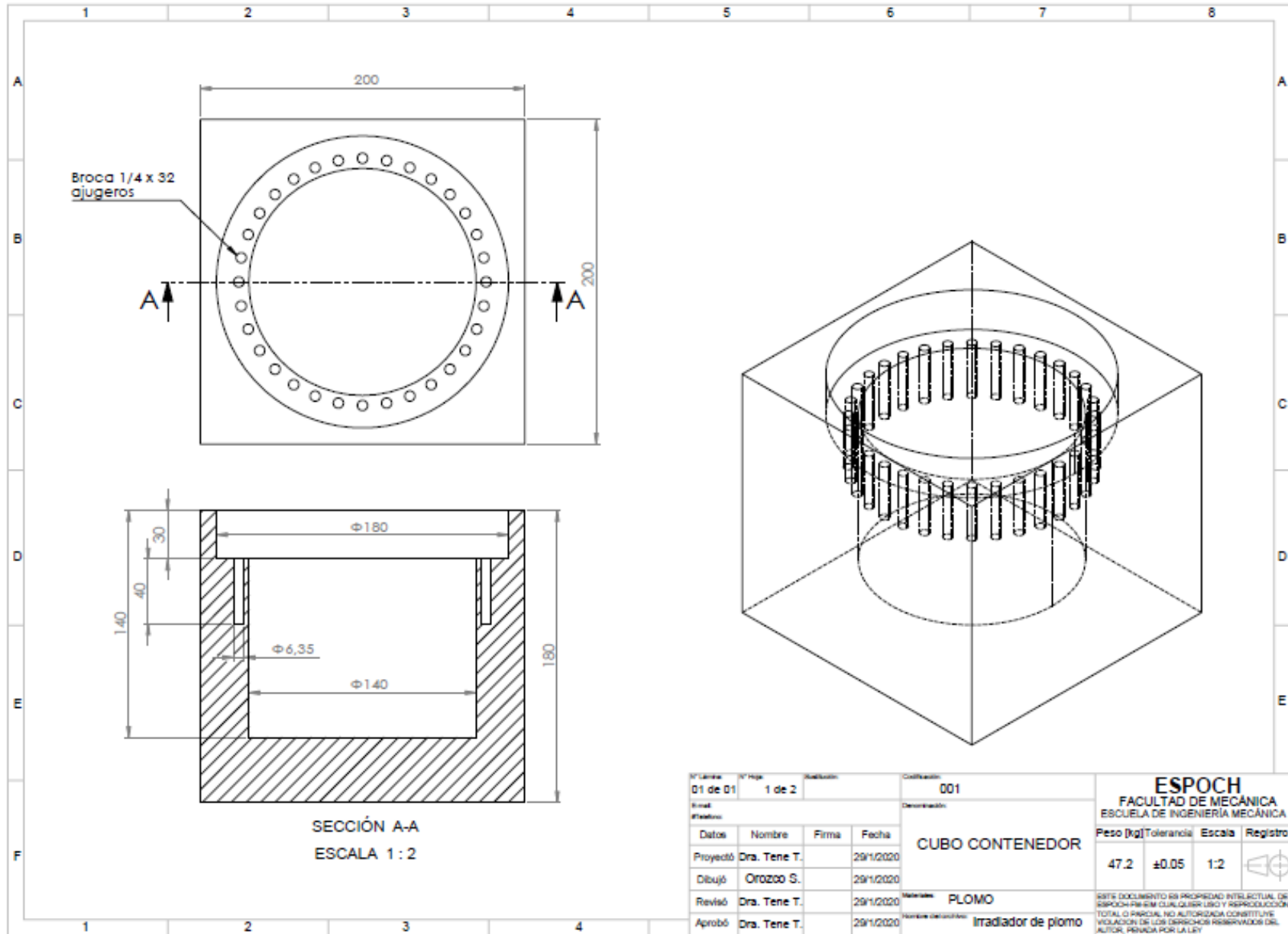
Kotrappa, P, y otros.. 3, Bombay : Nuclear Technology Publishing, 1982, Vol. 2. 0144-8420.

Zambrano Barragán, Jeniffer Carolina. *Monitoreo de la tasa de dosis equivalente ambiental en procedimientos intervencionistas en el hospital de especialidades Carlos Andrade Marín*. Riobamba : ESPOCH, 2019. 86T00079.pdf.

ANEXOS

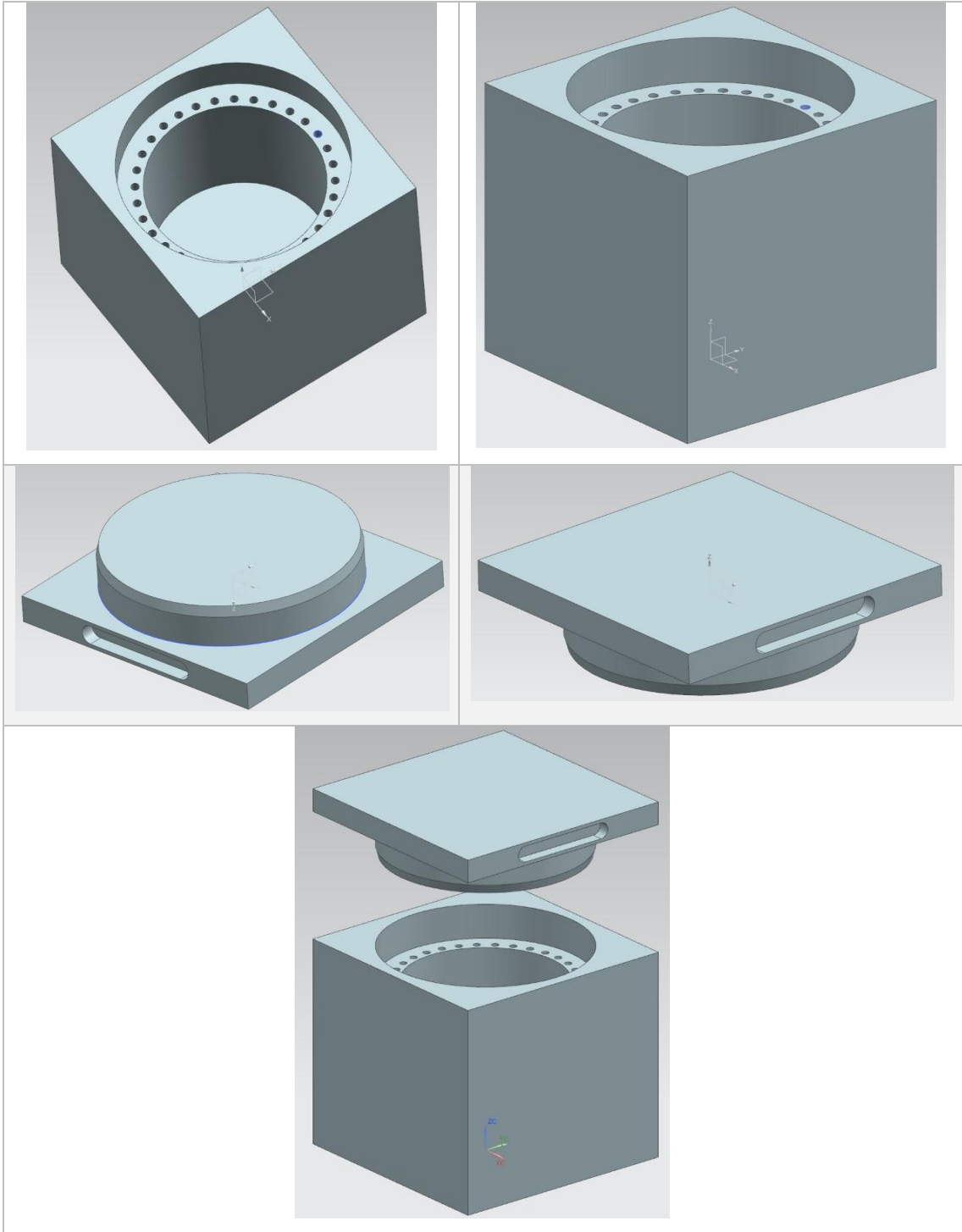
ANEXO A: DISEÑO Y MODELADO DEL IRRADIADOR.

