



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA FÍSICA**

**EFFECTOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE EN LA  
DEGRADACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN SOLUCIONES  
POLARES Y BIOLÓGICAS**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**FÍSICO/A**

**AUTORES:** CRISTIAN SALVADOR USCA CARGUA

KARLA NICOLE THOMÉ LLERENA

**DIRECTOR:** ING. MARCO VINICIO GUEVARA GRANIZO, PhD

Riobamba - Ecuador

2023

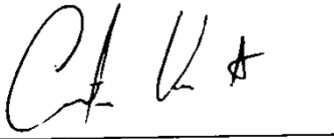
**© 2023, Cristian Salvador Usca Cargua & Karla Nicole Thomé Llerena**

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.

Nosotros, Cristian Salvador Usca Cargua y Karla Nicole Thomé Llerena declaramos que el presente trabajo de integración curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de abril de 2023






**Cristian Salvador Usca Cargua**  
**060400071-1**



**Karla Nicole Thomé Llerena**  
**120588493-3**

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

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto de Investigación, **EFFECTOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE EN LA DEGRADACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN SOLUCIONES POLARES Y BIOLÓGICAS**, realizado por los señores **CRISTIAN SALVADOR USCA CARGUA Y KARLA NICOLE THOMÉ LLERENA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científico, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Biof. Rosa Maricela Ormaza Hugo, MsC <b>PRESIDENTA DE TRIBUNAL</b>	 _____	2023-04-24
Ing. Marco Vinicio Guevara Granizo, PhD <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2023-04-24
Dr. Fabián Ernesto Arias Arias, PhD <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2023-04-24

## DEDICATORIAS

Dedico este proyecto a mi madre Ivonne, mi padre Segundo, mi hermano Romel, mi hermano de otra madre Manuel y mi pareja Kath, quienes siempre me han apoyado en todo y han estado presentes cuando los he necesitado. Asimismo, agradezco a mi perro Whisky por ser un gran apoyo emocional en épocas complejas.

Cristian

Dedico este proyecto a mi abuelito Luis Llerena (+), mi abuelita Elvia Guevara y mi madre Teresa Llerena que me han apoyado y acompañado en todo momento. A mi perro Toby que me ha levantado los ánimos en tiempos difíciles.

Karla

## AGRADECIMIENTOS

Primero, quiero agradecer a Dios por llevarme hasta donde estoy hoy. A mi familia, el pilar fundamental de mi vida, y a Kath, por ser mi apoyo constante y la persona que más amo. También quiero agradecer a los profesores de la carrera de Física de la ESPOCH, quienes me inculcaron su amor por la física. A Karlita, quien siempre ha estado dispuesta a colaborar conmigo y es un aporte fundamental en este proyecto. A todas las personas que he conocido en este camino, como amigos, técnicos y otros, todos ellos han aportado su granito de arena. Quiero hacer un agradecimiento especial al Ing. Marco Guevara, PhD, nuestro director de trabajo de integración curricular, quien pacientemente y de manera óptima, contribuyó al desarrollo de este trabajo con sus conocimientos para cumplir con los objetivos planteados. Como diría Gustavo Cerati, gracias totales.

Cristian

Quiero dar un agradecimiento total a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a mis docentes que más que conocimiento me enseñaron valores durante toda la etapa de mi carrera, agradezco a los técnicos docentes quienes ayudaron en el transcurso de la investigación. Agradezco a nuestro tutor Ing. Marco Guevara, PhD por su orientación, paciencia y apoyo durante el proceso de la investigación. A mi compañero de investigación Cristian Usca por su colaboración, compañerismo y siempre estar dispuesto a escuchar mis ideas. A mi madre por su incondicional apoyo, a mi abuelita y mi abuelo que en paz descanse. A mis compañeros William Astudillo y Camila González por su ayuda y apoyo en momentos difíciles de la carrera.

Karla

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>2</b>
1.1. Planteamiento del Problema .....	2
1.2. Problema general de investigación .....	2
1.3. Problemas específicos de investigación .....	2
1.4. Objetivos .....	3
1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	3
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	3
1.5. Justificación .....	3
1.5.1. <i>Justificación Teórica</i> .....	3
1.5.2. <i>Justificación Metodológica</i> .....	3
1.5.3. <i>Justificación Práctica</i> .....	4
1.6. Hipótesis.....	4

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1. Agua y Sangre.....	5
2.1.1. <i>Agua</i> .....	5
2.1.2. <i>Sangre</i> .....	6
2.2. Microplásticos.....	7
2.2.1. <i>Características de los Microplásticos</i> .....	7
2.2.2. <i>Fuentes de emisión de Microplásticos</i> .....	8
2.2.3. <i>Contaminación por Microplásticos</i> .....	9

2.2.4.	<i>Microplásticos en Sangre</i> .....	9
2.2.5.	<i>Microplásticos en Agua</i> .....	10
2.2.6.	<i>Obtención de Microplásticos</i> .....	10
2.3.	<b>Técnicas de identificación de Microplásticos</b> .....	11
2.4.	<b>Radiación</b> .....	12
2.4.1.	<i>Radiación ionizante y no ionizante</i> .....	12
2.4.2.	<i>Tipos de radiación ionizante</i> .....	12
2.4.3.	<i>Rayos X</i> .....	13
2.4.4.	<i>Actividad</i> .....	14
2.4.5.	<i>Dosis</i> .....	15
2.4.6.	<i>Efectos de la radiación</i> .....	16

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	19
3.1.	<b>Enfoque de Investigación</b> .....	19
3.2.	<b>Nivel de Investigación</b> .....	19
3.3.	<b>Diseño de Investigación</b> .....	19
3.3.1.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i> .....	22
3.4.	<b>Tipo de Estudio</b> .....	22
3.5.	<b>Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra</b> .....	22
3.5.1.	<i>Unidad de análisis</i> .....	22
3.5.2.	<i>Población de estudio</i> .....	22
3.5.3.	<i>Tamaño de la muestra</i> .....	23
3.5.4.	<i>Selección de la muestra</i> .....	23
3.6.	<b>Métodos, técnicas e instrumentos de investigación</b> .....	23
3.6.1.	<i>Obtención y tamizado de MPs</i> .....	23
3.6.2.	<i>Extracción de sangre</i> .....	24
3.6.3.	<i>Fraccionamiento sanguíneo</i> .....	24
3.6.4.	<i>Preparación de muestras fortificadas</i> .....	25
3.6.5.	<i>Armado de la unidad de rayos X</i> .....	25
3.6.6.	<i>Calibración de la unidad de rayos X</i> .....	27
3.6.7.	<i>Medida de volumen de aire ionizado y registro de voltaje</i> .....	27
3.6.8.	<i>Proceso de irradiación y filtrado de las muestras fortificadas</i> .....	28
3.6.9.	<i>Análisis SEM-EDS</i> .....	29
3.6.10.	<i>Análisis de espectroscopia FT/IR</i> .....	29



## CAPÍTULO IV

<b>4.</b>	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>	31
<b>4.1.</b>	<b>Cálculo de tasa de dosis absorbida</b>	31
<b>4.1.1.</b>	<i>Determinación de volumen de aire ionizado</i>	31
<b>4.1.2.</b>	<i>Determinación de la corriente de ionización</i>	32
<b>4.1.3.</b>	<i>Determinación de dosis de iones</i>	33
<b>4.1.4.</b>	<i>Determinación de la tasa de dosis absorbida</i>	34
<b>4.2.</b>	<b>Cálculo del porcentaje de masa perdida</b>	35
<b>4.2.1.</b>	<i>Porcentaje de masa perdida obtenida</i>	36
<b>4.3.</b>	<b>Análisis SEM-EDS y FT/IR</b>	36
<b>4.3.1.</b>	<i>Muestra cero</i>	37
<b>4.3.2.</b>	<i>Muestra 1-AD</i>	39
<b>4.3.3.</b>	<i>Muestra 2-AD</i>	42
<b>4.3.4.</b>	<i>Muestra 1-AC</i>	44
<b>4.3.5.</b>	<i>Muestra 2-AC</i>	46
<b>4.3.6.</b>	<i>Muestra 1-P</i>	48
<b>4.3.7.</b>	<i>Muestra 2-P</i>	51
<b>4.4.</b>	<b>Prueba de hipótesis</b>	53
	<b>CONCLUSIONES</b>	55
	<b>RECOMENDACIONES</b>	56
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b> Clasificación morfológica de MPs. ....	8
<b>Tabla 2-2:</b> Ingesta diaria de MPs en personas.....	9
<b>Tabla 2-3:</b> Técnicas de identificación de MPs. ....	11
<b>Tabla 2-4:</b> Factores de ponderaciones ( $WR$ ). ....	16
<b>Tabla 3-1:</b> Concentración de MPs en cada solución. ....	21
<b>Tabla 3-2:</b> Tiempo de irradiación y tipo de dosis. ....	21
<b>Tabla 3-3:</b> Obtención y tamizado de MPs.....	23
<b>Tabla 3-4:</b> Extracción de sangre.....	24
<b>Tabla 3-5:</b> Fraccionamiento sanguíneo. ....	24
<b>Tabla 3-6:</b> Preparación de soluciones. ....	25
<b>Tabla 3-7:</b> Armado de la unidad de rayos X. ....	25
<b>Tabla 3-8:</b> Calibración de la unidad de rayos X.....	27
<b>Tabla 3-9:</b> Medida de volumen de aire ionizado y registro de voltaje.....	27
<b>Tabla 3-10:</b> Proceso de irradiación de las muestras fortificadas.....	28
<b>Tabla 3-11:</b> Análisis SEM-EDS. ....	29
<b>Tabla 3-12:</b> Análisis de espectroscopia FT/IR.....	29
<b>Tabla 4-1:</b> Volumen de aire ionizado obtenido.....	32
<b>Tabla 4-2:</b> Señal de voltaje y corriente de ionización obtenida. ....	33
<b>Tabla 4-3:</b> Tasa de dosis absorbida obtenida. ....	34
<b>Tabla 4-4:</b> Dosis absorbida por las muestras fortificadas. ....	35
<b>Tabla 4-5:</b> Porcentaje de masa perdida obtenida.....	36
<b>Tabla 4-6:</b> Composición química de la muestra prima. ....	38
<b>Tabla 4-7:</b> Longitud de onda, porcentaje de transmitancia y asignación de la muestra cero. ....	39
<b>Tabla 4-8:</b> Composición química de la muestra 1-AD.....	40
<b>Tabla 4-9:</b> Longitud de onda, porcentaje de transmitancia y asignación de la muestra 1-AD...	41
<b>Tabla 4-10:</b> Comparación longitudes de onda de la muestra cero y la muestra 1-AD.....	41
<b>Tabla 4-11:</b> Composición química de la muestra 2-AD.....	42
<b>Tabla 4-12:</b> Longitud de onda, porcentaje de transmitancia y asignación de la muestra 2-AD.	43
<b>Tabla 4-13:</b> Comparación longitudes de onda de la muestra cero y la muestra 2-AD.....	43
<b>Tabla 4-14:</b> Composición química de la muestra 1-AC.....	44
<b>Tabla 4-15:</b> Longitud de onda, porcentaje de transmitancia y asignación de la muestra 1-AC.	45
<b>Tabla 4-16:</b> Comparación longitudes de onda de la muestra cero y la muestra 1-AC.....	46
<b>Tabla 4-17:</b> Composición química de la muestra 2-AC.....	47
<b>Tabla 4-18:</b> Longitud de onda, porcentaje de transmitancia y asignación de la muestra 2-AC.	48

<b>Tabla 4-19:</b> Comparación longitudes de onda de la muestra cero y la muestra 2-AC.....	48
<b>Tabla 4-20:</b> Composición química de la muestra 1-P.....	49
<b>Tabla 4-21:</b> Longitud de onda, porcentaje de transmitancia y asignación de la muestra 1-P. ...	50
<b>Tabla 4-22:</b> Comparación longitudes de onda de la muestra cero y la muestra 1-P. ....	51
<b>Tabla 4-23:</b> Composición química de la muestra 2-P.....	52
<b>Tabla 4-24:</b> Longitud de onda, porcentaje de transmitancia y asignación de la muestra 2-P. ...	52
<b>Tabla 4-25:</b> Comparación longitudes de onda de la muestra cero y la muestra 2-P .....	53

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 3-1:</b> Diseño de investigación para analizar los efectos de la radiación ionizante en la degradación de MPs en soluciones polares y biológicas. ....	20
<b>Gráfico 4-1:</b> Diagrama de cableado esquemático para las corrientes de iones. ....	33
<b>Gráfico 4-2:</b> Espectro FT/IR de la muestra cero. ....	39
<b>Gráfico 4-3:</b> a) Espectro FT/IR de la muestra 1-AD. b) Comparación de los espectros FT/IR de la muestra cero y la muestra 1-AD. ....	41
<b>Gráfico 4-4:</b> a) Espectro FT/IR de la muestra 2-AD. b) Comparación de los espectros FT/IR de la muestra cero y la muestra 2-AD. ....	43
<b>Gráfico 4-5:</b> a) Espectro FT/IR de la muestra 1-AC. b) Comparación de los espectros FT/IR de la muestra cero y la muestra 1-AC. ....	45
<b>Gráfico 4-6:</b> a) Espectro FT/IR de la muestra 2-AC. b) Comparación de los espectros FT/IR de la muestra cero y la muestra 2-AC. ....	47
<b>Gráfico 4-7:</b> a) Espectro FT/IR de la muestra 1-P. b) Comparación de los espectros FT/IR de la muestra cero y la muestra 1-P. ....	50
<b>Gráfico 4-8:</b> a) Espectro FT/IR de la muestra 2-P. b) Comparación de los espectros FT/IR de la muestra cero y la muestra 2-P. ....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

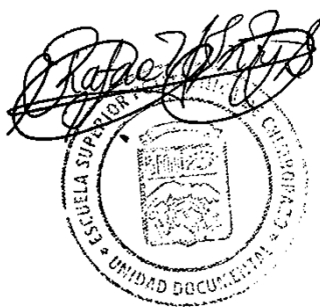
<b>Figura 2-1:</b> Partes de un tubo de rayos X.....	13
<b>Figura 2-2:</b> Cadena de radiólisis del agua.....	16
<b>Figura 4-1:</b> Detalle de distancias para determinar el volumen de aire ionizado.....	32
<b>Figura 4-2:</b> a) Imagen de la muestra cero a escala de 200 $\mu\text{m}$ con un lente de x60. b) Imagen de la muestra cero a escala de 20 $\mu\text{m}$ con un lente de x650. c) Imagen de la muestra cero a escala de 5 $\mu\text{m}$ con un lente de x3000. ....	37
<b>Figura 4-3:</b> a) Imagen de la muestra cero escogida para el análisis EDS. b) Análisis EDS de la muestra cero.....	38
<b>Figura 4-4:</b> a) Imagen de la muestra 1-AD a escala de 100 $\mu\text{m}$ con un lente de x100. b) Imagen de la muestra 1-AD escogida para el análisis EDS. c) Análisis EDS de la muestra 1-AD. ....	40
<b>Figura 4-5:</b> a) Imagen de la muestra 2-AD a escala de 200 $\mu\text{m}$ con un lente de x70. b) Imagen de la muestra 2-AD escogida para el análisis EDS. c) Análisis EDS de la muestra 2-AD. ....	42
<b>Figura 4-6:</b> a) Imagen de la muestra 1-AC a escala de 200 $\mu\text{m}$ con un lente de x55. b) Imagen de la muestra 1-AC escogida para el análisis EDS. c) Análisis EDS de la muestra 1-AC. ....	44
<b>Figura 4-7:</b> a) Imagen de la muestra 2-AC a escala de 500 $\mu\text{m}$ con un lente de x35. b) Imagen de la muestra 2-AC escogida para el análisis EDS. c) Análisis EDS de la muestra 2-AC. ....	46
<b>Figura 4-8:</b> a) Imagen de la muestra 1-P a escala de 100 $\mu\text{m}$ con un lente de x100. b) Imagen de la muestra 1-P escogida para el análisis EDS. c) Análisis EDS de la muestra 1-P. ....	49
<b>Figura 4-9:</b> a) Imagen de la muestra 2-P a escala de 500 $\mu\text{m}$ con un lente de x37. b) Imagen de la muestra 2-P escogida para el análisis EDS. c) Análisis EDS de la muestra 2-P. ....	51

## RESUMEN

Los microplásticos (MPs) son polímeros con tamaños que van desde 1  $\mu\text{m}$  hasta 5 mm. Según su origen, pueden ser subproductos de procesos industriales o resultado de degradaciones físicas y químicas que llegan al medio ambiente debido a un mal manejo de residuos. Se han convertido en una problemática mundial al pasar de ser el contaminante más abundante en el agua a encontrarse dentro de la red alimentaria de animales acuáticos, siendo estos uno de los principales transmisores de MPs a los seres humanos. En los últimos años, ya existen evidencias de estas partículas en la sangre humana. Se ha demostrado que existen métodos de degradación físicos, como el uso de radiación UV, que han notado cambios en los gránulos de plásticos. El presente trabajo busca analizar los efectos de la radiación ionizante en la degradación de MPs en soluciones polares y biológicas mediante el uso de un equipo de rayos X, en 6 muestras fortificadas a dosis de radiación ionizante de 0,7 Gy y 1,4 Gy en agua destilada, agua común y plasma sanguíneo. Los MPs fueron obtenidos de muestras de botellas de Tereftalato de polietileno (PET), trituradas con ayuda de un molino de bolas y caracterizadas mediante SEM-EDS. El proceso de irradiación permitió evidenciar la disminución de la masa de las muestras de 7% y 13% en la dosis baja y alta respectivamente. Con el análisis SEM-EDS se evidenció cambios morfológicos y adhesión de elementos en los MPS dentro de la muestra de agua común. En el análisis FT/IR no existió cambios en la composición química.