Nº Carta:	Nº Hoja:	Material:	Configuración:	ESPOCH			
01 de 01	2 de 2		002	FACULTAD DE MECÁNICA			
Descripción:	TAPA CONTENEDORA			ESCUOLA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Datos:	Nombre:	Firma:	Fecha:	Peso [kg]:	Tolerancia:	Escala:	Registro:
Proyectó:	Dra. Tene T.		29/1/2020	15.3	±0.05	1:2	
Dibujó:	Ortizoo S.		29/1/2020	Este documento es propiedad intelectual de ESPOCH y no puede ser usado y reproducido, total o parcialmente, sin autorización escrita y sin violación de los derechos reservados del autor, pena de la ley.			
Revisó:	Dra. Tene T.		29/1/2020	Material: Plomo			
Aprobó:	Dra. Tene T.		29/1/2020	Nombre del producto: Irradiador de plomo			



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2

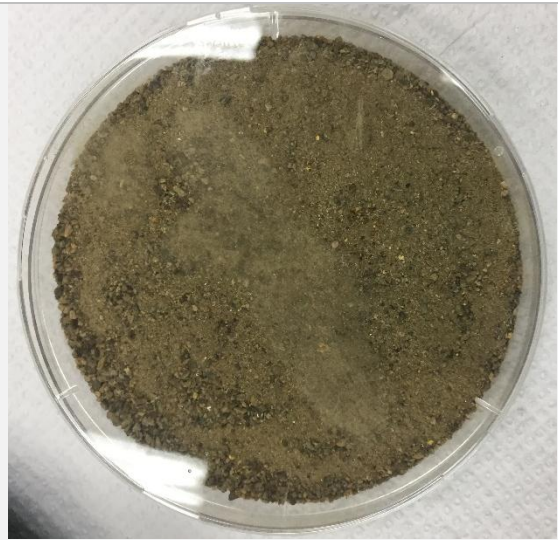
N° Lámina 01 de 01	N° Hoja 1 de 2	Revisión	Colocación 001	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
Ejecut. Ingeniero			Descripción CUBO CONTENEDOR		Peso (kg)	Tolerancia	Escala	Registro	
Datos	Nombre	Firma	Fecha			47.2	±0.05	1:2	
Proyectó	Dra. Tene T.		29/1/2020						
Dibujó	Orozco S.		29/1/2020						
Revisó	Dra. Tene T.		29/1/2020	Material PLOMO					
Aprobó	Dra. Tene T.		29/1/2020	Nombre del contenido Irradiador de plomo		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL DE ESPOCH-FR-SEM CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS RESERVADOS DEL AUTOR, PENADA POR LA LEY.			



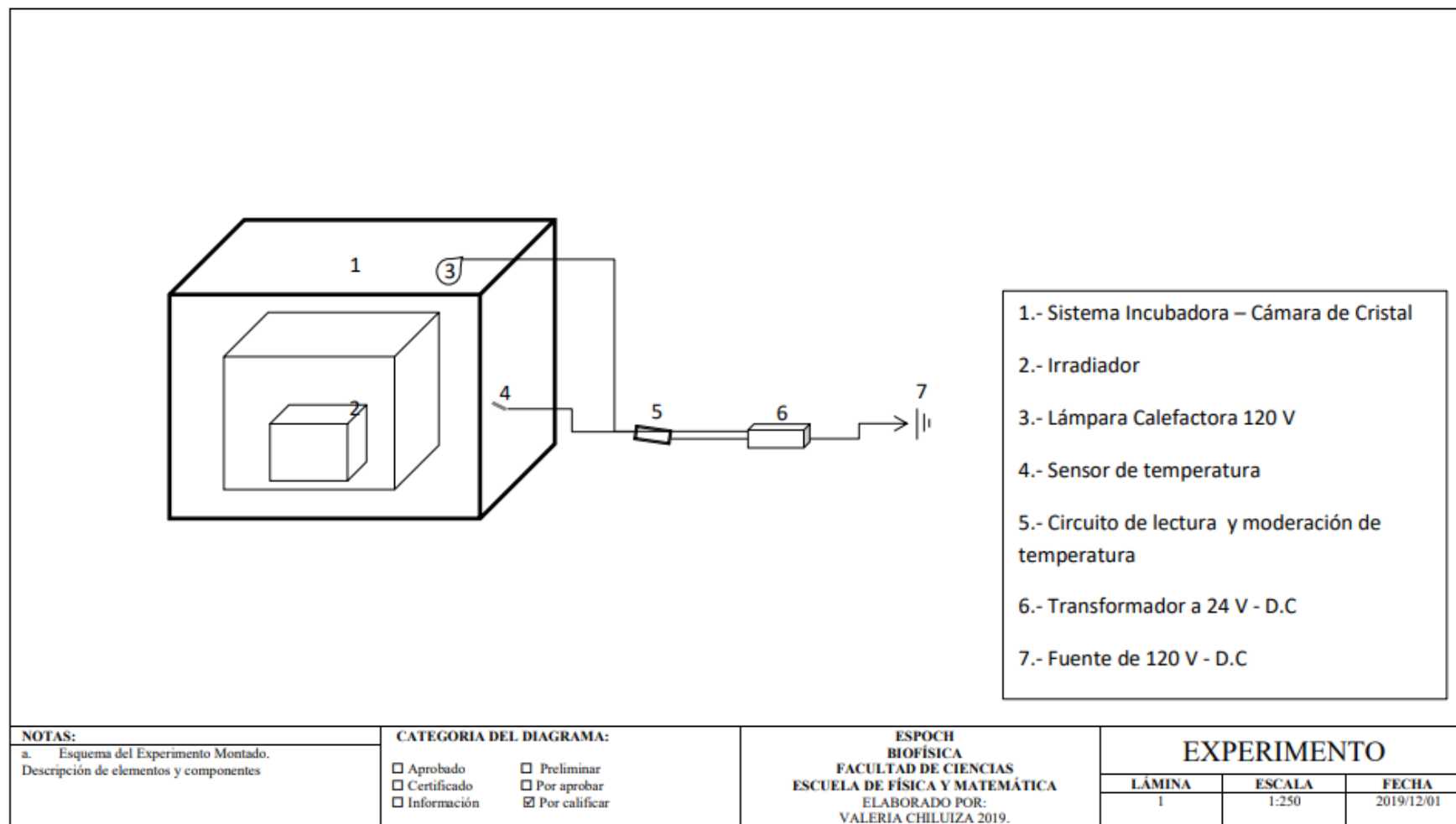
ANEXO B: OBTENCIÓN DEL IRRADIADOR.

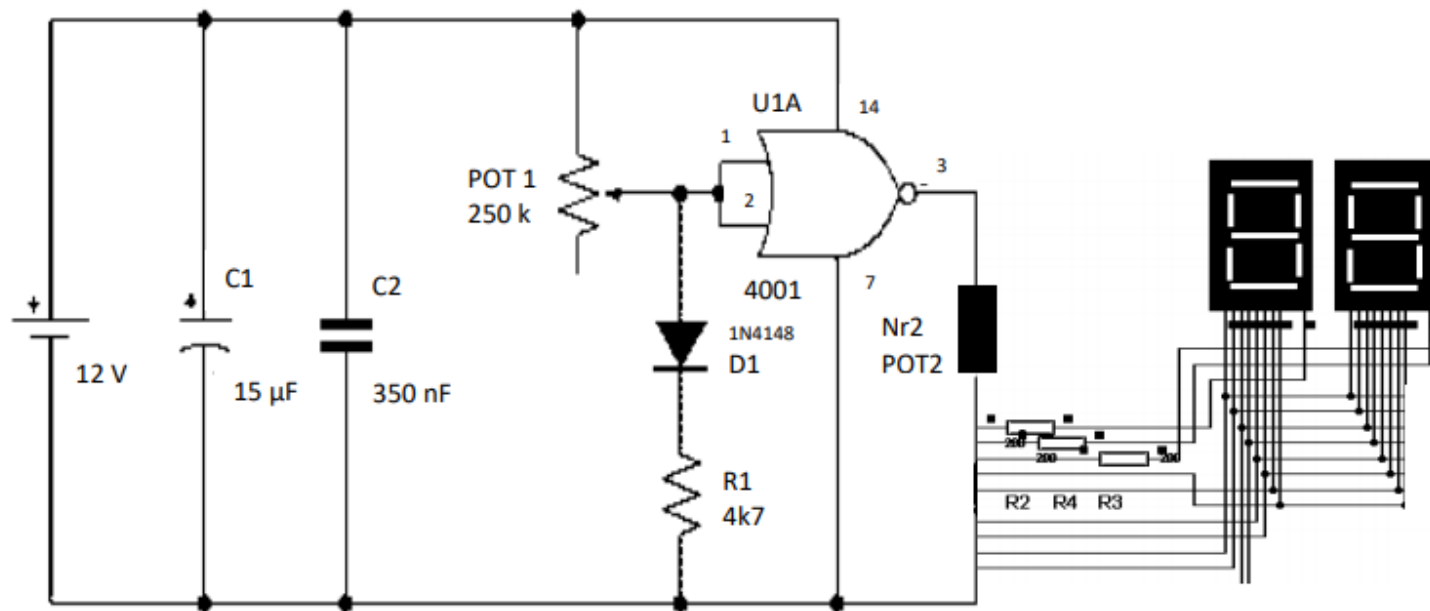


ANEXO C: CÁMARA DE IRRADIACIÓN



ANEXO D: INCUBADORA





NOTAS:

b. Esquema del Sensor de Temperatura.
Elementos y componentes

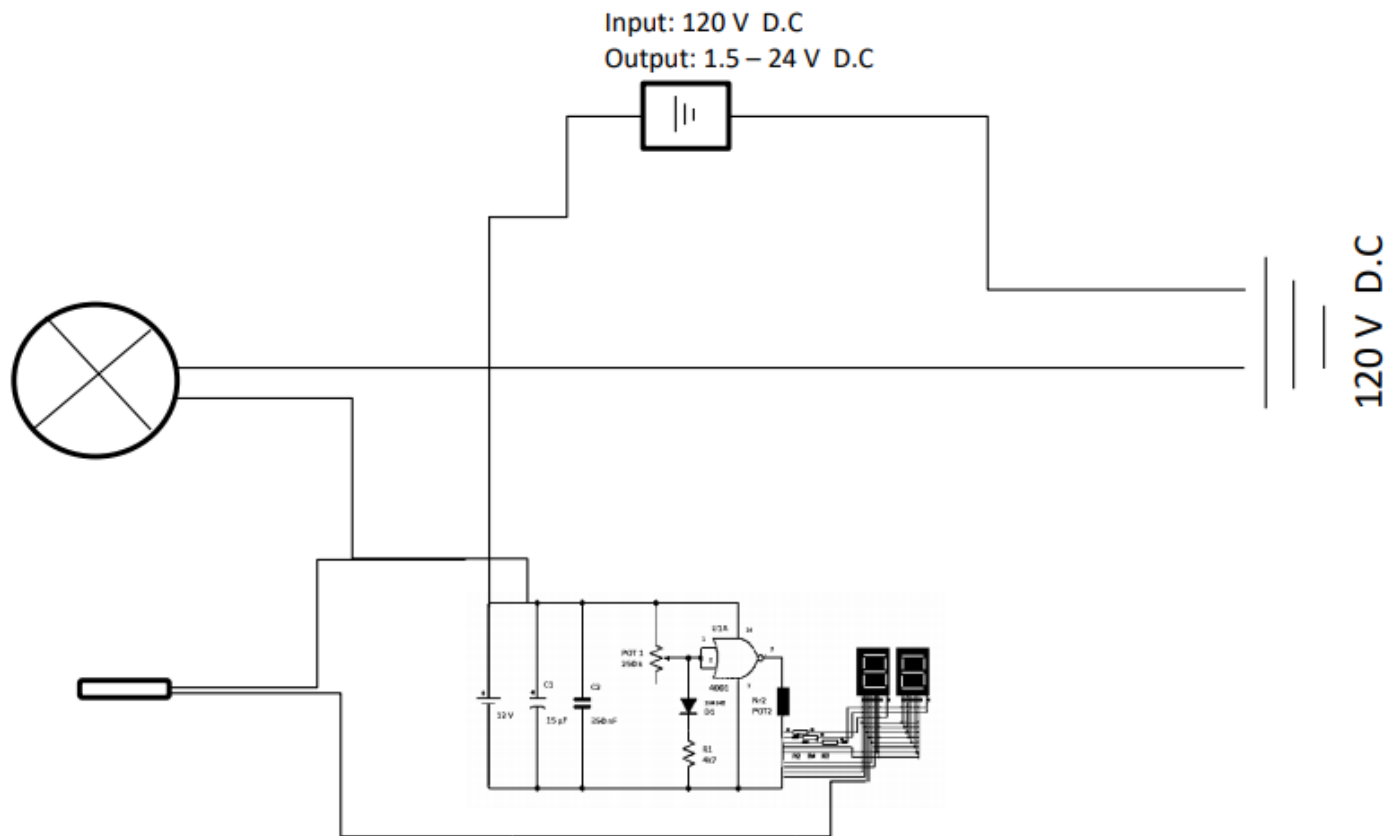
CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- | | |
|--------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Aprobado | <input type="checkbox"/> Preliminar |
| <input type="checkbox"/> Certificado | <input type="checkbox"/> Por aprobar |
| <input type="checkbox"/> Información | <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar |

ESPOCH
 BIOFÍSICA
 FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA
 ELABORADO POR:
 VALERIA CHILUIZA 2019.

SENSOR

LÁMINA	ESCALA	FECHA
2	2.5:1	2019/12/01



NOTAS:

c. Esquema funcionamiento de Lámpara y Sensor
Elementos y componentes, conexiones en conjunto.

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- | | |
|--------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Aprobado | <input type="checkbox"/> Preliminar |
| <input type="checkbox"/> Certificado | <input type="checkbox"/> Por aprobar |
| <input type="checkbox"/> Información | <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar |

ESPOCH
BIOFÍSICA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA
ELABORADO POR:
VALERIA CHILUIZA 2019.

SENSOR

LAMINA	ESCALA	FECHA
3	100:1	2019/12/01

ANEXO E: MONITOREO DE TEMPERATURA EN LA INCUBADORA

Monitoreo de prueba

Fecha	Hora	Temperatura
06/06/2019	12:43:57	37.4
06/06/2019	13:42:59	37.2
06/06/2019	14:43:01	36.8
06/06/2019	15:43:03	36.8
06/06/2019	16:43:06	36.8
06/06/2019	17:43:10	37
06/06/2019	18:43:13	37.2
06/06/2019	19:43:17	37.4
06/06/2019	20:43:21	37.5
06/06/2019	21:43:26	37.7
06/06/2019	22:43:30	37.9
06/06/2019	23:43:35	37.9
06/07/2019	00:43:39	37.7
06/07/2019	01:43:44	37.7
06/07/2019	02:43:48	37.7
06/07/2019	03:43:53	37.4
06/07/2019	04:43:58	37.4

Media

37.3823529

Monitoreo de temperatura en la exposición sanguínea masculina

Fecha	Hora	Temperatura
06/25/19	08:32:18	37.6
06/25/19	09:32:19	37.8
06/25/19	10:32:22	36.4
06/25/19	11:33:24	37.9
06/25/19	12:32:27	36.3
06/25/19	13:33:28	36
06/25/19	14:32:29	36.2
06/25/19	15:32:30	36.9
06/25/19	16:32:32	36.9
06/25/19	17:32:34	36.9
06/25/19	18:32:36	37.3
06/25/19	19:32:38	37.6
06/25/19	20:32:40	37.6
06/25/19	21:32:42	37.8
06/25/19	22:32:44	37.8
06/25/19	23:32:46	37.6
06/26/19	00:32:48	37.6
06/26/19	01:32:50	37.6
06/26/19	02:32:52	37.6