**Palabras clave:** <MICROPLÁSTICOS>, <DEGRADACIÓN>, <RAYOS X>, <RADIACION IONIZANTE>, <TEREFTALATO DE POLIETILENO>, <SOLUCIONES ACUOSAS>, <SOLUCIONES BIOLÓGICAS>.

0873-DBRA-UPT-2023



## ABSTRACT

Microplastics (MPs) are polymers with sizes ranging from 1  $\mu\text{m}$  to 5 mm. Depending on their origin, they can be by-products of industrial processes or the result of physical and chemical degradation that reach the environment due to poor waste management. They have become a global problem as they have gone from being the most abundant pollutant in water to being found in the food web of aquatic animals, which are one of the main transmitters of PM to humans. In recent years, there is already evidence of these particles in human blood. Physical degradation methods, such as the use of UV radiation, have been shown to have noticed changes in plastic granules. The present work aims to analyze the effects of ionizing radiation on the degradation of PMs in polar and biological solutions using x-ray equipment on 6 samples fortified at ionizing radiation doses of 0.7 Gy and now 1.4 Gy in distilled water, ordinary water, and blood plasma. The MPs were obtained from samples of polyethylene terephthalate (PET) bottles, crushed with the aid of a ball mill, and characterized by SEM-EDS. The irradiation process showed a decrease in the mass of the samples of 7% and 13% at low and high doses, respectively. The SEM-EDS analysis showed morphological changes today and adhesion of elements in the MPs, within the common water sample. In the FT/IR analysis there were no changes in the chemical composition.

**Keywords:** <MICROPLASTICS>, <DEGRADATION>, <X-RAYS>, <IONIZING RADIATION>, <POLYETHYLENE TEREPHTHALATE>, <AQUEOUS SOLUTIONS>, <BIOLOGICAL SOLUTIONS>.



Dra. Carmita Eulalia Rojas Castro. Mgs.

0602890469

## INTRODUCCIÓN

Los microplásticos (MPs) en la actualidad son contaminantes emergentes que puede llegar hasta nuestro organismo por diversas vías (Doğruyol, Şener y Balkaya 2018: p.344; Bollaín y Agulló 2020: p.1), por lo que, es de vital importancia su estudio. En investigaciones previas se han demostrado que hay distintos métodos de degradación como la mecánica, química y biológica determinando las tasas de degradación que dependen de las características del polímero (Peñalver et al. 2020: p.1). Se han realizado estudios donde la OIEA ha dado a conocer que el medio acuático es uno de los mayores depósitos de contaminantes de MPs (Talbot et al. 2022: p.651), incrementando cada año como en el caso del Océano Pacífico, donde la fotodegradación se ha planteado como un buen método de degradación (Bratovic 2017; p.3). Por consecuencia, la radiación ionizante a dosis específicas puede producir ruptura de los enlaces químicos que conforman el material, así puede llegar a ser un prometedor método de degradación considerando un enfoque ecológico.

En la presente investigación se prueba si con radiación ionizante puede llegar a degradar el microplástico de tipo tefalato de polivinilo (PET) en distintas soluciones polares: agua destilada y agua común; y biológicas: plasma con la utilización de un equipo de rayos X.

El trabajo de titulación es de índole cuantitativa. Se tomará 6 muestras con un peso específico de MPs de las cuales 2 muestras serán en solución de agua destilada, 2 en agua común y 2 en plasma para posteriormente irradiarlas a diferentes dosis.

En el capítulo I, se aborda el problema de investigación, el cual incorpora la justificación y objetivo de la investigación enfocados directamente en la problemática que presenta las concentraciones de MPs en los mares y hoy en día en la sangre de las personas.

En el capítulo II, se aborda el marco teórico, que incluyen conceptos precisos sobre MPs, métodos de obtención y análisis de MPs, acontecimientos importantes que vinculan al desarrollo de la experimentación de degradación de MPs con radiación ionizante.

En el capítulo III, se aborda el marco metodológico, contemplando el procedimiento de caracterización y procesado de las muestras, así como también el proceso de irradiación y los diferentes métodos de análisis utilizados para el desarrollo de la investigación

El análisis e interpretación de resultados abarca el capítulo IV, donde se describen los efectos alcanzados después de la irradiación de las muestras, identificando cambios en su estructura morfológica y composición.



# **CAPÍTULO I**

## **1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Planteamiento del problema**

La evidencia científica en (Alfaro-Núñez et al. 2021: p.3) acerca de la contaminación de microplásticos (MPs) en organismos marinos en el Pacífico Oriental Tropical y Galápagos manifiesta que dichos organismos de consumo humano ingieren microplásticos directamente del agua de mar o de niveles tróficos inferiores. Además, se afirma que estas partículas de MPs se han infiltrado en el ecosistema marino y actualmente están siendo subestimadas, y pueden afectar como tóxicos, portadores de patógenos bacterianos, en la microbiota intestinal. Incluso dentro de los ríos de las localidades se han encontrado islas de plásticos de gran tamaño en océanos, mares y ríos. Por otra parte, estos cúmulos de MPs pueden llegar a la sangre de personas que consumen agua contaminada producto de la descomposición de los plásticos y por el consumo de animales de las zonas marinas. Es necesario una comprensión de la exposición de estas sustancias en humanos y el peligro asociado a dicha exposición para determinar si los MPs son o no un riesgo para la salud pública (Yuan, Nag y Cummins 2022: p.823). En virtud de lo expuesto, la investigación permitirá verificar los efectos de la radiación ionizante suministrada por la Unidad experta XR 4.0 con voltaje máximo de 35kV y corriente de emisión de 1mA en diferentes muestras que cuentan con una concentración de 5mg de MPs en agua destilada, agua común y plasma sanguíneo.

### **1.2. Problema general de investigación**

¿Cuál es el efecto de la radiación ionizante en la degradación de microplásticos en soluciones polares y biológicas?

### **1.3. Problemas específicos de investigación**

¿Cómo influye la radiación ionizante en la degradación de microplásticos?

¿Cómo se obtendrán las muestras fortificadas de microplásticos en soluciones polares y biológicas?

¿Cuál es la dosis de radiación efectiva para degradar microplásticos en las soluciones polares y biológicas?

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general***

Analizar los efectos de la radiación ionizante en la degradación de microplásticos en soluciones polares y biológicas.

### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Realizar el estudio del estado-del-arte y el soporte teórico sobre la degradación de microplásticos mediante radiaciones ionizantes.
- Efectuar la caracterización morfológica de los microplásticos y preparación de las muestras fortificadas con microplásticos en soluciones polares (H<sub>2</sub>O) y biológicas (sangre).
- Irradiar las muestras fortificadas a diferentes dosis lo que implica una evaluación de la degradación del microplásticos en las muestras fortificadas usando métodos instrumentales.

## **1.5. Justificación**

### ***1.5.1. Justificación teórica***

El presente trabajo se enfocará en irradiar a diferentes muestras de soluciones biológicas (plasma sanguíneo), y al mismo tiempo muestras de soluciones polares (agua destilada y agua común) contaminadas con MPs a radiación ionizante suministradas por un tubo de rayos X de molibdeno, con la finalidad de degradar los MPs, cuyos resultados podrán remarcar una discusión de la contaminación de MPs de fuentes hídricas con evidencia en (Alfaro-Núñez et al. 2021: p.3) para comprobar los riesgos empíricamente que puedan afectar directamente al medio ambiente e indirectamente con el sistema inmunológico del ser humano.

### ***1.5.2. Justificación metodológica***

El uso de radiación ionizante suministrada por un tubo de rayos X de molibdeno, en la unidad de rayos X Unidad experta XR 4.0 con voltaje máximo de 35kV y corriente de emisión de 1mA, permitirá crear un método de purificación de zonas hídricas con alto índice de contaminación y que inclusive se estudie como afecta los niveles de radiación ionizante en la degradación de la

concentración de MPs para que sus residentes no desarrollen nuevas enfermedades causadas por la contaminación de MPs en la sangre.

### ***1.5.3. Justificación práctica***

A pesar de que Ecuador es un país megadiverso con múltiples fuentes hídricas, gran parte de ellas se encuentran contaminadas a nivel microscópico, por lo que, este estudio no solo dará a conocer los niveles de contaminación, afectación directa e indirectamente en el ser humano, sino también crear alternativas para purificar y consecuentemente tener una población más saludable.

### **1.6. Hipótesis**

¿Es posible degradar microplásticos en soluciones polares y biológicas con radiación ionizante?

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Agua y sangre

##### 2.1.1. Agua

Se define al agua como un líquido claro, incoloro, inodoro e insípido en estado puro, cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, constituyendo el componente más abundante de la superficie terrestre y sobre todos los seres vivos (Campbell, Mitchell y Reece 2001: p.809). Principalmente es la molécula que más se encuentra en el planeta, esta puede estar en tres fases líquida, sólida y gaseosa teniendo una dependencia directa de su temperatura o presión en el ambiente (Galvín 2008: p.1). El volumen total de agua en el mundo según (Gleeson et al. 2015: p.161) es aproximadamente 1.300 millones de  $\text{Km}^3$ , de los cuáles solo el 3% que corresponde a 39 millones de  $\text{Km}^3$  del total, es agua dulce y puede ser consumida.

##### 2.1.1.1. Propiedades físico-químicas del agua

###### Polaridad

Los elementos que componen la molécula de agua se encuentran unidos por enlaces covalentes, donde los dos átomos de hidrógeno se conectan al oxígeno por medio de un par de electrones enlazantes y el oxígeno al tener dos pares de electrones no enlazados genera que este tenga cuatro pares de electrones rodeando al átomo, generando así un enlace covalente polar donde los extremos de la molécula tienen cargas opuestas: la región del oxígeno de la molécula tiene una carga negativa parcial ( $\delta^-$ ) y los hidrógenos tienen una carga positiva parcial ( $\delta^+$ ) denotando una angulación entre los átomos de hidrógeno centrado al oxígeno de  $104,45^\circ$  (Campbell, Mitchell y Reece 2001: p.810).

###### Cohesión y adhesión

Las moléculas de agua tienen la capacidad de unirse entre sí (cohesión) o con otros elementos (adhesión) debido a enlaces de hidrógeno, en fase líquida este enlace es frágil y tiende a romperse, sin embargo, se vuelve a formar repetidamente en un muy corto periodo de tiempo; la cohesión causa la elevada tensión superficial del agua que es la dificultad de estirar o romper la superficie del líquido, esto debido a la mayor energía potencial que se encuentra en la capa superficial en

comparación con la parte volumétrica determinada por la descompensación de fuerzas en la interfase del agua con el aire (Campbell, Mitchell y Reece 2001: p.810).

### Calor específico

El agua tiene la capacidad de estabilizar su temperatura debido al calor específico que es la capacidad de una sustancia que debe absorberse (cuando se rompe los enlaces de hidrogeno) o perderse (cuando se forman enlaces de hidrógeno) para que un 1g de sustancia cambien su temperatura 1°C, en el caso del agua es muy alto siendo 1 cal/g °C o en el sistema internacional 4186 J (kg K) (Campbell, Mitchell y Reece 2001: p.811).

### Disolvente

El agua posee una alta reactividad y esto se debe a su poder de disolución que es la particularidad de disolver otras sustancias implicando un cambio en las propiedades físico-químicas de la disolución para el caso de la presente investigación la concentración presente en agua serán MPs (solute) además el agua es considerado como un disolvente muy versátil casi universal (Galvín 2008: p.4).

### **2.1.2. *Sangre***

Conforme a (Rivadeneira, 2013: p.27) la sangre es una suspensión de células en un medio acuoso, es impulsada por el corazón a través de los vasos sanguíneos. Se trata de un líquido denso, no transparente, con un sabor metálico y cuya tonalidad puede variar desde un rojo escarlata cuando contiene oxígeno hasta un rojo oscuro cuando carece de él. En general, está compuesta por su parte líquida o plasma que contiene agua, proteínas vitales, sales minerales, azúcares grasas, hormonas y vitaminas; y la parte sólida la cual contiene glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas (Derrickson y Tortora 2006: p.728).

#### **2.1.2.1. *Parte líquida / Plasma***

El plasma el componente más abundante del tejido sanguíneo con un 55% del volumen total es obtenido al separar las plaquetas, leucocitos y eritrocitos, está compuesto por un 90% de agua, un 7% de proteínas y el 3% de otros componentes. Tienen un color amarillento, transporta elementos y mantiene diferentes sustancias en solución (Campbell, Mitchell y Reece 2001: p.815).

### *2.1.2.2. Parte sólida*

La sangre está compuesta principalmente por células llamadas glóbulos rojos, que representan más del 99% de los elementos corpusculares. Estas células son conocidas por su color rojo y son también conocidos como eritrocitos. Los glóbulos blancos o leucocitos y las plaquetas son menos comunes, ocupando menos del 1% del volumen total de la sangre. Los glóbulos blancos y las plaquetas son menos densos que los glóbulos rojos y más densos que el plasma. Cuando se somete la sangre a centrifugación, se forma una fina capa de glóbulos blancos y plaquetas entre los glóbulos rojos y el plasma. (Derrickson y Tortora 2006: p.728).

### *2.1.2.3. Coagulación*

Ambos compuestos de la sangre en un periodo de tiempo pasan por un proceso de coagulación el cual hace que la sangre líquida pasa a convertirse en coágulos de sangre semisólidos. Este proceso ayuda a evitar que se pierda sangre al dañarse los vasos sanguíneos, las causas están denotadas por cada parte: en la primera parte (líquida) se debe a factores propios a la coagulación y la cantidad de agua que lo compone, en la segunda parte (sólida) se debe a la concentración de plaquetas, por lo que se recomienda el uso de anticoagulantes para estudios respecto a la sangre.

## **2.2. Microplásticos**

La definición de (Lusher et al. 2020: p.1050) para los MPs es que son cualquier partícula sólida sintética o matriz polimérica, de forma regular o irregular y con un tamaño que oscila entre 1  $\mu\text{m}$  y 5 mm, de origen primario o secundario, que son insolubles en agua. Mientras el alcance de los estudios continúe evolucionando desde los MPs con el mismo tamaño que las formas planctónicas hasta los nanoplasticos (NaP) que pueden ser consumidos por las formas planctónicas y, por lo tanto, agregarse fácilmente a la red alimentaria, la necesidad de nuevos enfoques para definir las partículas con tamaño más pequeño que micro seguirán aumentando.

### *2.2.1. Características de los microplásticos*

Hay varias características que permiten identificar y clasificar a las partículas de MPs, algunas en general, son las siguientes:

- Son partículas sólidas.
- Insolubles en agua.
- Son materiales sintéticos con un alto contenido de polímeros.

Por otra parte, otra característica de los MPs es su baja solubilidad, por ello, implica que estas partículas no desaparezcan por disolución en los ambientes marinos, lo que sirve de base a algunos problemas medioambientales y efectos nocivos (Godoy Calero 2021: p. 70).

#### 2.2.1.1. *Morfología*

Los MPs aparecen en diferentes formas en el medio ambiente. Estas variedades se deben a la forma original de los plásticos, el proceso de degradación al que han sido sometidos y las condiciones ambientales a las que han sido expuestos (Castañeta et al. 2020: p.162). A continuación, se detalla su clasificación morfológica y sus términos englobados:

**Tabla 2-1** Clasificación morfológica de MPs.

<b>Clasificación morfológica</b>	<b>Términos englobados</b>
Fragmentos	Polvo, gránulos, escamas, films, virutas.
Fibras	Filamentos, microfibras, hebras.
Pellets	Granza, “nurdles”, “nibs”.
Esferas	Granos, microesferas.
Espumas	Poliestireno, poliestireno expandido.

**Fuente:** (Godoy Calero 2021: p.41)

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

#### 2.2.1.2. *Color*

El color proporcionar información útil sobre el origen de los desechos. Puede cumplir otros propósitos, como identificar las estrategias de alimentación preferenciales de los organismos o las condiciones a las que han estado expuestos los objetos. Sin embargo, la identificación del color por parte de las personas es muy subjetiva y puede verse obstaculizada por deficiencias visuales como el daltonismo (Castañeta et al. 2020: p.162).

#### 2.2.2. *Fuentes de emisión de microplásticos*

Las fuentes de emisión primarias son subproductos de diferentes procesos industriales como: microesferas en el sector cosmético o de limpieza (en la formulación de exfoliantes, pasta de dientes, limpiadores faciales, limpiadores de manos, etc.), además de líquidos de perforación utilizados para la exploración de petróleo y gas; utilizándose también como abrasivos industriales y las fuentes de emisión secundarios se producen como consecuencia de la degradación física y química que llegan al medio ambiente por un mal tratamiento de los residuos como: botellas de

agua y refrescos, redes de pesca, bolsas de plástico, recipientes para microondas y bolsitas de té (Bollaín Pastor y Agulló 2019: p. 2; Hashmi 2022: p.279).

### 2.2.3. Contaminación por microplásticos

Es evidente el impacto ecológico de los MPs en el medioambiente, sin embargo, aún no hay evidencias de efectos adversos en la salud humana. La contaminación marina es uno de los factores importantes en los estudios debido a su toxicología, aunque su punto de impacto a migrado a la tierra y aire. Los MPs se caracterizan por tener una superficie hidrófoba que les otorga gran capacidad para absorber y concentrar una gran cantidad de contaminantes ambientales, como por ejemplo compuestos orgánicos hidrófobos como los hidrocarburos aromáticos policíclicos, pesticidas organoclorados y bifenilos policlorados. También pueden acumular metales pesados como el cadmio, zinc, níquel y plomo (Godoy Calero 2021: p.70).

### 2.2.4. Microplásticos en sangre

Los MPs están presentes en el polvo interior global, que es una fuente importante de MPs para los humanos. El principal polímero de MPs en muestras de polvo en interiores de hoteles de negocios, residencias universitarias y apartamentos residenciales fue poliéster, mientras que las de oficinas y aulas universitarias fueron principalmente polietileno y polipropileno. Se calculó la ingesta diaria estimada de MPs a través de la inhalación de polvo (Zhu et al. 2022: p.833).

**Tabla 2-2** Ingesta diaria de MPs en personas.

Individuo	Ingesta diaria de MPs (MPs/Kg pc/día)
Bebés	7,4
Niños pequeños	1,4
Niños	0,49
Adultos	0,23
Estudiantes Universitarios	0,22

Fuente: (Zhu et al. 2022: p.833)

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

Se han identificado y cuantificado por primera vez en sangre cuatro polímeros de alto volumen de producción aplicados en plástico. Tereftalato de polietileno (PET), polietileno y polímeros de estireno (un parámetro de suma de poliestireno, poliestireno expandido, acetonitrilo butadieno estireno, etc.) fueron los más encontrados, seguidos por poli (metacrilato de metilo). En este estudio de un pequeño grupo de donantes, la media de la suma cuantificable de la concentración de partículas de plástico en la sangre fue de 1,6 µg/ml, lo que muestra una primera medición de



la concentración en masa del componente polimérico del plástico en la sangre humana (Leslie et al. 2022: p.4) .

De la misma forma se han encontrado MPs en linfocitos de sangre periférica humana donde se determinaron los efectos genotóxicos y citotóxicos de los MPs 10-45  $\mu\text{m}$  de polietileno (Çobanoğlu et al. 2021: p.4). Además la sensibilidad de los linfocitos humanos y de peces a la toxicidad microplástico del cloruro de polivinilo (PVC) mostró que la adición de MPs de PVC a 24, 48 y 96  $\mu\text{g/ml}$  durante 3h a linfocitos de sangre humana y de peces inducida por citotoxicidad, se asoció con la formación de especies reactivas de oxígeno intracelulares, lesión de la membrana lisosomal, colapso del potencial de membrana mitocondrial, agotamiento del glutatión, peroxidación lipídica, estrés oxidativo y daño de orgánulos, mostrando que los linfocitos humanos son más sensibles en la toxicidad de los MPs de PVC en comparación con los linfocitos de peces (Salimi et al. 2022: p.106).

#### ***2.2.5. Microplásticos en agua***

Los plásticos pueden entrar o ser transportados al medio acuático a través de muchas vías como: desecho de basura plástica, eventos climáticos extremos, escombros arrastrados por el viento, descargas de aguas residuales, tratamiento de aguas residuales y liberación de microfibras durante lavados (Hashmi 2022). Los MPs ingresan a las aguas costeras a través de vientos, corrientes, mareas y olas, lo que hace que se lleven a cabo a grandes distancias desde su punto de origen. Se han encontrado fragmentos de MPs en hábitats sedimentarios, costas, zonas pelágicas se detectan principalmente en el tracto gastrointestinal de los animales marinos como en el caso de la investigación realizada en las Galápagos donde se encontró partículas de 200 $\mu\text{m}$  el tracto digestivo y el musculo dorsal de 15 ejemplares de cada una de las 16 diferentes especies entre moluscos, peces y crustáceos (Alfaro-Núñez et al. 2021: p.4).

#### ***2.2.6. Obtención de microplásticos***

Si bien las partículas de microplásticos grandes pueden clasificarse manualmente y verificarse con análisis químicos, la preparación de muestras para el análisis de microplásticos más pequeños suele ser más difícil (Möller, Löder y Laforsch 2020: p.2078). Por ello, utilizar instrumentos que pulvericen hasta niveles de micras es posible teniendo un tamiz adecuado para que cierna de manera más adecuada la muestra. El método de tratamiento de molino de bolas criogénica prueba en términos de densidad que puede reducir el tamaño considerable de partículas, en los que la combinación de impacto y fricción da lugar a un polvo extremadamente fino. Las sustancias termosensibles y elásticas, como los plásticos y el caucho también se pueden pulverizar con éxito

siendo enfriado primeramente con nitrógeno líquido. Se mostró en (Bruyère et al. 2016: p.457) que, para pelusas ricas en plástico tratadas previamente para separar plásticos flotantes con un tamaño de 6,3 mm para un rango de 1 a 16 mm, se tamizo manualmente la muestra con 100  $\mu\text{m}$ , 160  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$ , 500  $\mu\text{m}$ , 1 mm y 2 mm ya que las partículas frías se tamizan mejor que las muestras en condiciones ambientales.

### 2.3. Técnicas de identificación de microplásticos

Se han observado avances significativos en el marco de las técnicas analíticas químicas para la detección de MPs en los ecosistemas acuáticos, ya que desempeñan un papel fundamental en la evaluación de riesgos y en el control de la calidad de dichas muestras (Kalaronis et al. 2022: p.7).

**Tabla 2-3** Técnicas de identificación de MPs.

<b>Técnica</b>	<b>Fundamento</b>	<b>Información de análisis</b>	<b>Resolución</b>
Microscopía óptica	La iluminación de la luz proviene desde la parte superior de la muestra.	Morfología y tamaño	< 100 $\mu\text{m}$
Fluorescencia	Recogida de la emisión fluorescente de las muestras excitadas por una longitud de onda.	Identificación, tamaño, forma, color y cuantificación.	< 5 $\mu\text{m}$
Microscopía de fuerza atómica	El escaneo horizontal de muestras con la ayuda de un voladizo, con una fuerza constante en 2 ejes.	Topografía de superficie de las muestras, morfología.	< 0.3 $\text{nm}$
Microscopía electrónica de transmisión	Un haz de electrones ilumina la muestra, y el poder de resolución aumenta la longitud de onda de la transmisión de electrones.	Morfología y estructura	< 0.1 $\text{nm}$
Microscopía electrónica de barrido (SEM)	Interacción de los haces de electrones y producción de resolución de imagen especificada.	Tamaño, forma, número y composición	< 100 $\text{nm}$
Microscopía Raman ( $\mu$ -Raman)	Aplicación del láser UV/IR cercano en la superficie de la muestra; Dispersión de la luz (Stonks) de las moléculas.	Huella química	hasta 1 $\mu\text{m}$
Espectroscopía de infrarrojos por transformada de Fourier (FT/IR)	Interacción de la radiación infrarroja de una determinada longitud de onda produce vibraciones.	Huella química	< 10 $\mu\text{m}$

**Fuente:** (Kalaronis et al. 2022: p.7)

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

## **2.4. Radiación**

La radiación, es energía en forma de ondas o partículas que se mueven por el espacio. La luz visible, el calor, las ondas de radio y las partículas alfa son ejemplos de radiación. Cuando las personas sienten el calor de la luz del sol, en realidad están absorbiendo la energía radiante emitida por el sol. 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 (Attix 2008: p.1).

### **2.4.1. Radiación ionizante y no ionizante**

Normalmente, un átomo tiene el mismo número de protones y electrones; sin embargo, los átomos pueden perder o ganar electrones en un proceso conocido como ionización. Las radiaciones ionizantes se caracterizan generalmente por su capacidad de excitar los átomos de la materia con la que interactúan. La energía necesaria para que un electrón de valencia escape de un átomo es del orden de 4-25 eV. La radiación no ionizante rebota o atraviesa la materia sin desplazar electrones. (Attix 2008: p.2).

### **2.4.2. Tipos de radiación ionizante**

Según (Cherry Jr et al. 2012: p.3) los tipos de radiación ionizante se pueden clasificar como:

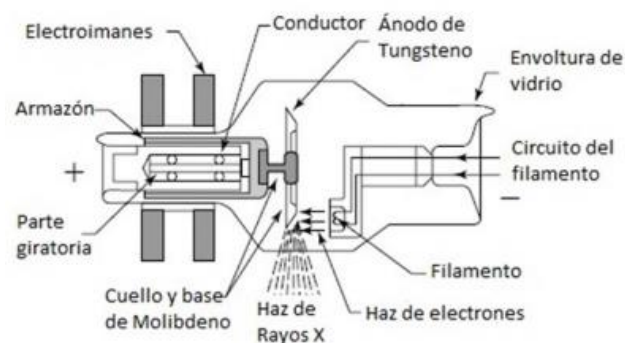
- La radiación alfa: es un tipo de radiación compuesta por partículas llamadas partículas alfa. Estas partículas están compuestas por dos protones y dos neutrones y se mueven a altas velocidades. Representan a los núcleos de helio totalmente ionizados. Tienen alto poder de ionización, pero con bajo poder de penetración.
- Radiación beta o (Partículas beta): Son electrones con alta energía que algunos materiales radiactivos emiten cuando se transforman, debido a su menor masa producen menor energía y por lo tanto menor poder de ionización que las alfa, pero con un mayor poder de penetración. La radiación se detiene a una pequeña distancia en el aire o en el agua y puede ser bloqueada por materiales como el aluminio, el cristal, la ropa o la piel.
- Radiación Gamma: Cuando un átomo radioactivo se transforma emitiendo partículas alfa o beta, puede que también emita uno o más rayos gama para liberar cualquier exceso de energía permitiendo viajar distancias muy largas a través del aire, tejidos corporales y otros materiales atravesando el cuerpo sin hacer contacto con nada, o puede que choque con un átomo y le dé al átomo toda o parte de su energía.
- Radiación X: son fotones con alta energía de origen extra nuclear tiene características similares a la radiación gamma.

También se puede clasificar en partículas neutras donde entran los fotones, rayos x y gamma, junto con los neutrones y partículas cargadas que se subdivide en ligeras y pesadas donde están los iones ligeros de neón, hidrógeno, iones pesados de sodio y fragmentos de fisión (Brosed y Sociedad Española de Física Médica 2011: p.21).

### 2.4.3. Rayos X

Los rayos X corresponden a la radiación electromagnética con longitudes de onda de 1 a 100 nm, cuya energía de sus fotones es muy superior al espectro de luz visible que oscila entre las longitudes de onda de 380 y 750 nm (Lira et al. 2022: p.14), tienen una mayor energía y pueden pasar a través de la mayoría de los objetos, incluyendo el cuerpo. Se dan dos clases de electrones, la primera clase de rayos X es generada cuando los electrones son rápidamente desacelerados durante las colisiones con los átomos en el objetivo. Los rayos X se componen de una variedad de longitudes de onda y se conocen como radiación continua, también conocida como "Bremsstrahlung" o radiación de frenado. El segundo tipo de rayos x ocurre cuando la colisión de un electrón con un átomo del objetivo causa una transición de un electrón orbital en el átomo y así de esta manera, el átomo queda en un estado excitado. Cuando los electrones orbitales en el átomo excitado se reordenan ellos mismos, los rayos x son emitidos, teniendo éstos una específica longitud de onda.