06/26/19	03:32:54	37.4
06/26/19	04:32:56	37.4
06/26/19	05:32:58	37.4
06/26/19	06:33:00	37.3
06/26/19	07:33:02	37.1
06/26/19	08:33:04	37.1
06/26/19	09:33:06	36.9
Media		37.2307692

**Monitoreo de temperatura en la exposición
sanguínea femenina**

Fecha	Hora	Temperatura
07/01/2019	08:33:51	37.9
07/01/2019	09:33:53	37.9
07/01/2019	10:33:55	37.9
07/01/2019	11:33:57	37.9
07/01/2019	12:33:59	37.9
07/01/2019	13:34:01	37.9
07/01/2019	14:34:03	37.4
07/01/2019	15:34:05	37.4
07/01/2019	16:34:07	37.1
07/01/2019	17:34:09	37.1
07/01/2019	18:34:11	36.7
07/01/2019	19:34:12	36.7
07/01/2019	20:34:14	36.7
07/01/2019	21:34:16	37
07/01/2019	22:34:18	37.3
07/01/2019	23:34:20	37.2
07/02/2010	00:34:22	37.3
07/02/2010	01:34:24	37.5
07/02/2010	02:34:26	37.6
07/02/2010	03:34:28	37.5
07/02/2010	04:34:30	37.7
07/02/2010	05:34:32	37.7
07/02/2010	06:34:03	37.7
07/02/2010	07:34:36	37.4
07/02/2010	08:34:38	37.7
07/02/2010	09:34:40	37.7
Media		37.4538462

ANEXO F: RESULTADOS DE LA ESPECTROMETRÍA GAMMA



LABORATORIO DE ANALISIS DE RADIATIVIDAD

Juan Larrea N15 - 36 y Ríofrío
Telf: 2238-438

CERTIFICADO DE ANALISIS DE CONTENIDO RADIATIVO

Código de Laboratorio: ARAD-2019-632

La Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares perteneciente al Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovable realizó el Análisis de Contenido Radiactivo en muestra(s) de material de roca.

Cliente:
Valeria Chiluitza

Fecha de ingreso a laboratorio: 9 de enero del 2019
Muestreado por: VALERIA CHILUITZA
Fecha de muestreo:

Riobamba-Ecuador

RADIONÚCLIDOS DETERMINADOS EN LAS MUESTRAS CON SU ACTIVIDAD E INCERTIDUMBRE ASOCIADA

CÓDIGO LABORATORIO	INFORMACION DE LA MUESTRA		ACTIVIDAD DE LA MUESTRA									
	IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Bi-214 Bq/g	Pb-214 Bq/g	Ra-226 Bq/g	Rn-222 Bq/g	Ac-228 Bq/g	Pb-212 Bq/g	Th-232 Bq/g	U-235 Bq/g	U-238 Bq/g	Pb-210 Bq/g
ARAD-2019-632.01	Muestra 1	Roca	10400±0.06	9700±0.08	15000±0.03	7500±0.05	260±0.02	560±0.05	13000±0.02	670±0.01	1800000±0.03	5700±0.01

Fecha de Análisis Instrumental: 30 de enero de 2019

Técnica de medición empleada para el análisis de la muestra: Determinación de radionúclidos emisores gamma por espectrometría gamma.

Los valores reportados seguidamente del signo "<" corresponden a la Actividad Mínima Detectable (AMD) calculada para un 95 % de confianza. Para estos valores no se calcula ni reporta incertidumbre expandida. Nivel máximo permisible (1 Bq/g) para cadenas de desintegración de Uranio, Torio y (10 Bq/g) para K-40; según niveles para NORM recomendados en las Normas Básicas de Seguridad del OIEA (GSR Parte 3).

Ing. Claudia Sangurima

Responsable del Laboratorio Analisis de Radiactividad

Dado en Quito, el 30 de enero de 2019

Los resultados que aparecen en este certificado se refieren solamente a las muestras objeto de ensayo.

Este informe no será reproducido sin la aprobación escrita del laboratorio.

Av. República de El Salvador N36-64 y Suecía

Telf.: (593) 397-6000

Quito-Ecuador

Director: bernardo.torres@recursosyenergia.gob.ec

ANEXO G: MONITOREO DE LA DOSIS EMITIDA POR LA FUENTE MEDIANTE ELECTRETES

Hoja De Recolección de Datos - Diferencia de voltaje Irradiador

No. De medida	Experimentador	Voltaje inicial (v)	Código del electrete	Hora de inicio de la exposición	Fecha inicio de exposición	Temperatura (°C)	Humedad (%)	lugar de la medida	altura de la medida	Voltaje final	Hora de fin de exposición	Fecha fin de exposición	Temperatura (°C)	Humedad (%)
1	Valeria Chiluiza	593, 503, 594		19:35	18/06/2019			A	D	594, 593, 593	20:05	18/06/2019		
2	Talía Tene	625, 624, 624	SKR674	12:36	19/06/2019	25	23.92	A	B	567, 566, 565	13:07	19/06/2019	36.65	23
3	Talía Tene	621, 620, 620	SKR665	13:16	19/06/2019	32.27	24.47	A	B	534, 535, 535	13:46	19/06/2019	36.65	23.94
4	Valeria Chiluiza	564, 569, 568	SKR764	13:54	19/06/2019	33.81	26.22	A	B	477, 470, 474	14:24	19/06/2019	36.63	24.7
5	Valeria Chiluiza	656, 657, 656	SKR821	14:29	19/06/2019	34.24	25.6	A	B	603, 608, 606	14:59	19/06/2019	34.57	25.72
6	Valeria Chiluiza	626, 625, 625	SKR691	15:14	19/06/2019	34.2	24.6	A	B	612, 612, 613	15:54	19/06/2019	36.63	23.19
7	Valeria Chiluiza	663, 663, 663	SKR705	15:58	19/06/2019	33.5	25.99	A	B	622,623, 623	16:29	19/06/2019	36.63	24.79
8	Valeria Chiluiza	699, 698, 699	SKR774	16:36	19/06/2019	34.25	25.2	A	B	657, 656, 655	17:06	19/06/2019	36.88	24.36
9	Valeria Chiluiza	615, 615, 615	SKR687	17:09	19/06/2019	33.88	25.28	A	B	577, 577, 577	17:39	19/06/2019	36.75	25.11
10	Valeria Chiluiza	601, 602, 603	SKR821	17:41	19/06/2019	33.75	26.22	A	B	553, 554, 558	18:11	19/06/2019	37.05	25.25
11	Valeria Chiluiza	651, 650, 651	SKR779	16:15	19/06/2019	36.13	24.11	A	B	623, 623, 623	18:45	19/06/2019	37.25	25.79
12	Valeria Chiluiza	619, 619, 619	SKR779	09:46	21/06/2019	36.19	27.66	A	C	512, 512, 512	09:56	21/06/2019	36.13	26.32
13	Valeria Chiluiza	590, 589, 587	SKR649	09:58	21/06/2019	36.16	30.26	A	C	515, 517, 519	10:08	21/06/2019	36.13	26.62
14	Valeria Chiluiza	610, 610, 610	SKR691	10:10	21/06/2019	32.5	28.45	A	C	530, 531, 531	10:20	21/06/2019	36.75	26.9
15	Valeria Chiluiza	519, 518, 518	SKR649	10:22	21/06/2019	31.38	31.64	A	C	453, 456, 452	10:32	21/06/2019	37	26.11
16	Valeria Chiluiza	588, 589, 589	SKR684	10:34	21/06/2019	31.75	28.98	A	C	525, 528, 526	10:44	21/06/2019	36.81	27.18
17	Valeria Chiluiza	574, 574, 573	SKR687	10:46	21/06/2019	31.88	29.84	A	C	551, 551, 551	10:56	21/06/2019	37.75	25.81
18	Valeria Chiluiza	607, 606, 606	SKR669	10:58	21/06/2019	34	29.18	A	C	560, 560, 560	11:08	21/06/2019	37.88	26.97