#### 2.4.3.1. Tubos de rayos X



**Figura 2-1** Partes de un tubo de rayos X.

**Fuente:** (Hendee y Ritenour 2003)

Los tubos de rayos X son aparatos electrónicos que convierten la energía eléctrica en rayos X (**Figura 2-1** Partes de un tubo de rayos X.). Suelen consistir en una ampolla de vidrio al vacío con dos partes principales: el cátodo y el ánodo, estos están formados por un filamento y un objetivo o “blanco” que comúnmente utilizan Wolframio, Molibdeno y en menor uso el Hierro y

Cobre que solo describe la calidad de los rayos X característicos, pero no afecta en la intensidad y dosis de la radiación incidente. La corriente eléctrica calienta el filamento hasta la incandescencia, produciendo una nube de electrones que son dirigidos al ánodo y acelerados por un alto voltaje entre cátodo y ánodo (González Zambrano, 1995: p.9). Cuando los electrones con alta energía chocan con el ánodo, una pequeña parte de la energía se transforma en radiación. Esto implica que los fotones de rayos X formados pueden tener diferentes energías. Los rayos X suelen describirse por su energía máxima, que viene determinada por la tensión entre los electrodos. La cantidad o fracción de la energía de los electrones que se transforma en rayos X desde la superficie del ánodo es sólo de aproximadamente un porcentaje de la energía del electrón. Esto implica que la mayor parte de la energía se disipa en forma de calor, por lo que es necesario refrigerar el ánodo. La probabilidad de transferir la energía del electrón en radiación es proporcional a  $ZxE^2$  siendo Z es el número atómico del ánodo y E es la energía del electrón (Attix 2008: p.203).

#### **2.4.4. Actividad**

La actividad es el número de desintegraciones atómicas que tienen lugar cada segundo su unidad de medida en el sistema internacional actual es el becquerelio (Bq). Matemáticamente, la actividad es igual al número de átomos inestables multiplicado por la probabilidad de decaimiento.

$$A = N\lambda$$

*Ecuación 2-1 Actividad.*

Si la actividad de un radionucleido particular es medida en función del tiempo, la desintegración radiactiva es exponencial.

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

*Ecuación 2-2 Actividad en función del tiempo.*

$A(t)$  es la actividad en el tiempo y  $A_0$  es la actividad inicial. Dado que la actividad es proporcional al número de átomos radiactivos, la ecuación puede ser escrita:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

*Ecuación 2-3 Número de radiactivos en función del tiempo.*

$N(t)$  es el número de átomos radiactivos en un tiempo  $t$ , y  $N_0$  es el número de átomos radiactivos iniciales (Attix 2008: p.33).

#### **2.4.5. Dosis**

Según (Attix 2008: p.34) la dosis es la cantidad de energía de radiación a la cual es expuesta una muestra a partir de un radionucleido o una serie de radionucleido, la dosis se divide en dosis absorbida, equivalente y efectiva.

##### *2.4.5.1. Dosis absorbida*

Es una magnitud física que mide la cantidad de energía por radiación en una muestra, su unidad de medida es el Gray (Gy) en honor a Harold Gray.

$$D = \frac{dE}{dm}$$

*Ecuación 2-4 Dosis Absorbida.*

Cuando exponemos a una muestra a una dosis determinada por un periodo de tiempo obtenemos una nueva magnitud conocida como “tasa de dosis absorbida” que se representa con el símbolo  $D_R$  y su unidad de medida es el Gray por unidad de tiempo (Gy/s).

$$D_R = \frac{dD}{dt}$$

*Ecuación 2-5 Tasa de Dosis Absorbida.*

##### *2.4.5.2. Dosis equivalente*

Es una magnitud calculada que corresponde al producto entre la dosis absorbida y el factor de ponderación de la radiación  $W_R$ , donde tomamos en cuenta los daños biológicos en un organismo vivo, su unidad de medida es el Sievert (Sy) en honor a Rolf Sievert y  $D_{TR}$  representa la tasa de dosis absorbida por un tejido T.

$$H_{TR} = D_{TR} * W_R$$

*Ecuación 2-6. Dosis Equivalente.*

El factor de ponderación de la radiación ( $W_R$ ) es aplicado para efectos estocásticos a bajas dosis y tasa de dosis, armonizando las diferentes radiaciones respecto a la dosis absorbida, tomando los siguientes valores.

**Tabla 2-4** Factores de ponderaciones ( $W_R$ ).

Tipo de radiación	Factores de ponderación ( $W_R$ )
$\beta$ y $\gamma$	1
Neutrones	5, 10, 20
Protones	5
$\alpha$ y nucleidos pesados	20

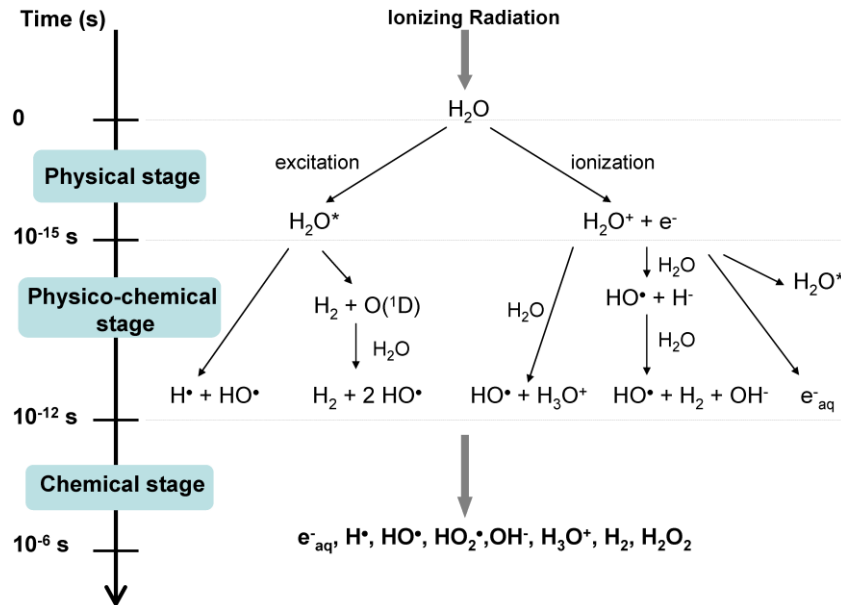
Fuente: (Attix 2008: p.34)

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

## 2.4.6. Efectos de la radiación

### 2.4.6.1. Efectos de la radiación en agua

La radiólisis del agua es la descomposición de las moléculas de agua debido a la radiación ionizante. El agua expuesta a radiación ionizante crea radicales libres de hidrógeno e hidroxilo, los cuales pueden unirse de nuevo para generar hidrógeno gaseoso, oxígeno, peróxido de hidrógeno, radicales hidroxilo y peróxidos. (Caër 2011: p.237).



**Figura 2-2** Cadena de radiólisis del agua.

Fuente: (Caër 2011: p.237)

#### *2.4.6.2. Efectos de la radiación en sangre*

Se ha estudiado el efecto de la radiación gamma sobre las roturas de la cadena de ADN en los linfocitos variando la dosis de 50 a 500 cGy. A 50 cGy se observó un aumento significativo en los niveles de roturas de la cadena de ADN. La sangre completa y los linfocitos expuestos a la radiación gamma en un rango de 5 a 50 cGy mostraron un aumento dependiente de la dosis en los niveles de roturas de cadenas de ADN. Se observaron niveles significativamente mayores de roturas de cadenas de ADN a 5 cGy en linfocitos y 10 cGy en sangre total, mientras que los del daño oxidativo de la base expresados como sitios sensibles a FPG se encontraron a 10 cGy tanto en sangre total como en linfocitos (Sudprasert, Navasumrit y Ruchirawat 2006: p.503).

La irradiación gamma de glóbulos rojos produce alteraciones en la bicapa lipídica, componentes proteicos y citoesqueleto en la superficie de la membrana. La producción de hidroperóxidos y el entrecruzamiento de los lípidos de la membrana pueden alterar la región superior de la bicapa, promoviendo la penetración del agua y terminando la hemólisis (Selim et al. 2009: p.171).

Se sabe que la exposición a la radiación ionizante tiene efectos letales en las células sanguíneas, por ello se realizaron estudios en ratones donde mostraron que después de la exposición a la radiación, los linfocitos, muestran la respuesta más inmediata a la radiación ionizante al exhibir una caída dramática 24 horas después de la exposición a la radiación y luego se produce la recuperación. En cambio, las plaquetas disminuyen progresivamente, durante un período de tiempo más largo (Billings, Romero-Weaver y Kennedy 2014: p.27).

#### *2.4.6.3. Efectos de la radiación en plásticos y microplásticos*

Se han realizado varios estudios de la radiación en plásticos en soluciones acuosas, pero no radiación en soluciones biológicas como el plasma. Si hablamos de los MPs en agua, estos se introducen en la microburbuja por convección del agua, lo que facilita su eliminación eficiente sin usar reactivos químicos o biológicos ni causar contaminación secundaria. Es posible la eliminación de plásticos del agua mediante energía solar simplemente usando una bola de vidrio esférica para enfocar la luz del sol sobre un sustrato de oro. Este método es bastante simple y no requiere energía adicional, lo que implica su potencial prometedor para abordar la contaminación plástica en los sistemas acuáticos debido a su alta eficiencia y bajo costo (Wang et al. 2022: p.3). Por otra parte, se ha usado la radiación UV para la degradación de MPs donde se ha mostrado cambios significativos en los granulos de plástico degradados en los espectros de Raman. Hubo diferentes intensidades de picos característicos después de la exposición a la radiación UV. Además, las imágenes SEM ilustraron que la oxidación granular, las grietas y las escamas fueron patrones



comunes durante la degradación, y los gránulos de plástico en los tres ambientes diferentes experimentaron diferentes niveles de meteorización química (Cai et al. 2018: p.628).

## **CAPÍTULO III**

### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Enfoque de investigación**

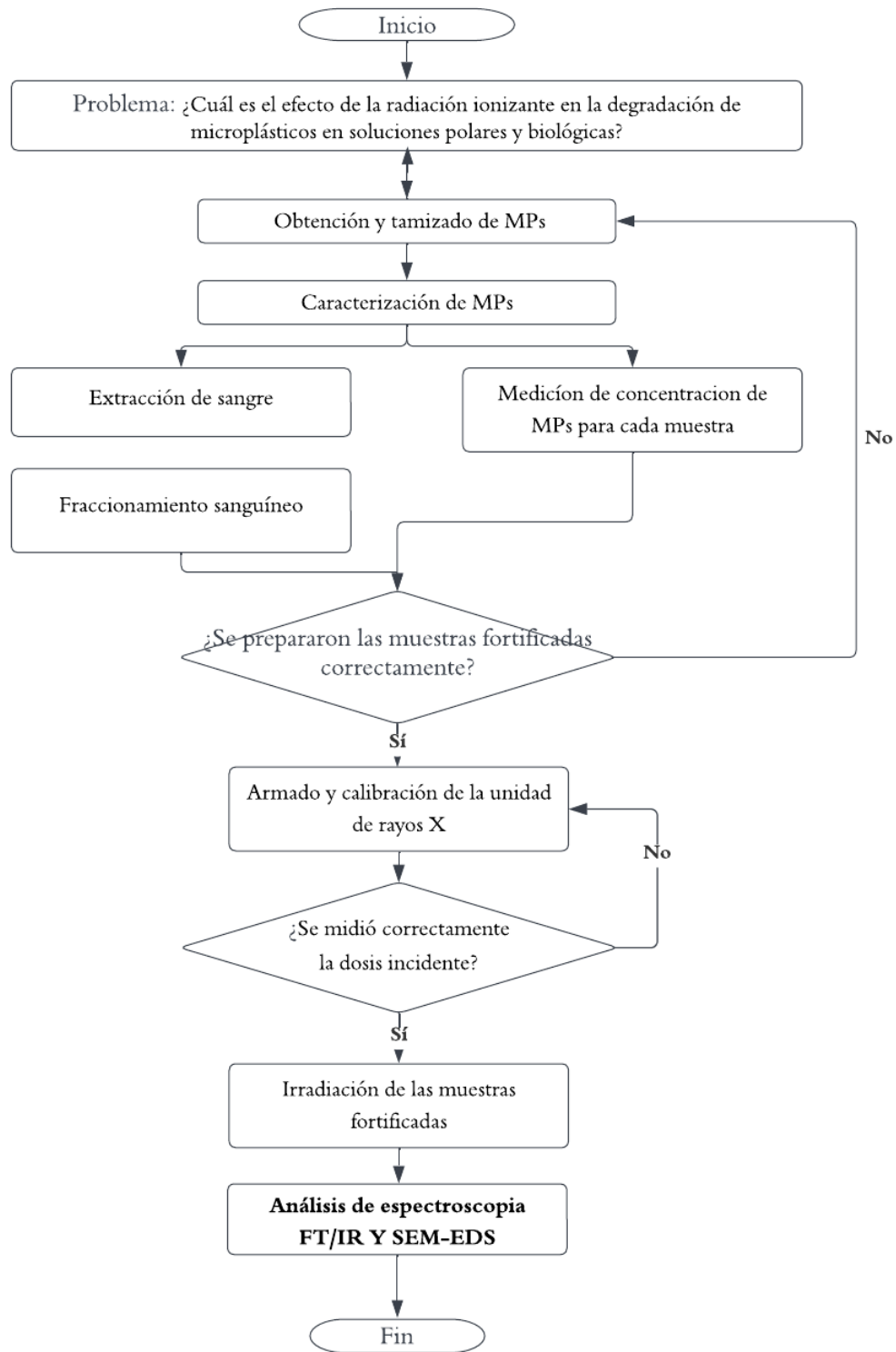
La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo donde se utiliza instrumentos para la recolección de información y medición de variables muy estructuradas (Lerma 2016: p.87). Siendo este enfoque el más adecuado para obtener la longitud de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ) y la cantidad de energía dispersa (KeV) de los MPs con una medida promedio individual  $<5$  mm en tres soluciones: agua destilada, agua común y plasma después de ser expuesta a radiación ionizante producida por el tubo de rayos X de molibdeno en la unidad experta XR 4.0 a cada concentración con el objetivo de determinar su degradación.

#### **3.2. Nivel de investigación**

Mediante diversas investigaciones se ha logrado degradar MPs en agua debido a la presencia de radiación UV, sin embargo, para el caso de soluciones biológicas (plasma sanguíneo) solo se ha logrado cuantificar diversas concentraciones a diferentes tamaños de MPs en sangre humana y en zonas musculares de animales de consumo diario, sin tomar en cuenta los efectos de la radiación ionizante en diferentes tipos de soluciones particulares, ni la dosis. Por consiguiente, definimos el nivel de investigación como exploratorio, ya que, nos permite una aproximación a fenómenos desconocidos, con el fin de aumentar el grado de familiaridad y contribuyen con ideas respecto a la forma correcta de abordar una investigación en particular (Tiburcio 2022: p.65).

#### **3.3. Diseño de investigación**

Utilizaremos un método por conveniencia, donde establecemos el número de muestras dependiendo de la dosis de radiación y el tipo de solución, por lo tanto, el análisis factorial es el método más adecuado debido a que permite establecer todas las combinaciones posibles para el número de tratamientos (Fernández 2020: p.14). El análisis consiste en preparar 6 muestras fortificadas, de las cuales 2 tendrán como solución agua destilada, 2 agua común y 2 plasma, con una concentración constante de MPs de PET en cada caso; posteriormente, serán sometidas a 2 dosis de radiación baja y alta.



**Gráfico 3-1** Diseño de investigación para analizar los efectos de la radiación ionizante en la degradación de MPs en soluciones polares y biológicas.

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

Para determinar la degradación de los MPs se prepara las siguientes muestras fortificadas con un volumen de 5 ml de cada solución y 5 mg de MPs, es decir un total de 10 ml de agua destilada, 10 ml de agua común, 10 ml de plasma y 30 mg de MPs:

**Tabla 3-1** Concentración de MPs en cada solución.

Código	Masa de MPs (mg)
1-AD	5
2-AD	5
1-AC	5
2-AC	5
1-P	5
2-P	5

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

**Donde:**

AD = Agua destilada

AC = Agua común

P = Plasma

Posteriormente, cada muestra se irradia dentro de la unidad experta XR 4.0 por un periodo establecido de tiempo, para la dosis baja 1 h y para la dosis alta 2 h.

**Tabla 3-2** Tiempo de irradiación y tipo de dosis.

Código	Tiempo de irradiación (h)	Tipo de dosis
1-AD	1	Baja
2-AD	2	Alta
1-AC	1	Baja
2-AC	2	Alta
1-P	1	Baja
2-P	2	Alta

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

Para el análisis de degradación, se preparará una muestra extra (muestra cero) y se comparará las muestras fortificadas con la misma, así notaremos si existió algún cambio dependiendo de la solución y/o la dosis de radiación.

### **3.3.1. Según la manipulación o no de la variable independiente**

La investigación experimental consiste en la manipulación de una (o más) variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular (Tiburcio 2022: p.66). Debido a esto la presente investigación experimental se dará debido a la manipulación de 2 variables independientes que son la dosis de radiación en dos niveles (bajo y alto) y del tipo de solución (polar o biológica) en cada tratamiento para estudiar la longitud de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ) y la cantidad de energía dispersa (KeV) de los MPs.

### **3.3.2. Según las intervenciones en el trabajo de campo**

La presente investigación es de estudio transversal al apuntar nuestra variable independiente en la manipulación de diferentes niveles de dosis de radiación y de solución, para poder determinar la degradación de MPs en soluciones polares y biológicas en un momento dado y definido.

### **3.4. Tipo de estudio**

El tipo de estudio de la presente investigación es de campo debido a que los experimentos de laboratorio generalmente logran un control más riguroso, permitiendo el desarrollo de los objetivos los cuales facilitará el comprender y explicar la fenomenología de los efectos de la radiación ionizante en las diferentes concentraciones de MPs en soluciones polares y biológicas.

### **3.5. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra**

#### **3.5.1. Unidad de análisis**

La unidad de análisis de la presente investigación son los MPs de PET disueltos en agua destilada, agua común y plasma, los cuales pueden ser obtenidos como subproducto de actividades industriales o degradación natural en vertederos de basura, recicladoras y aguas residuales.

#### **3.5.2. Población de estudio**

La población de estudio considerada para los MPs de PET fue obtenida de recicladoras de botellas de la ciudad de Riobamba, ya que, se asemejan a los plásticos que se encuentran en descomposición natural en el ambiente.

### 3.5.3. *Tamaño de la muestra*

El tamaño de la muestra será trabajado por conveniencia con 1 mg MPs/ml, considerando que cada solución tiene 5 ml la concentración final será de 5mg.

### 3.5.4. *Selección de la muestra*

Por definición se considera MPs a las partículas poliméricas entre 1  $\mu\text{m}$  y 5 mm (Lusher et al. 2020: p.1053), por lo tanto, se tamizó la muestra triturada y se aceptó a todos los MPs con tamaño inferior a 5 mm.

## 3.6. **Métodos, técnicas e instrumentos de investigación**

### 3.6.1. *Obtención y tamizado de MPs*

**Tabla 3-3** Obtención y tamizado de MPs.

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Materia prima</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Nitrógeno líquido almacenado en un termo criogénico Dewar de 10 L</li><li>• Molino mezclador MM 500 nano</li><li>• Tamiz de malla tejida de alambre con una apertura de malla de 5 mm</li><li>• Tijera</li><li>• Placa de Petri</li><li>• Balanza SF-400</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 2 kg de botellas de plásticos de PET</li></ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Cortar cada botella en cuadrados de 2,25 cm<sup>2</sup>.</li><li>• Colocar los pedazos de botella cortados en los recipientes de molienda del Molino mezclador MM 500 nano.</li><li>• Sumergir los recipientes de molienda en nitrógeno líquido durante 15 min.</li><li>• Moler los pedazos de botella con 8 bolas de acero inoxidable de 20 mm durante 40 min a 35 Hz.</li><li>• Sumergir los recipientes de molienda en nitrógeno líquido durante 15 min.</li><li>• Moler los pedazos de botella con 15 bolas de acero inoxidable de 15 mm durante 40 min a 35 Hz.</li><li>• Sumergir los recipientes de molienda en nitrógeno líquido durante 15 min.</li><li>• Moler los pedazos de botella con 35 bolas de acero inoxidable de 12 mm durante 40 min a 35 Hz.</li><li>• Tamizar los MPs en una malla de 5 mm</li><li>• Recoger y pesar la muestra en una placa Petri.</li></ul>	

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

### 3.6.2. Extracción de sangre

**Tabla 3-4** Extracción de sangre.

Materiales y Equipos	Materia prima
<ul style="list-style-type: none"> <li>• VanTubo® EDTA-K3 de 5 ml</li> <li>• Torniquete</li> <li>• Algodón</li> <li>• Alcohol antiséptico</li> <li>• Aguja de extracción de sangre al vacío de 0,8x38 mm</li> <li>• Bandas adhesivas</li> <li>• Refrigerador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sangre</li> </ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicar la zona de extracción de sangre y desinfectarla con alcohol antiséptico.</li> <li>• Colocar el torniquete en la parte superior de la zona de extracción.</li> <li>• Introducir la aguja en la vena con el bisel hacia arriba.</li> <li>• Recoger 5 ml de sangre extraída en cada VanTubo® EDTA-K3.</li> <li>• Retirar el torniquete del brazo, luego la aguja y limpiar la zona de extracción con una torunda de alcohol.</li> <li>• Colocar una banda adhesiva para cesar el sangrado de la zona de extracción.</li> <li>• Refrigerar las muestras.</li> </ul>	

Fuente: (Chiluza 2020)

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

### 3.6.3. Fraccionamiento sanguíneo

**Tabla 3-5** Fraccionamiento sanguíneo.

Materiales y Equipos	Materia prima
<ul style="list-style-type: none"> <li>• VanTubo® Non Coagulation de 10 ml</li> <li>• Micropipeta de 1000µl</li> <li>• Bd 420104 de diagnóstico dynac III Centrifugadora</li> <li>• Pinza</li> <li>• Refrigerador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestras de sangre con anticoagulante EDTA-K3</li> </ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar las muestras cuidadosamente una enfrente a la otra en cada agujero de la Bd 420104 de diagnóstico dynac III Centrifugadora.</li> <li>• Centrifugar a una velocidad de 3600 rpm por 5 min.</li> <li>• Retirar las muestras de la centrifugadora con ayuda de una pinza.</li> <li>• Transportar 5 ml de plasma con ayuda de Micropipeta de 1000µl a cada VanTubo® Non Coagulation.</li> </ul>	

- Refrigerar las muestras.

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

### 3.6.4. Preparación de muestras fortificadas

**Tabla 3-6** Preparación de soluciones.

Materiales y Equipos	Materia prima
<ul style="list-style-type: none"> <li>• VanTubo® Non Coagulation de 10 ml</li> <li>• Balanza analítica Ohaus Explorer EX 224</li> <li>• Vidrio de reloj</li> <li>• Espátula</li> <li>• Probeta de 25 ml</li> <li>• Micropipeta de 1000 µl</li> <li>• Marcador</li> <li>• Refrigerador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua destilada</li> <li>• Agua común</li> <li>• Plasma</li> <li>• MPs de PET</li> </ul>
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar con ayuda de la espátula 6 muestras de 5 mg de MPs y colocar dentro de los VanTubo® Non Coagulation de 10 ml.</li> <li>• Medir con la probeta 10 ml de agua destilada y colocar usando la pipeta 5 ml en cada VanTubo® Non Coagulation de 10 ml con MPs.</li> <li>• Medir con la probeta 10 ml de agua común y colocar usando la pipeta 5 ml en cada VanTubo® Non Coagulation de 10 ml con MPs.</li> <li>• Medir con la probeta 10 ml de plasma y colocar usando la pipeta 5 ml en cada VanTubo® Non Coagulation de 10 ml con MPs.</li> <li>• Pesar todas las muestras en la balanza analítica Ohaus Explorer EX 224.</li> <li>• Etiquetar con el marcador los recipientes de las muestras fortificadas.</li> <li>• Refrigerar todas las muestras fortificadas.</li> </ul>	

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

### 3.6.5. Armado de la unidad de rayos X

**Tabla 3-7** Armado de la unidad de rayos X.

Materiales y Equipos	Materia prima
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unidad experta XR 4.0 Unidad de rayos X, 35 kV</li> <li>• Inserto de rayos X XR 4.0 con tubo de rayos X de molibdeno</li> <li>• XR 4.0 Condensador de placas de rayos X para máquina de rayos X</li> </ul>	



<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuente de alimentación PHYWE, CC regulada: 0...12 V, 0,5 A; 0...50 V, 50 mA; 0...300 V, 50mA</li> <li>• PHYWE amplificador de medida universal</li> <li>• 2 multímetros digital 2005</li> <li>• Resistencia con conector macho y hembra de 4 mm, 50 MΩ</li> <li>• Adaptador, par BNC macho/jack de 4 mm</li> <li>• 2 cables de conexión, 32 A, 100 mm, azul</li> <li>• 2 cables de conexión, 32 A, 500 mm, rojo</li> <li>• 2 cables de conexión, 32 A, 500 mm, azul</li> <li>• 2 cables de conexión, 32 A, 750 mm, rojo</li> <li>• 2 cables de conexión, 32 A, 250 mm, azul</li> <li>• 1 cable de conexión, 32 A, 250 mm, rojo</li> <li>• Soporte de condensador de placa de rayos X XR 4.0</li> <li>• Banco óptico de rayos X XR 4.0</li> <li>• Rider para experto en bancos ópticos</li> <li>• Regla</li> </ul>	
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar el inserto de rayos X XR 4.0 con tubo de rayos X de molibdeno dentro de la unidad de rayos X.</li> <li>• Colocar el XR 4.0 Condensador de placas de rayos X para máquina de rayos X sobre el soporte de condensador de placa de rayos X XR 4.0</li> <li>• Ubicar el soporte de condensador a 13,18 cm en el rider para experto en bancos ópticos.</li> <li>• Enchufar las placas del condensador en las tomas correspondientes del adaptador con dos cables de conexión.</li> <li>• Conectar desde la regleta de conexiones exterior de la unidad de rayos X, la salida positiva (roja) hacia la salida positiva de la fuente de alimentación PHYWE, CC regulada: 0...12 V, 0,5 A; 0...50 V, 50 mA; 0...300 V, 50mA, con un cable de conexión, a través de la resistencia con conector macho y hembra de 4 mm, 50 MΩ</li> <li>• Conectar desde la regleta de conexiones exterior de la unidad de rayos X con un cable de conexión, la salida negativa (azul) hacia el PHYWE amplificador de medida universal, a través del adaptador, par BNC macho/jack de 4 mm.</li> <li>• Conectar desde el amplificador de medida en la entrada (amarilla) hasta la fuente de alimentación en la entrada DC (azul) debajo de donde marca 300 V y 50 mA con un cable de conexión.</li> <li>• Puentear en la fuente de alimentación desde la entrada positiva (roja) donde marca 300 V y 50 mA hasta la entrada DC (azul) que se encuentra debajo de 0...300 V y 50 mA.</li> <li>• Puentear en la fuente de alimentación desde la entrada DC (azul) debajo de donde marca 300 V y 50 mA hasta la entrada (amarilla).</li> <li>• Conectar los cables de conexión de salida de la fuente de alimentación y del amplificador de medida a un multímetro digital 2005 cada uno.</li> </ul>	

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

### 3.6.6. Calibración de la unidad de rayos X

**Tabla 3-8** Calibración de la unidad de rayos X.

Materiales y Equipos	Materia prima
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unidad experta XR 4.0 Unidad de rayos X, 35 kV</li> <li>• Inserto de rayos X XR 4.0 con tubo de rayos X de molibdeno</li> <li>• XR 4.0 Condensador de placas de rayos X para máquina de rayos X</li> <li>• Fuente de alimentación PHYWE, CC regulada: 0...12 V, 0,5 A; 0...50 V, 50 mA; 0...300 V, 50mA</li> <li>• PHYWE amplificador de medida universal</li> <li>• 2 multímetros digital 2005</li> </ul>	
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encender todos los equipos.</li> <li>• Ajustar el PHYWE amplificador de medida universal en modo de funcionamiento electrómetro, el factor de amplificación 10 y constante de tiempo 0 s.</li> <li>• Ajustar el multímetro digital 2005 en un rango de medición de 2 V en el modo de medición CC.</li> <li>• Elevar la tensión máxima hasta 300 en la fuente de alimentación PHYWE, CC regulada: 0...12 V, 0,5 A; 0...50 V, 50 mA; 0...300 V, 50mA y verificar que el multímetro digital 2005 marque 600 V, sin que el tubo de rayos X funcione.</li> <li>• Reajustar con el regulador cero del amplificador, si se registra un voltaje mayor 0,1 V que corresponde a 1nA.</li> </ul>	

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

### 3.6.7. Medida de volumen de aire ionizado y registro de voltaje

**Tabla 3-9** Medida de volumen de aire ionizado y registro de voltaje.

Materiales y Equipos	Materia prima
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unidad experta XR 4.0 Unidad de rayos X, 35 kV</li> <li>• Inserto de rayos X XR 4.0 con tubo de rayos X de molibdeno</li> <li>• XR 4.0 Condensador de placas de rayos X para máquina de rayos X</li> </ul>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuente de alimentación PHYWE, CC regulada: 0...12 V, 0,5 A; 0...50 V, 50 mA; 0...3000V, 50mA</li> <li>• PHYWE amplificador de medida universal</li> <li>• Tubo contador Geiger-Müller, tipo B con soporte</li> <li>• 2 multímetros digital 2005</li> <li>• Regla</li> <li>• Computador</li> </ul>	
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir las distancias entre el tubo de rayos X de molibdeno y el diafragma, entre el diafragma y el condensador, el largo de los condensadores y el diámetro del diafragma.</li> <li>• Determinar el volumen de aire ionizado en el XR 4.0 Condensador de placas de rayos X para máquina de rayos X, usando las medidas anteriores.</li> <li>• Encender el tubo de rayos X de molibdeno y registrar en 600V en multímetros digital 2005 de la fuente de alimentación PHYWE, CC regulada: 0...12 V, 0,5 A; 0...50 V, 50 mA; 0...3000V, 50mA y un valor diferente de 0,1 V en multímetros digital 2005 del PHYWE amplificador de medida universal.</li> <li>• Registrar el voltaje obtenido del multímetro del amplificador.</li> <li>• Registrar el número de cuentas/s de la unidad de rayos X a través del tubo contador Geiger-Müller, tipo B con soporte con ayuda del computador.</li> <li>• Apagar la unidad de rayos X.</li> <li>• Repetir el proceso 3 veces y promediar los valores con ayuda del computador.</li> </ul>	

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

### 3.6.8. *Proceso de irradiación y filtrado de las muestras fortificadas*

**Tabla 3-10** Proceso de irradiación de las muestras fortificadas.

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Materia prima</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unidad experta XR 4.0 Unidad de rayos X, 35 kV</li> <li>• Soporte para muestras de espuma Flex</li> <li>• Papel filtro</li> <li>• Recipientes transparentes de vidrio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestras fortificadas</li> </ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar las muestras dentro de la unidad experta XR 4.0 Unidad de rayos X, 35 kV con ayuda del soporte para muestras de espuma Flex a la distancia anteriormente calibrada.</li> <li>• Encender el equipo y dejar irradiar tres muestras fortificadas por 1 h para la dosis baja y 3 muestras fortificadas por 2 h para la dosis alta.</li> <li>• Filtrar la solución de las muestras fortificadas y dejar solo los MPs.</li> <li>• Guardar los MPs en los recipientes transparentes de vidrio.</li> </ul>	