19	Valeria Chiluiza	556, 553, 555	SKR821	11:10	21/06/2019	34.19	28.72	A	C	531, 532, 533	11:20	21/06/2019	37.63	25.63
20	Valeria Chiluiza	533, 533, 533	SKR665	11:22	21/06/2019	33.06	28.84	A	C	506, 507, 507	11:32	21/06/2019	38.88	25.07
21	Valeria Chiluiza	691, 692, 692	SKR803	11:34	21/06/2019	35.44	28	A	C	681, 681, 681	11:44	21/06/2019	40	23.01
22	Valeria Chiluiza	620, 619, 619	SKR705	11:47	21/06/2019	35.38	28.37	E	C	622, 622, 622	11:57	21/06/2019	37.38	25.93
23	Valeria Chiluiza	656, 656, 659	SKR774	11:58	21/06/2019	32.31	30.23	E	C	655, 655, 655	12:08	21/06/2019	38.5	26.08
24	Valeria Chiluiza	645, 645, 645	SKR713	12:11	21/06/2019	29.8	30.3	E	C	646, 646, 646	12:21	21/06/2019	36.88	27.46
25	Valeria Chiluiza	641, 641, 641	SKR735	12:50	21/06/2019	37.5	27.5	E	C	643, 643, 644	13:00	21/06/2019	37.5	27.2
26	Valeria Chiluiza	495, 497, 495	SKR779	10:43	22/06/2019	37.5	23.34	E	C	500, 501, 500	10:53	22/06/2019	37.13	23
27	Valeria Chiluiza	530, 529, 529	SKR691	10:56	22/06/2019	35.38	23.63	E	C	527, 528, 528	11:06	22/06/2019	37.31	22.62
28	Valeria Chiluiza	529, 533, 529	SKR821	11:07	22/06/2019	33.06	24.81	E	C	530, 534, 530	11:17	22/06/2019	38.06	23.29
29	Valeria Chiluiza	505, 505, 505	SKR665	11:18	22/06/2019	34.13	25.42	E	C	507, 407, 407	11:28	22/06/2019	37.56	24.15
30	Valeria Chiluiza	558, 559, 559	SKR669	11:29	22/06/2019	37.31	26.39	E	C	560, 559, 559	11:39	22/06/2019	40.63	20.38
31	Valeria Chiluiza	471, 472, 473	SKR764	11:40	22/06/2019	37.75	24.34	E	C	477, 475, 477	11:50	22/06/2019	40.31	23.85
32	Valeria Chiluiza	536, 526, 528	SKR684	11:57	22/06/2019	31.88	26.6	E	B	526, 529, 527	12:07	22/06/2019	37.63	24.42
33	Valeria Chiluiza	455, 454, 454	SKR649	12:09	22/06/2019	35.31	25.25	E	B	452, 451, 454	12:19	22/06/2019	37.5	23.77
34	Valeria Chiluiza	677, 678, 678	SKR803	12:20	22/06/2019	34.19	25.24	E	B	678, 678, 678	12:30	22/06/2019	37.13	23.39
35	Valeria Chiluiza	640, 639, 640	SKR735	12:32	22/06/2019	31	24.34	E	B	642, 641, 641	12:42	22/06/2019	38.19	22.73
36	Valeria Chiluiza	617, 617, 618	SKR705	14:00	22/06/2019	36.5	23.75	E	B	620, 620, 620	14:10	22/06/2019	36.69	22.67
37	Valeria Chiluiza	550, 549, 549	SKR687	14:11	22/06/2019	33.75	24.55	E	B	551, 551, 551	14:21	22/06/2019	37.25	23.86
38	Valeria Chiluiza	433, 432, 432	SKR692	14:23	22/06/2019	35.75	25.06	E	B	434, 435, 435	14:33	22/06/2019	37.5	23.26
39	Valeria Chiluiza	654, 653, 653	SKR774	11:52	23/06/2019	22.88	43.8	E	B	559, 566, 560	12:02	23/06/2019	25.13	42.73
40	Valeria Chiluiza	643, 642, 642	SKR731	12:03	23/06/2019	24.25	43.12	E	B	642, 642, 642	12:13	23/06/2019	26.31	41.24
41	Valeria Chiluiza	632, 632, 632	SKR845	12:15	23/06/2019	24.63	42.33	E	B	631, 631, 631	12:25	23/06/2019	27	30.34
42	Valeria Chiluiza	701, 701, 701	SKR640	12:33	23/06/2019	25.69	40.3	F	B	697, 697, 697	12:43	23/06/2019	28	38.21
43	Valeria Chiluiza	723, 722, 723	SKR850	12:44	23/06/2019	26.25	38.69	F	B	689, 689, 689	12:54	23/06/2019	28.75	36.1
44	Valeria Chiluiza	569, 596, 595	SKR737	12:55	23/06/2019	27.88	36.76	F	B	587, 587, 587	13:05	23/06/2019	29.88	35.15
45	Valeria Chiluiza	584, 584, 584	SKR832	13:06	23/06/2019	28.38	34.82	F	B	583, 583, 583	13:16	23/06/2019	31.13	32.98

46	Valeria Chiluiza	652, 652, 652	SKR782	13:17	23/06/2019	28.56	32.64	F	B	650, 650, 650	13:27	23/06/2019	32.13	31.55
47	Valeria Chiluiza	638, 638, 638	SKR702	13:29	23/06/2019	30.13	31.09	F	B	627, 627, 629	13:39	23/06/2019	32.88	30.2
48	Valeria Chiluiza	582, 583, 582	SKR832	13:40	23/06/2019	30.13	30.2	F	B	581, 581, 581	13:50	23/06/2019	37.25	28.38
49	Valeria Chiluiza	629, 627, 628	SKR702	13:51	23/06/2019	29.63	31.4	F	B	625, 625, 625	14:01	23/06/2019	33.31	28.19
50	Valeria Chiluiza	650, 650, 659	SKR782	14:02	23/06/2019	30.38	28.43	F	B	645, 646, 646	14:12	23/06/2019	33.88	27.4
51	Valeria Chiluiza	588, 588, 588	SKR737	14:13	23/06/2019	33.31	28.01	F	B	462, 462, 462	14:23	23/06/2019	33.63	26.8
52	Valeria Chiluiza	688, 688, 688	SKR850	14:24	23/06/2019	29.88	27.36	F	C	683, 684, 684	14:34	23/06/2019	34.75	26.11
53	Valeria Chiluiza	632, 632, 632	SKR845	14:35	23/06/2019	30.63	60.6	F	C	632, 632, 632	14:45	23/06/2019	35.13	25.58
54	Valeria Chiluiza	696, 696, 696	SKR640	14:46	23/06/2019	30.88	26.5	F	C	683, 683, 683	14:56	23/06/2019	35.63	25.3
55	Valeria Chiluiza	643, 644, 643	SKR731	14:57	23/06/2019	31.25	25.69	F	C	636, 636, 636	15:07	23/06/2019	35.63	25.07
56	Valeria Chiluiza	546, 546, 546	SKR774	15:08	23/06/2019	31.69	25.79	F	C	542, 542, 542	15:18	23/06/2019	35.88	25
57	Valeria Chiluiza	434, 432, 432	SKR692	15:19	23/06/2019	35	25.93	F	C	431, 427, 427	15:29	23/06/2019	36.25	25.43
58	Valeria Chiluiza	547, 547, 547	SKR687	09:27	24/06/2019	35.25	37.12	F	C	435, 435, 435	09:37	24/06/2019	36.38	25.13
59	Valeria Chiluiza	614, 614, 614	SKR705	10:00	24/06/2019	26.38	33.17	F	C	585, 585, 585	10:10	24/06/2019	31.63	31.48
60	Valeria Chiluiza	558, 558, 558	SKR669	10:11	24/06/2019	28.25	31.92	F	C	544, 544, 544	10:21	24/06/2019	32.38	31.11
61	Valeria Chiluiza	638, 638, 638	SKR735	10:22	24/06/2019	28.38	32.25	F	C	635, 635, 635	10:32	24/06/2019	33.06	31.1

A: dentro del irradiador centro con el electreter expuesto hacia arriba

B: 6.08 cm desde el borde superior

C: 8 cm desde el borde superior

D: 2 cm desde el borde superior

E: dentro del irradiador con el electrete parado, junto y frente a la fuente

F: dentro del irradiador con el electrete parado y en el centro

G: dentro del irradiador con la cámara

H: 10.7 cm desde el borde superior

ANEXO H: ENCUESTA

INSTRUCCIONES.

Estimados voluntarios/as reciban un cordial saludo de Jéssica Valeria Chiluita Solórzano, quien lleva a cabo el trabajo de titulación experimental titulado "EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS CAUSADOS POR DIFERENTES DOSIS DE RADIACIÓN EN SANGRE PERIFÉRICA" previa la obtención del título Biofísica, para el cual solicito muy comedidamente su autorización para poder extraer una muestra de sangre venosa, la cual será tomada de sus venas ubicadas a nivel del pliegue del codo, usando tubos BD Vacutainer de 10 ml para su extracción.

Una vez que la muestra sea extraída será transportada en un contenedor de temperatura adecuada hacia el Laboratorio de Técnicas Nucleares, en donde será sometida a diferentes dosis de radiación, para luego ser transportada al Laboratorio de Análisis Clínico de la Facultad de Ciencias, donde se determinara la morfología celular de los glóbulos rojos y se cuantificara hemoglobina, hematocrito, recuento eritrocitario, recuento leucocitario, formula leucocitaria, hemoglobina corpuscular media y volumen corpuscular medio.

Cabe recalcar que dicho procedimiento no tiene ningún costo ni involucra ningún riesgo para usted. Sin embargo, dependiendo de diferentes circunstancias puede producirse cierta coloración violácea a nivel del pinchazo que cede con el pasar de los días.

Los resultados obtenidos de las muestras serán analizados, tabulados e interpretados, para el trabajo de titulación antes mencionado y un reporte científico, adicionalmente, en el caso que usted esté interesado se podrá remitir un informe con los resultados obtenidos. En caso de estar en total acuerdo con los términos expuestos, por favor llenar la siguiente encuesta.

ENCUESTA

1. En general, usted diría que su salud es:

- a) Excelente
- b) Muy buena
- c) Buena
- d) Regular
- e) Mala

2. Escriba la cantidad. Aproximada

¿Cuántos cigarrillos fuma al día? _____

3. Durante los últimos doce meses ¿Con qué frecuencia ha consumido bebidas que contengan alcohol?

- a) Menos de una vez al mes
- b) Una vez al mes
- c) Una vez cada quince días
- d) Una vez por semana

- e) De 2 a 3 veces por semana
- f) De 4 a 6 veces por semana
- g) Diariamente (cada día)

4. En su entorno familiar, existen patologías preexistentes.

- a) SI
- b) NO

En el caso que su respuesta sea afirmativa, detalle que tipo de enfermedades y que miembros de su familia las presentan. _____

5. En los últimos doce meses ha presentado algún tipo de patología, en el caso de que su respuesta sea positiva detalle cual ha sido esta.

- a) SI
- b) NO

6. Durante los últimos doce meses ha estado expuesto a algún tipo de radiación , ejemplo: rayos x, rayos gama, partículas alfa, beta o neutrones?

- a) SI
- b) NO

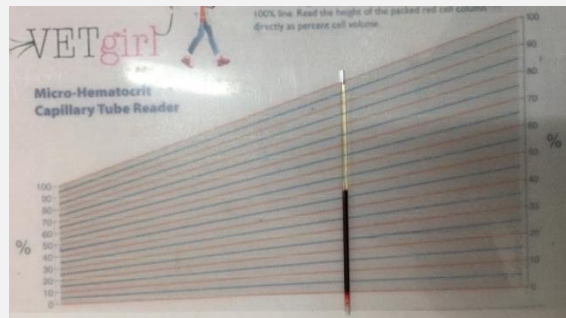
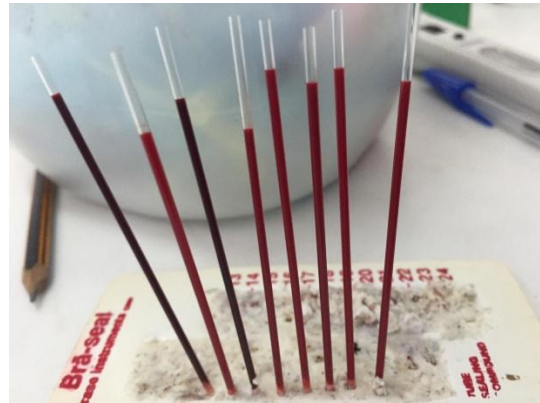
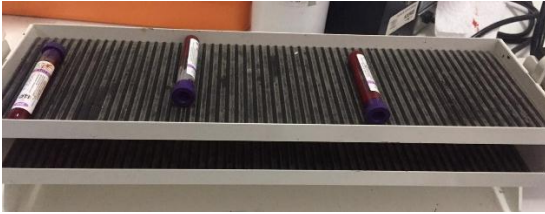
En el caso de que su respuesta sea afirmativa, especifique el tiempo transcurrido desde dicho contacto.

Extracción N.

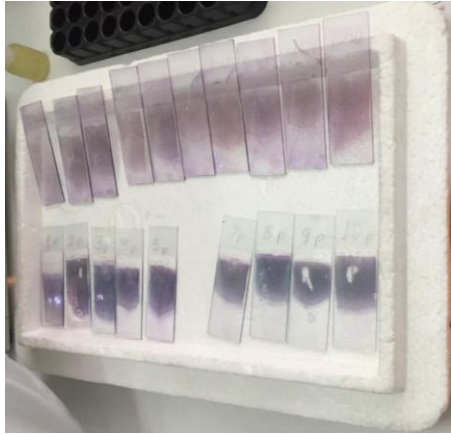
Fecha de nacimiento	Peso
Sexo	Estatura
Edad	
Facultad	Carrera
Fecha de extracción.	