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

### 3.6.9. Análisis SEM-EDS

**Tabla 3-11** Análisis SEM-EDS.

Materiales y Equipos	Materia prima
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microscopio electrónico de barrido JSM-IT100</li> <li>• Denton Vacuum Desk V</li> <li>• Portamuestra de aluminio</li> <li>• Cinta adhesiva doble faz de carbono</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestras fortificadas secas</li> </ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pegar todas las muestras fortificadas secas en un extremo de la cinta doble faz y el otro extremo en el portamuestra de aluminio.</li> <li>• Colocar el portamuestra dentro de la cámara de vacío del Denton Vacuum Desk V, configurar el equipo con el punto de ajuste de pulverización catódica de 35 mA, retirar el aire de la cámara de vacío hasta que la presión llegue a <math>6 \times 10^{-2}</math> torr y empezar el proceso de metalizado durante 60 s.</li> <li>• Colocar la muestra metalizada dentro de la cámara de vacío del Microscopio electrónico de barrido JSM-IT100 y configurar la aceleración del haz de electrones del equipo a 15 kV.</li> <li>• Capturar imágenes.</li> <li>• Realizar el análisis EDS de las muestras fortificadas secas.</li> </ul>	

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

### 3.6.10. Análisis de espectroscopia FT/IR

**Tabla 3-12** Análisis de espectroscopia FT/IR

Materiales y Equipos	Materia prima
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectrómetro infrarrojo por Transformada de Fourier Jasco FT/IR-4100</li> <li>• Computador</li> <li>• Brocha</li> <li>• Tela absorbente</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestras fortificadas secas</li> </ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encender el dispositivo presionando el interruptor on.</li> <li>• Ejecutar el software Spectra Manager en el computador conectado al dispositivo de análisis para iniciar el escaneo.</li> <li>• Realizar la limpieza con agua destilada y la tela absorbente en el área de análisis donde se colocará la muestra.</li> <li>• Ejecutar el barrido espectral colocando la muestra en el área destinada para la misma, ajustar el tornillo de ajuste hasta que evidencie fricción, cerrar la compuerta y presionar start.</li> </ul>	

- Procesar el espectro en el computador, identificar y etiquetar los picos más pronunciados para la lectura e interpretación.
- Generar el archivo del espectro y posteriormente guardarlo con formato del mismo programa o formato de un procesador de texto.
- Repetir este proceso por cada muestra.
- Apagar el equipo

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

## CAPÍTULO IV

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

#### 4.1. Cálculo de tasa de dosis absorbida

##### 4.1.1. Determinación de volumen de aire ionizado

La radiación emitida por el tubo de rayos X de molibdeno se emite en forma de cono y está limitada por el diámetro de salida, de tal manera el volumen de aire ionizado se expresa en  $\text{cm}^3$  por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi(x_2 - x_1)}{3}(R^2 + rR + r^2)$$

*Ecuación 4-1 Volumen del cono.*

Donde:

$V$  = volumen de aire ionizado en  $\text{cm}^3$ .

$x_1$  = distancia desde el tubo de rayos X hasta frente de las placas del condensador en cm.

$x_2$  = distancia desde del tubo de rayos X hasta detrás de las placas del condensador en cm.

$r$  = radio frente a las placas del condensador en cm.

$R$  = radio detrás de las placas del condensador en cm.

Los radios  $r$  y  $R$  dependen de la distancia entre el tubo de rayos X y del diafragma además de las distancias  $x_1$  y  $x_2$ .

$$r = \frac{x_1 \cdot d}{x_0}$$

*Ecuación 4-2 Radio frente a las placas del condensador.*

$$R = \frac{x_2 \cdot d}{x_0}$$

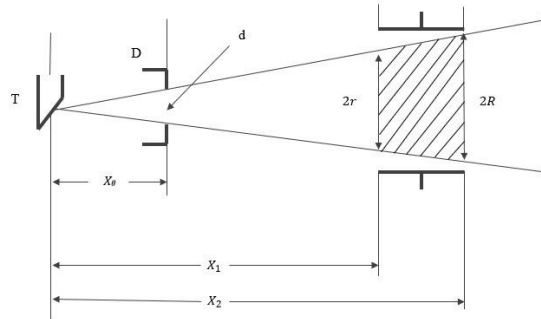
*Ecuación 4-3 Radio detrás de las placas del condensador*

Donde:

$x_0$  = distancia desde el tubo de rayos X hasta la salida de rayos X en cm.

$d$  = diametro del diafragma en cm.

A continuación, se detalla gráficamente la forma de propagación de los rayos X a través de la unidad experta XR 4.0, teniendo en cuenta las distancias desde el tubo de rayos X hasta la zona de aire ionizado. T representa el punto en el cual los electrones son desacelerados al encontrarse con el blanco (placa de molibdeno).



**Figura 4-1** Detalle de distancias para determinar el volumen de aire ionizado.

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

#### 4.1.1.1. Volumen de aire ionizado obtenido

El volumen de aire ionizado se obtuvo a partir del promedio de tres volúmenes con distancias aproximadamente iguales. Se utilizó la unidad experta XR 4.0 sin diafragma (2 cm) para que pueda abarcar todo el contenido de las muestras. Es decir,  $r$  tenía que ser aproximadamente 6 cm.

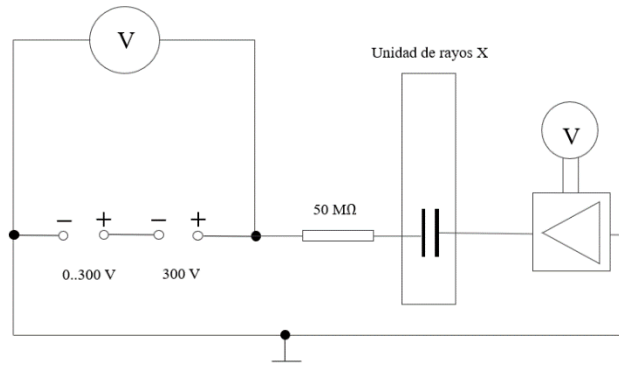
**Tabla 4-1** Volumen de aire ionizado obtenido.

Diafragma: 2 cm						
Repetición	$x_0$ (cm)	$x_1$ (cm)	$x_2$ (cm)	$r$ (cm)	$R$ (cm)	$V$ (cm <sup>3</sup> )
1	6,64	19,83	28,83	5,97	8,68	1535,76
2	6,65	19,81	28,81	5,95	8,66	1528,66
3	6,66	19,85	28,85	5,96	8,66	1529,03
<b>Promedio</b>	6,65	19,83	28,83	5,96	8,67	1531,15

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

#### 4.1.2. Determinación de la corriente de ionización

Los rayos X generan una corriente en el condensador cuando se aplica un voltaje.



**Gráfico 4-1** Diagrama de cableado esquemático para las corrientes de iones.

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

Usando el amplificador de medida se mide el voltaje que cae a través de la resistencia de entrada y amplifica la señal:

$$I_c = \frac{U_{Sig}}{10^8}$$

*Ecuación 4-4* Corriente de ionización.

Donde:

$I_c$  = corriente de ionización en A.

$U_{Sig}$  = señal de voltaje del amplificador en V.

$10^8$  = Constante dada por la resistencia en  $\Omega$ .

#### 4.1.2.1. Señal de voltaje y corriente de ionización obtenida

**Tabla 4-2** Señal de voltaje y corriente de ionización obtenida.

Voltaje de la fuente de alimentación: 600 V		
Repetición	$U_{Sig}$ (V)	$I_c$ (A)
1	1,22	$1,22 \times 10^{-8}$
2	1,22	$1,22 \times 10^{-8}$
3	1,22	$1,22 \times 10^{-8}$
<b>Promedio</b>	1,22	$1,22 \times 10^{-8}$

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

#### 4.1.3. Determinación de dosis de iones

La dosis de iones depende de la corriente de ionización y el volumen de aire ionizado que se encuentra entre las placas del condensador:



$$j_m = \frac{I_c}{m} = \frac{I_c}{\rho_{aire} \cdot V}$$

**Ecuación 4-5** Dosis de iones.

**Donde:**

$j_m$  = dosis de iones en A/kg.

$m$  = masa del volumen de aire ionizado en kg.

$\rho_{aire}$  = densidad del aire igual  $1,29 \times 10^{-6}$  kg/cm<sup>3</sup> (a 20 °C y 1013 hPa).

$V$  = volumen de aire ionizado en cm<sup>3</sup>.

**4.1.4. Determinación de la tasa de dosis absorbida**

A partir de la dosis de iones se obtiene la tasa de dosis absorbida:

$$D_R = \frac{dD}{dt} = \frac{j_m \cdot \Phi}{e}$$

**Ecuación 4-6** Tasa de dosis absorbida.

**Donde:**

$D_R$  = tasa de dosis absorbida en Gy/s.

$D$  = dosis absorbida en Gy.

$j_m$  = dosis de iones en A/kg

$\Phi$  = energía de ionización de una molécula de aire es igual a  $52,8 \times 10^{-19}$  J.

$e$  = carga del electrón igual a  $1,6 \times 10^{-19}$  A·s.

**4.1.4.1. Tasa de dosis absorbida obtenida**

A partir de los valores promedios anteriormente obtenidos, calculamos la tasa de dosis absorbida representada por  $D_R$ .

**Tabla 4-3** Tasa de dosis absorbida obtenida.

V (cm <sup>3</sup> )	$\rho_{aire}$ (kg/ cm <sup>3</sup> )	$j_m$ (A/kg)	$e$ (A·s)	$\Phi$ (J)	$D_R$ (Gy/s)	$D_R$ (Gy/h)
1531,15	$1,29 \times 10^{-6}$	$6,66 \times 10^{-6}$	$1,60 \times 10^{-19}$	$52,8 \times 10^{-19}$	$2,05 \times 10^{-4}$	0,74

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

#### 4.1.4.2. Dosis absorbida por las muestras fortificadas

La dosis absorbida baja para cada muestra fortificada será 0,74Gy y la dosis absorbida alta será 1,48Gy.

**Tabla 4-4** Dosis absorbida por las muestras fortificadas.

Código	D (Gy)
1-AD	0,74
2-AD	1,48
1-AC	0,74
2-AC	1,48
1-P	0,74
2-P	1,48

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

#### 4.2. Cálculo del porcentaje de masa perdida

Es notorio un cambio en la masa inicial de cada muestra fortificada después de ser irradiada por rayos X, por ello, consideramos que la masa del recipiente que mantiene las muestras fortificadas es 14174,4 mg y debe ser restado de la masa medida para obtener  $m_{A1}$  y  $m_{D1}$ , mediante:

$$m_{A1} = m_{A0} - 1417,4$$

*Ecuación 4-7* Masa sin el recipiente antes de irradiar.

$$m_{D1} = m_{D0} - 1417,4$$

*Ecuación 4-8* Masa sin el recipiente después de irradiar.

#### Donde:

$m_{A0}$  = masa con el recipiente antes de irradiar en mg.

$m_{A1}$  = masa sin el recipiente antes de irradiar en mg.

$m_{D0}$  = masa con el recipiente después de irradiar en mg.

$m_{D1}$  = masa sin el recipiente después de irradiar en mg.

La diferencia entre la masa antes y después de ser irradiada es:

$$mp = m_{A1} - m_{D1}$$

*Ecuación 4-9* Masa perdida.

Donde:

$mp$  = masa perdida en mg

$m_{A1}$  = masa sin el recipiente antes de irradiar en mg.

$m_{D1}$  = masa sin el recipiente después de irradiar en mg.

El porcentaje de masa pérdida con relación a la masa de las muestras fortificadas previo a ser irradiadas es obtenida por:

$$PMP = \frac{mp}{m_{A1}} \cdot 100$$

*Ecuación 4-10 Porcentaje de masa perdida.*

Donde:

$PMP$  = porcentaje de masa perdida en %.

$mp$  = masa perdida en mg.

$m_{A1}$  = masa sin el recipiente antes de irradiar en mg.

#### **4.2.1. Porcentaje de masa perdida obtenida**

**Tabla 4-5** Porcentaje de masa perdida obtenida.

Código	$m_{A0}$ (mg)	$m_{A1}$ (mg)	$m_{D0}$ (mg)	$m_{D1}$ (mg)	$mp$ (mg)	PMP (%)
1-AD	19170,5	4996,1	18857,8	4683,4	312,7	6,23
2-AD	19170,2	4995,8	18499,8	4325,4	670,4	13,42
1-AC	19169,7	4998,3	18746,8	4572,4	424,9	8,50
2-AC	19173,4	4999,0	18451,8	4277,4	721,6	14,43
1-P	19446,9	5273,1	19010,2	4835,8	437,3	8,29
2-P	19449,1	5274,7	18724	4549,6	725,1	13,75

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

El porcentaje de masa perdida en cada caso se muestra que depende de la cantidad de dosis absorbida y no del tipo de solución.

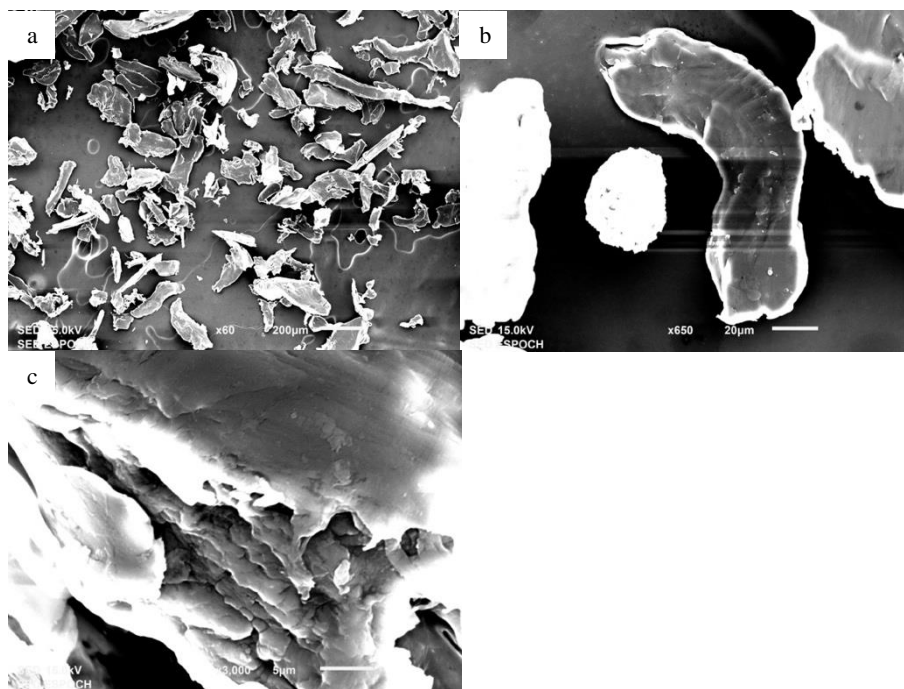
#### **4.3. Análisis SEM-EDS y FT/IR**

El estudio de la morfología de la muestra cero y las 6 muestras fortificadas irradiadas de MPs se realizó en el microscopio electrónico de barrido (SEM), ubicado en los laboratorios de la Facultad de Mecánica, además este cuenta con el análisis de fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDS). Mientras que el estudio de los picos de longitud de onda característicos para

denotar los grupos funcionales y comprobar un cambio en la estructura química se realizó en el espectrómetro infrarrojo por transformada de Fourier (FT/IR), en los laboratorios de la Facultad de Ciencias; todos los análisis se realizaron en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. A continuación, se detallan los resultados en cada caso.