GRACIAS POR SU COLABORACION

ANEXO I: DETERMINACIÓN DEL HEMATOCRITO

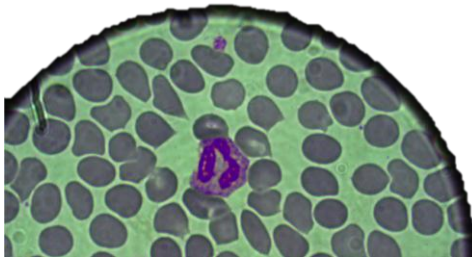


ANEXO J: TINCIÓN WRIGHT

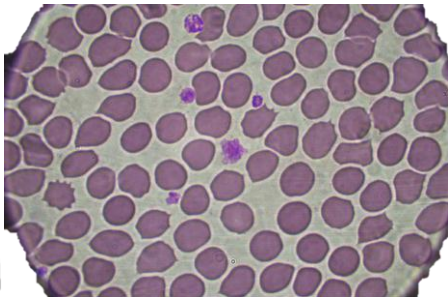


ANEXO K: COMPARACIÓN DE FIGURAS CON MUESTRA DE HOMBRES

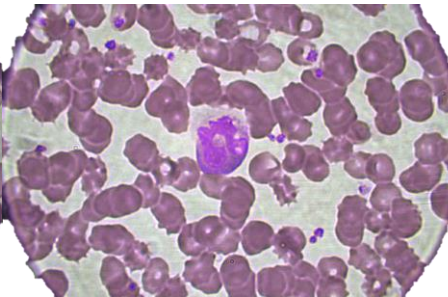
H1 -0



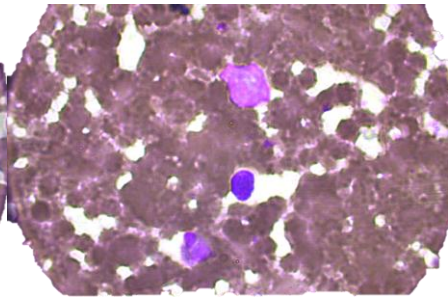
H1 -1



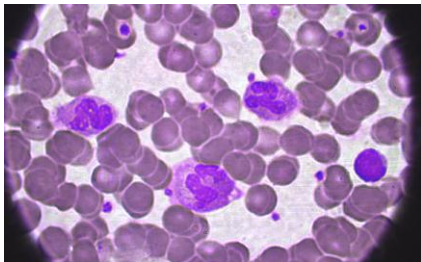
H1-2



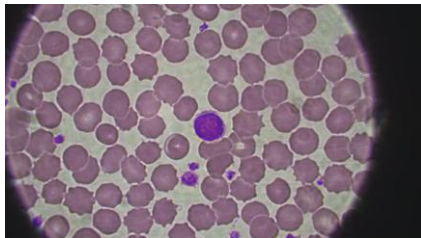
H1-3



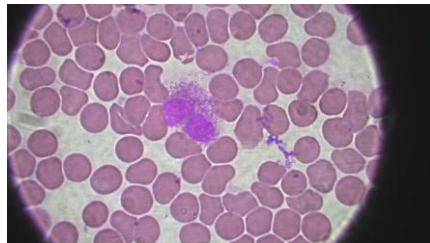
H2 -0



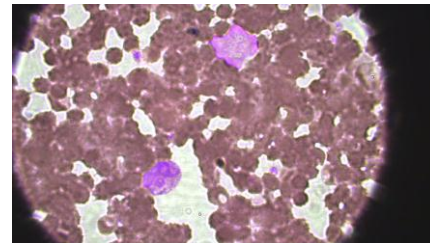
H2 -1



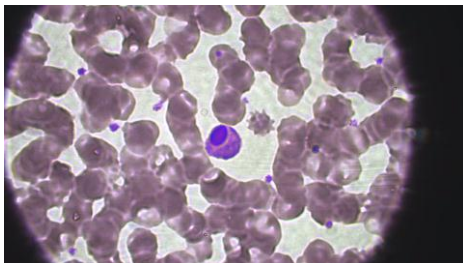
H2-2



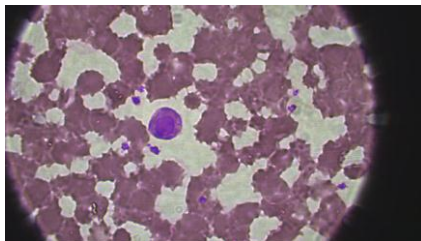
H2-3



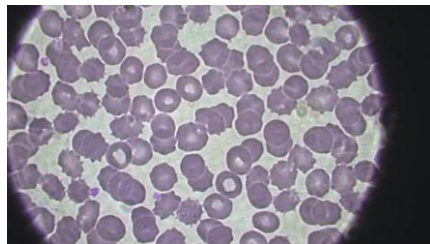
H3 -0



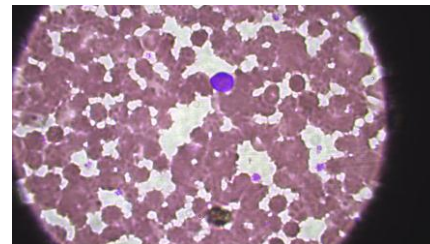
H3 -1



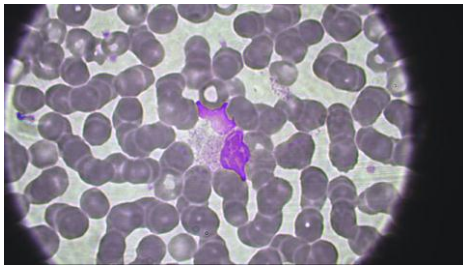
H3-2



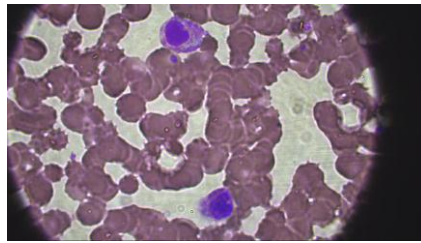
H3-3



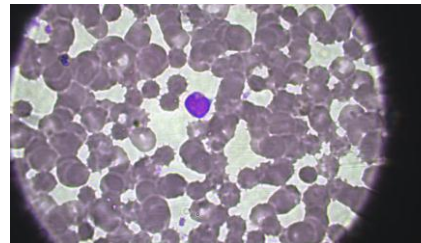
H4 -0



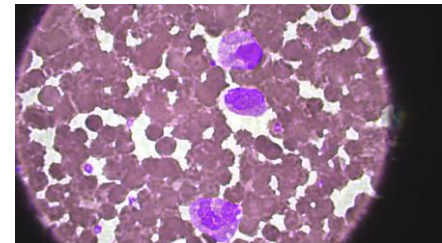
H4 -1



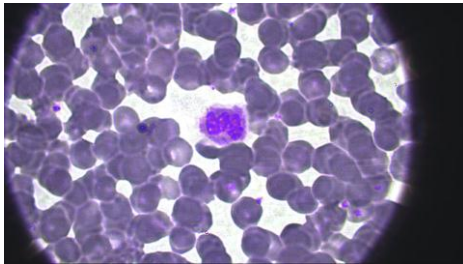
H4-2



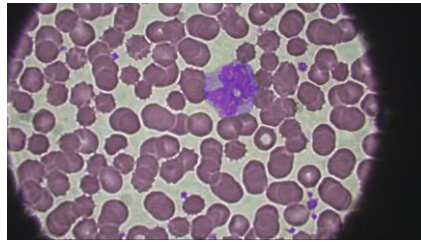
H4-3



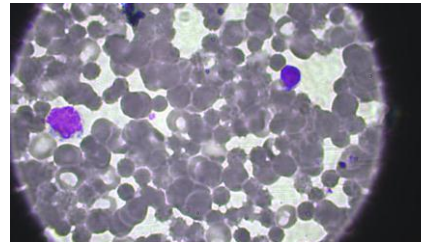
H5 -0



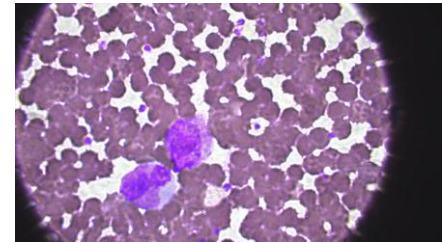
H5 -1



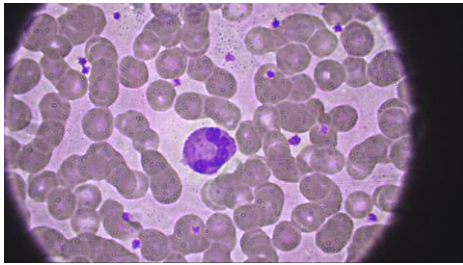
H5-2



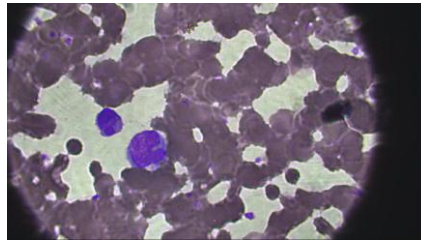
H5-3



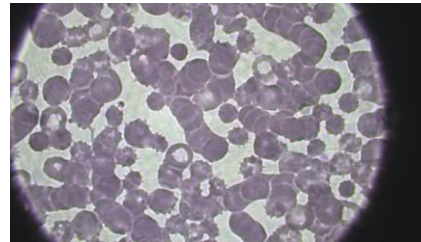
H6 -0



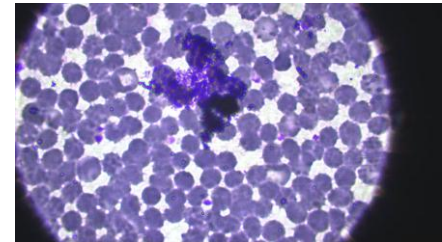
H6 -1



H6-2

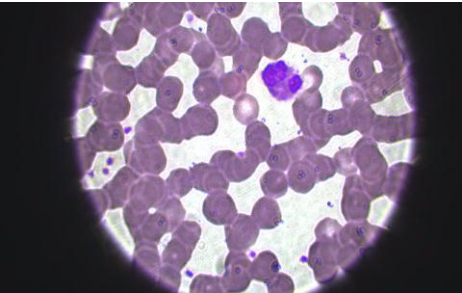


H6-3

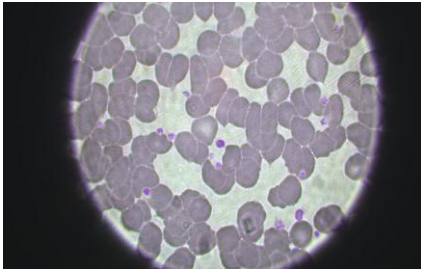


ANEXO L: COMPARACIÓN DE FIGURAS CON MUESTRAS DE MUJERES

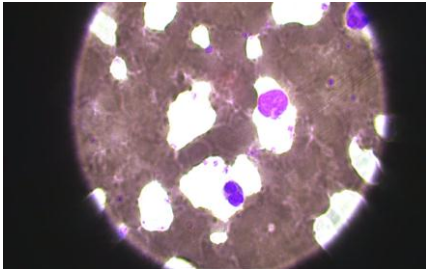
M1 -0



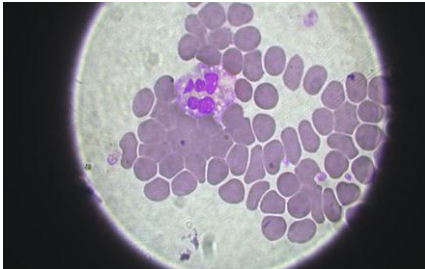
M1 -1



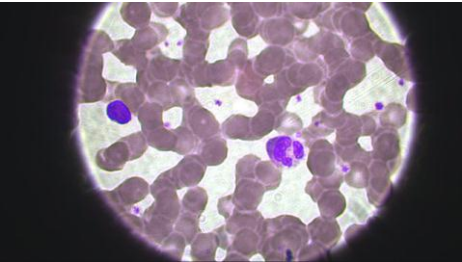
M1-2



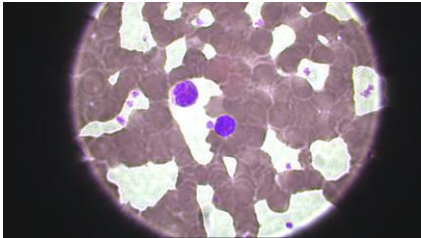
M1-3



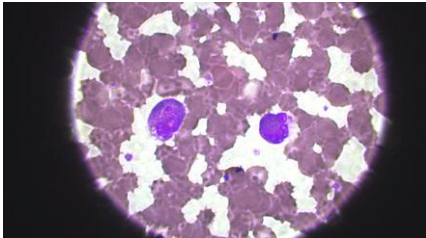
M2 -0



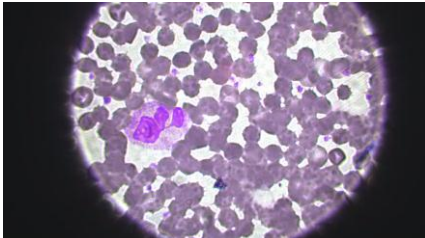
M2 -1



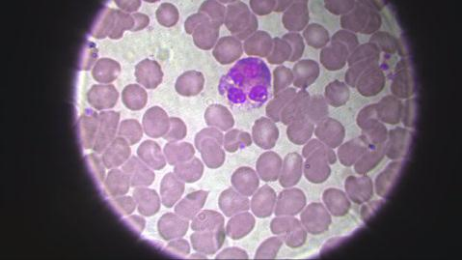
M2-2



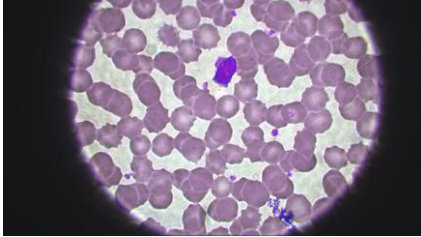
M2-3



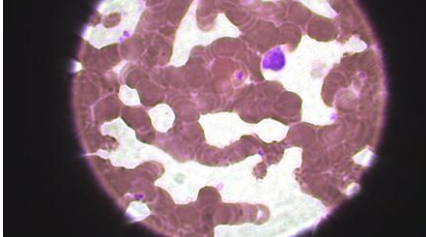
M3 -0



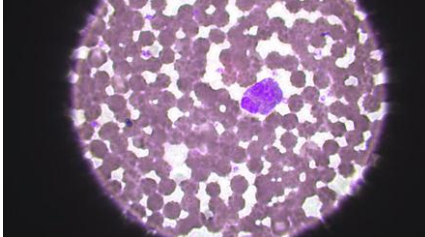
M3 -1



M3-2



M3-3

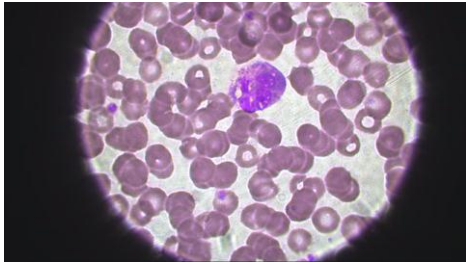


M4 -0

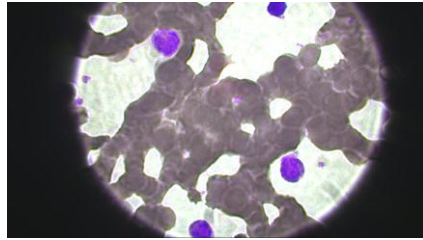
M4 -1

M4-2

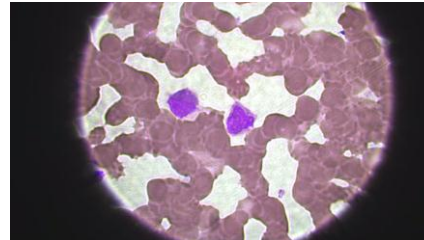
M4-3



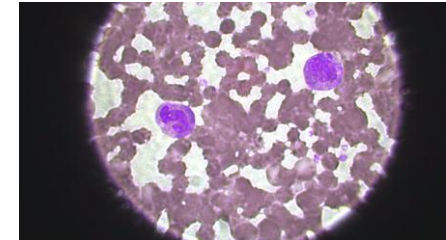
M5 -0



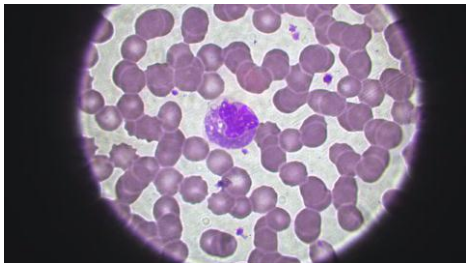
M5 -1



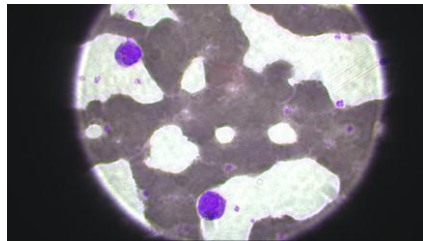
M5-2



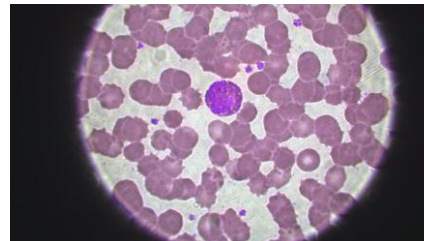
M5-3



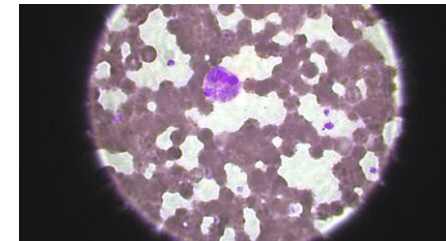
M6 -0



M6 -1



M6-2



M6-3