#### 4.3.1. *Muestra cero*

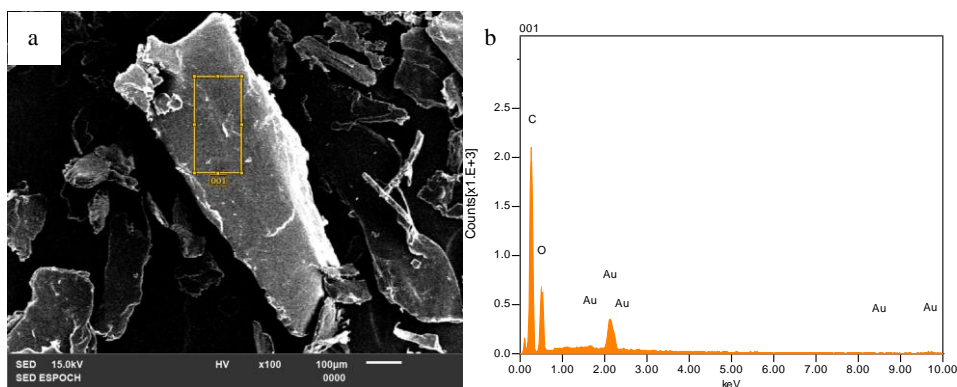
La muestra cero permitió la caracterización morfológica y de composición de todos los MPs previos a ser irradiados en las muestras fortificadas. Se obtuvieron imágenes con escalas de 200  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$  y 5  $\mu\text{m}$  con un lente de x60, x650 y x3000 respectivamente.



**Figura 4-2** a) Imagen de la muestra cero a escala de 200  $\mu\text{m}$  con un lente de x60. b) Imagen de la muestra cero a escala de 20  $\mu\text{m}$  con un lente de x650. c) Imagen de la muestra cero a escala de 5  $\mu\text{m}$  con un lente de x3000.

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

Para el análisis EDS se tomó como muestra un MP tipo fragmento en una escala de imagen de 100  $\mu\text{m}$  con un lente x100.



**Figura 4-3** a) Imagen de la muestra cero escogida para el análisis EDS. b) Análisis EDS de la muestra cero.

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

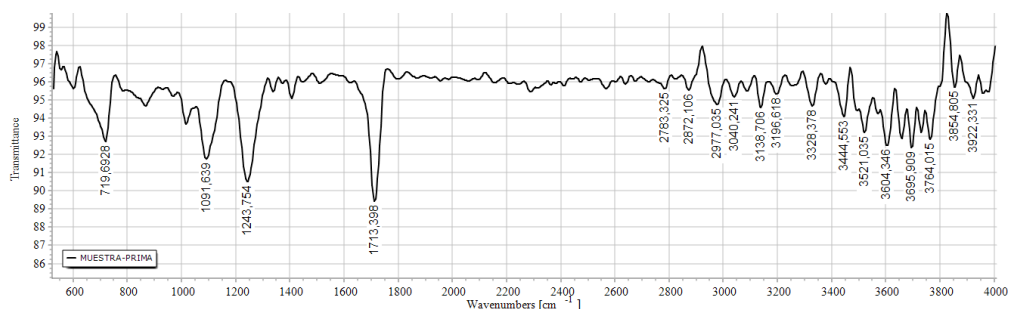
A continuación, se detalla el porcentaje de masa y el porcentaje atómico de cada elemento presente en la muestra de MP:

**Tabla 4-6** Composición química de la muestra prima.

Fórmula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	7,66	69,12	0,04	10685	0,0490025	K
O	4,37	29,61	0,05	3552	0,0172901	K
Au	2,31	1,27	0,04	4595	0,0158554	M
<b>Total</b>	14,35	100,00				

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

En el análisis FT/IR se observa un espectro característico para la muestra cero.



**Gráfico 4-2** Espectro FT/IR de la muestra cero.

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

Se pueden observar los picos característicos correspondientes a la muestra cero que detalla los enlaces químicos que existen en la muestra a partir de la longitud de onda.

**Tabla 4-7** Longitud de onda, porcentaje de transmitancia y asignación de la muestra cero.

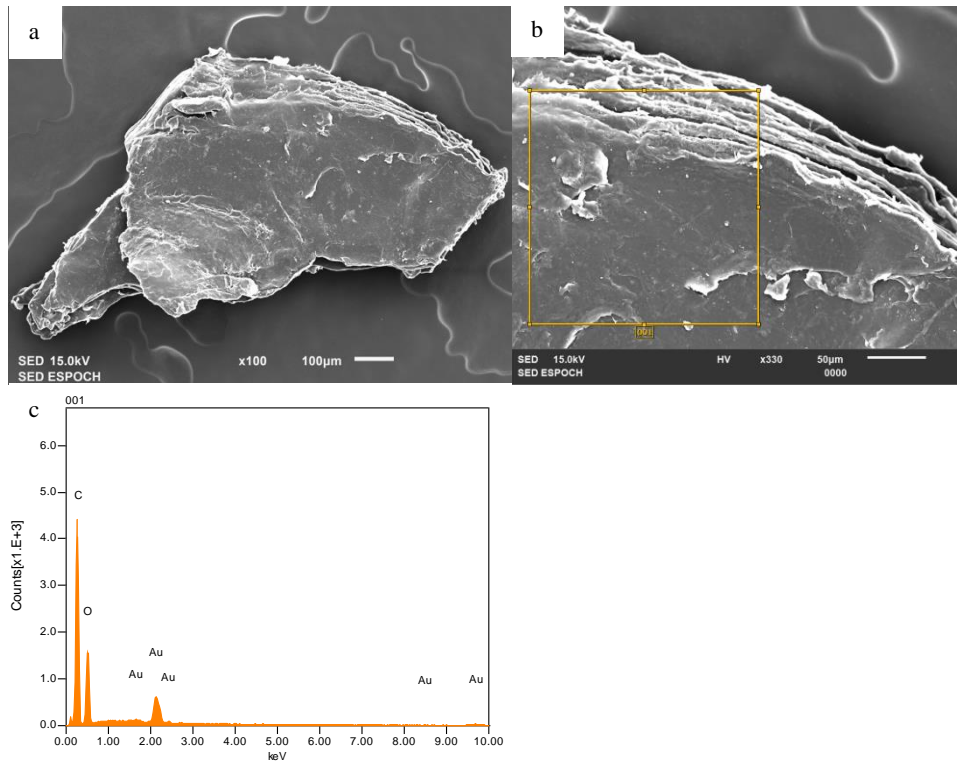
Longitud de onda (cm <sup>-1</sup> )	%T	Asignación
1713,398	89,4273	Alargamiento C=O
1243,754	90,5169	Alargamiento C-O
1091,639	91,7422	Alargamiento C-O
719,6928	92,7292	Flexión CH fuera del plano aromático

**Fuente:** (Veerasingam et al. 2020: p.2697)

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

#### 4.3.2. Muestra I-AD

Con una escala de 100 μm y 50 μm, se realizó dos análisis con un lente de x100 y x330, respectivamente, siendo su voltaje de aceleración de 15 kV. Para el análisis EDS se tomó como muestra un MP tipo escama en una escala de imagen de 50 μm con un lente x330.



**Figura 4-4** a) Imagen de la muestra 1-AD a escala de 100 μm con un lente de x100. b) Imagen de la muestra 1-AD escogida para el análisis EDS. c) Análisis EDS de la muestra 1-AD.

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

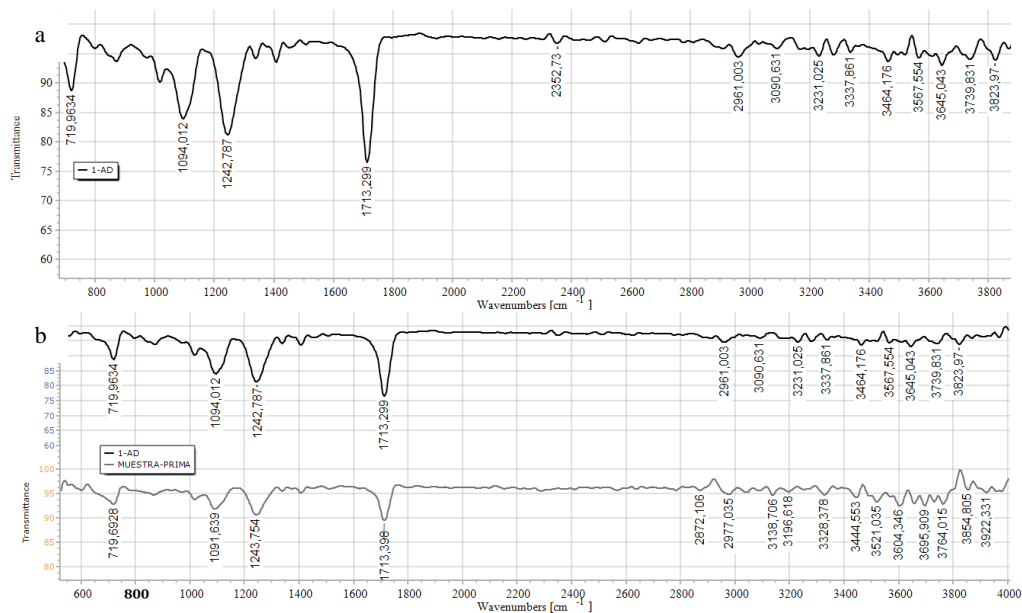
A continuación, se detalla el porcentaje de masa y el porcentaje atómico de cada elemento presente en la muestra de MP:

**Tabla 4-8** Composición química de la muestra 1-AD.

Fórmula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	15.75	66.69	0.06	22123	0.1014577	K
O	10.15	32.24	0.07	8490	0.0413256	K
Au	4.16	1.07	0.06	8200	0.0282943	M
<b>Total</b>	<b>30.06</b>	<b>100.00</b>				

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

En el análisis FT/IR se observa un espectro característico para la muestra 1-AD, el cual se comparó con la muestra cero para denotar cambios.



**Gráfico 4-4** a) Espectro FT/IR de la muestra 1-AD. b) Comparación de los espectros FT/IR de la muestra cero y la muestra 1-AD.

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

Se pueden observar los picos característicos correspondientes al PET que detalla los enlaces químicos que existen en la muestra a partir de la longitud de onda.

**Tabla 4-9** Longitud de onda, porcentaje de transmitancia y asignación de la muestra 1-AD.

Longitud de onda (cm <sup>-1</sup> )	%T	Asignación
1713,299	76,5225	Alargamiento C=O
1242,787	81,2462	Alargamiento C-O
1094,012	83,9646	Alargamiento C-O
719,9634	88,7243	Flexión CH fuera del plano aromático

**Fuente:** (Veerasingam et al. 2020: p.2697)

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

A continuación, se detalla la comparación de los picos característicos con la muestra cero, donde no se nota una variación destacable:

**Tabla 4-10** Comparación longitudes de onda de la muestra cero y la muestra 1-AD.

Muestra prima	Muestra 1-AD
Longitud de onda (cm <sup>-1</sup> )	Longitud de onda (cm <sup>-1</sup> )
1713,398	1713,299
1243,754	1242,787
1091,639	1094,012
719,6928	719,9634

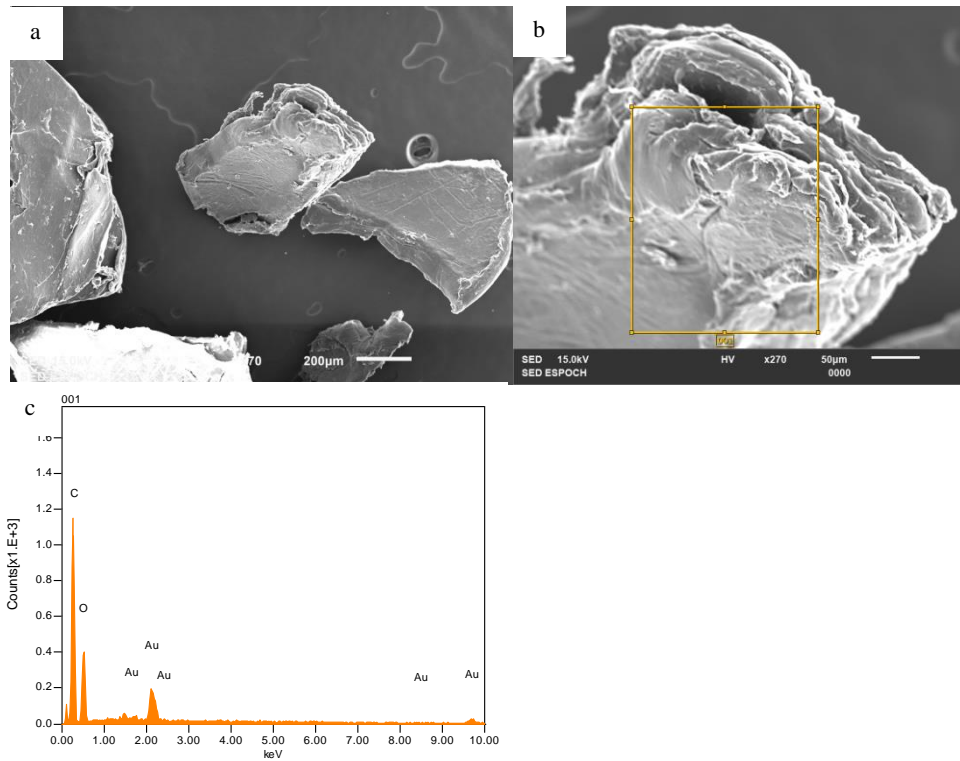
**Fuente:** (Veerasingam et al. 2020: p.2697)

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023



### 4.3.3. Muestra 2-AD

Con una escala de 200µm y 50µm, se realizó dos análisis con un lente de x70 y x270 respectivamente, siendo su voltaje de aceleración de 15 kV. Para el análisis EDS se tomó como muestra un MP tipo escama en una escala de imagen de 50µm con un lente x270.



**Figura 4-5** a) Imagen de la muestra 2-AD a escala de 200 µm con un lente de x70. b) Imagen de la muestra 2-AD escogida para el análisis EDS. c) Análisis EDS de la muestra 2-AD.

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

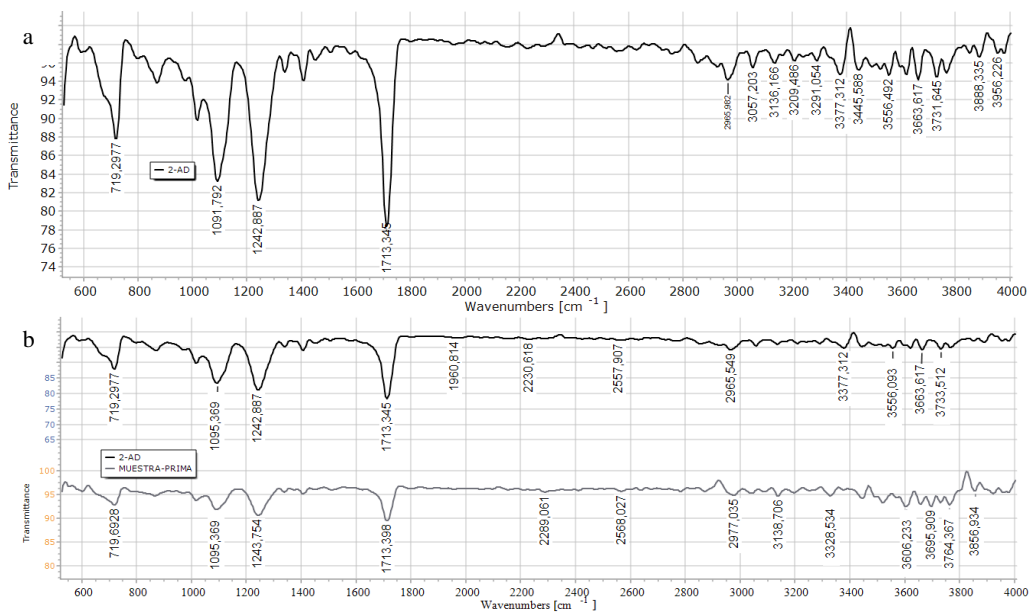
A continuación, se detalla el porcentaje de masa y el porcentaje atómico de cada elemento presente en la muestra de MP:

**Tabla 4-11** Composición química de la muestra 2-AD.

Fórmula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	5.58	66.88	0.04	5684	0.0354530	K
O	3.55	31.88	0.05	2193	0.0145195	K
Au	1.70	1.24	0.04	2466	0.0115711	M
<b>Total</b>	<b>10.83</b>	<b>100.00</b>				

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

En el análisis FT/IR se observa un espectro característico para la muestra 2-AD, el cual se comparó con la muestra cero para denotar cambios.



**Gráfico 4-5** a) Espectro FT/IR de la muestra 2-AD. b) Comparación de los espectros FT/IR de la muestra cero y la muestra 2-AD.

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

Se pueden observar los picos característicos correspondientes al PET que detalla los enlaces químicos que existen en la muestra a partir de la longitud de onda.

**Tabla 4-12.** Longitud de onda, porcentaje de transmitancia y asignación de la muestra 2-AD.

Longitud de onda (cm <sup>-1</sup> )	%T	Asignación
1713,345	78,3749	Alargamiento C=O
1242,887	81,1683	Alargamiento C-O
1091,792	83,2651	Alargamiento C-O
719,2977	87,8344	Flexión CH fuera del plano aromático

**Fuente:** (Veerasingam et al. 2020: p.2697)

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

A continuación, se detalla la comparación de los picos característicos con la muestra cero, donde no se nota una variación destacable:

**Tabla 4-13** Comparación longitudes de onda de la muestra cero y la muestra 2-AD.

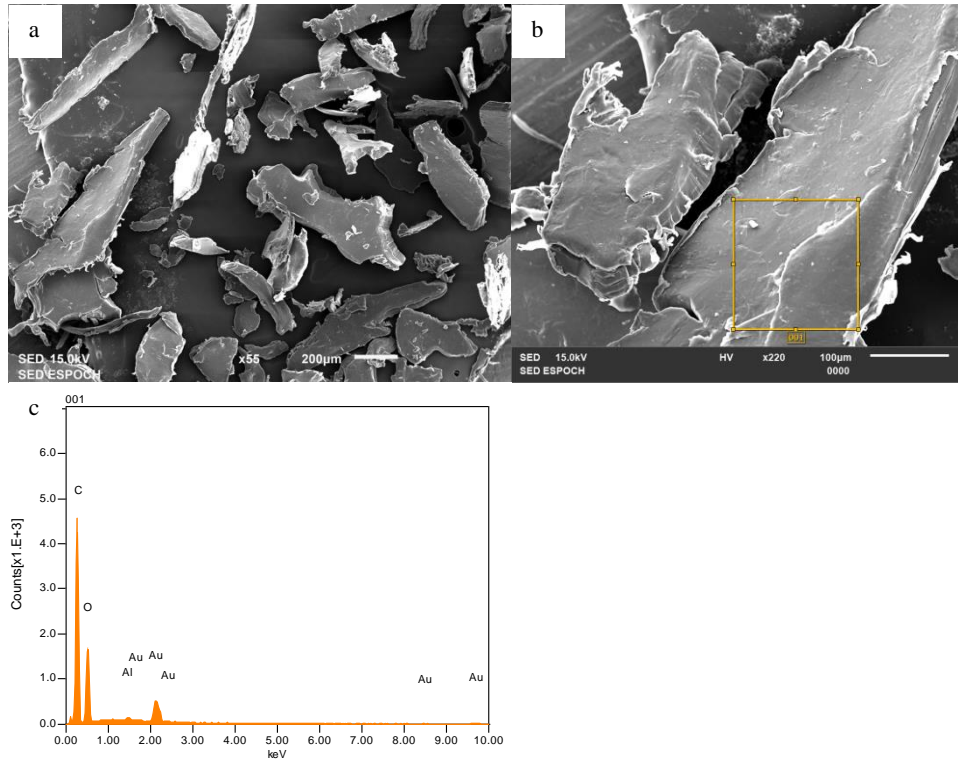
Muestra prima	Muestra 2-AD
Longitud de onda (cm <sup>-1</sup> )	Longitud de onda (cm <sup>-1</sup> )
1713,398	1713,345
1243,754	1242,887
1091,639	1091,792
719,6928	719,2977

**Fuente:** (Veerasingam et al. 2020: p.2697)

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

#### 4.3.4. Muestra 1-AC

Con una escala de 200  $\mu\text{m}$  y 100  $\mu\text{m}$ , se realizó dos análisis con lentes de x55 y x220 respectivamente, con un voltaje de aceleración de 15 kV. Para el análisis EDS se tomó como muestra un MP tipo fragmento en una escala de imagen de 100  $\mu\text{m}$  con un lente x220.



**Figura 4-6** a) Imagen de la muestra 1-AC a escala de 200  $\mu\text{m}$  con un lente de x55. b) Imagen de la muestra 1-AC escogida para el análisis EDS. c) Análisis EDS de la muestra 1-AC.

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

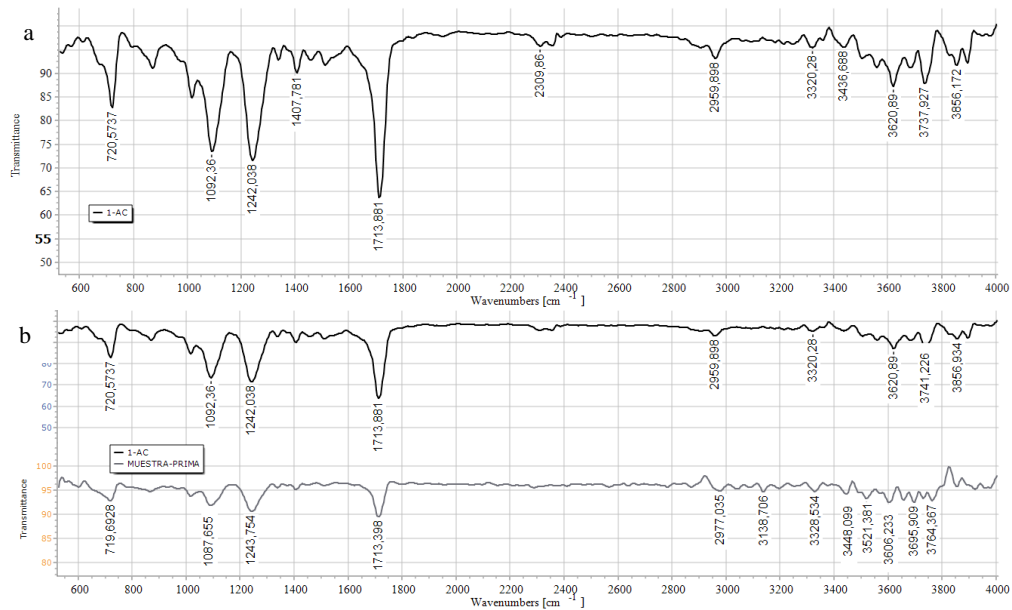
A continuación, se detalla el porcentaje de masa y el porcentaje atómico de cada elemento presente en la muestra de MP:

**Tabla 4-14** Composición química de la muestra 1-AC.

Fórmula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	20.75	66.10	0.08	22955	0.1337464	K
O	13.73	32.82	0.09	9043	0.0559263	K
Al	0.14	0.20	0.01	518	0.0010263	K
Au	4.56	0.89	0.07	7022	0.0307849	M
<b>Total</b>	<b>39.18</b>	<b>100.00</b>				

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

En el análisis FT/IR se observa un espectro característico para la muestra 1-AC, el cual se comparó con la muestra cero para denotar cambios.



**Gráfico 4-7** a) Espectro FT/IR de la muestra 1-AC. b) Comparación de los espectros FT/IR de la muestra cero y la muestra 1-AC.

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

Se pueden observar los picos característicos correspondientes al PET que detalla los enlaces químicos que existen en la muestra a partir de la longitud de onda.

**Tabla 4-15.** Longitud de onda, porcentaje de transmitancia y asignación de la muestra 1-AC.

Longitud de onda (cm-1)	%T	Asignación
1712,881	63,7295	Alargamiento C=O
1242,038	71,4933	Alargamiento C-O
1092,360	73,4808	Alargamiento C-O
720,5737	82,8272	Flexión CH fuera del plano aromático

Fuente: (Veerasingam et al. 2020: p.2697)

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

A continuación, se detalla la comparación de los picos característicos con la muestra cero, donde no se nota una variación destacable:

**Tabla 4-16** Comparación longitudes de onda de la muestra cero y la muestra 1-AC.

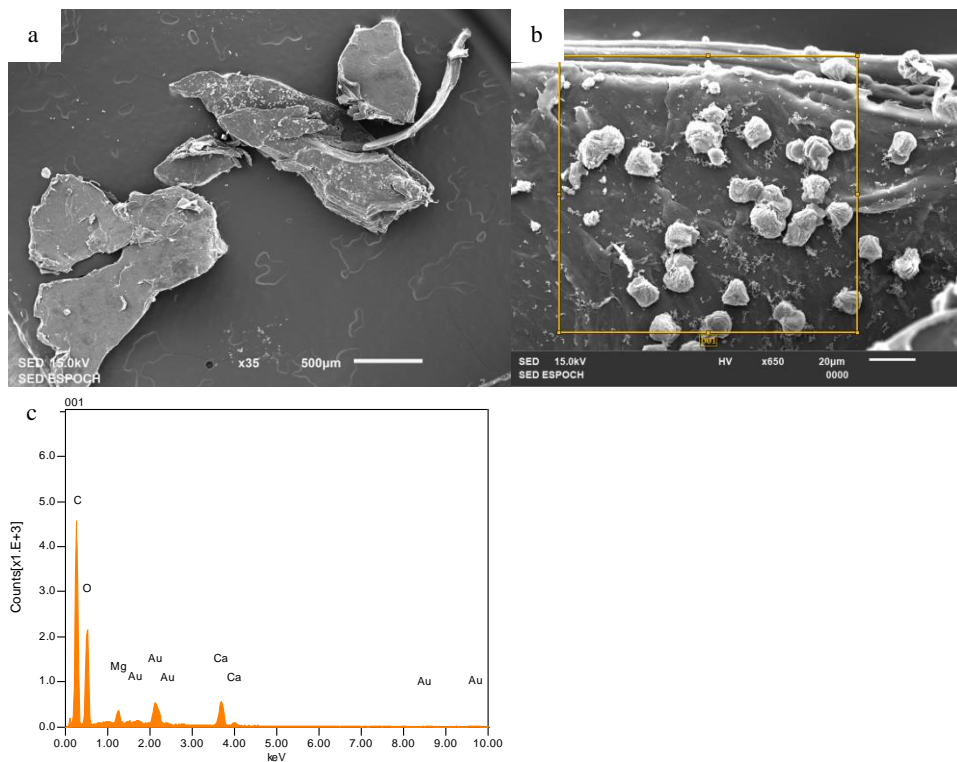
Muestra prima	Muestra 1-AC
Longitud de onda (cm <sup>-1</sup> )	Longitud de onda (cm <sup>-1</sup> )
1713,398	1712,881
1243,754	1242,038
1091,639	1092,360
719,6928	720,5737

Fuente: (Veerasingam et al. 2020: p.2697)

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

#### 4.3.5. Muestra 2-AC

Con una escala de 500 μm y 20 μm, se realizó dos análisis con lentes de x35 y x650 respectivamente, con un voltaje de aceleración de 15 kV. Para el análisis EDS se tomó como muestra un MP tipo escama en una escala de imagen de 20 μm con un lente x650.



**Figura 4-7** a) Imagen de la muestra 2-AC a escala de 500 μm con un lente de x35. b) Imagen de la muestra 2-AC escogida para el análisis EDS. c) Análisis EDS de la muestra 2-AC.

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

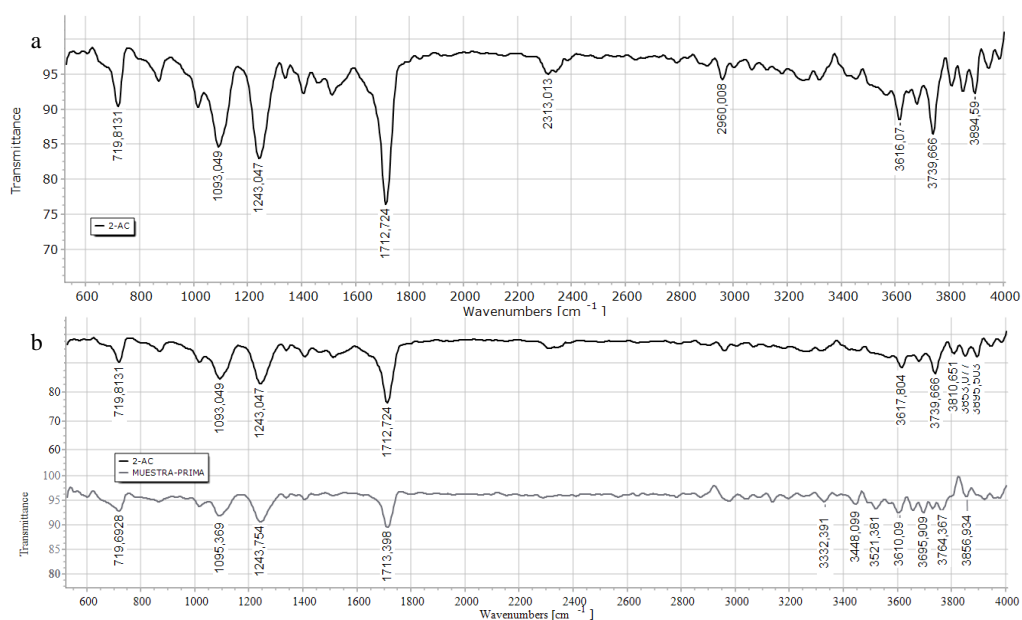
A continuación, se detalla el porcentaje de masa y el porcentaje atómico de cada elemento presente en la muestra de MP:

**Tabla 4-17** Composición química de la muestra 2-AC.

Fórmula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	16.73	59.30	0.07	22562	0.1034695	K
O	13.80	36.74	0.08	11717	0.0570322	K
Mg	0.49	0.86	0.01	1939	0.0030246	K
Ca	2.17	2.31	0.02	6338	0.0224007	K
Au	3.63	0.78	0.05	7003	0.0241635	M
<b>Total</b>	<b>36.82</b>	<b>100.00</b>				

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

En el análisis FT/IR se observa un espectro característico para la muestra 2-AC, el cual se comparó con la muestra cero para denotar cambios.



**Gráfico 4-10** a) Espectro FT/IR de la muestra 2-AC. b) Comparación de los espectros FT/IR de la muestra cero y la muestra 2-AC.

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

Se pueden observar los picos característicos correspondientes al PET que detalla los enlaces químicos que existen en la muestra a partir de la longitud de onda.

**Tabla 4-18.** Longitud de onda, porcentaje de transmitancia y asignación de la muestra 2-AC.

Longitud de onda (cm <sup>-1</sup> )	%T	Asignación
1712,724	76,4135	Alargamiento C=O
1243,047	83,0051	Alargamiento C-O
1093,049	84,646	Alargamiento C-O
719,8131	90,3591	Flexión CH fuera del plano aromático

Fuente: (Veerasingam et al. 2020: p.2697)

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

A continuación, se detalla la comparación de los picos característicos con la muestra cero, donde no se nota una variación destacable:

**Tabla 4-19** Comparación longitudes de onda de la muestra cero y la muestra 2-AC.

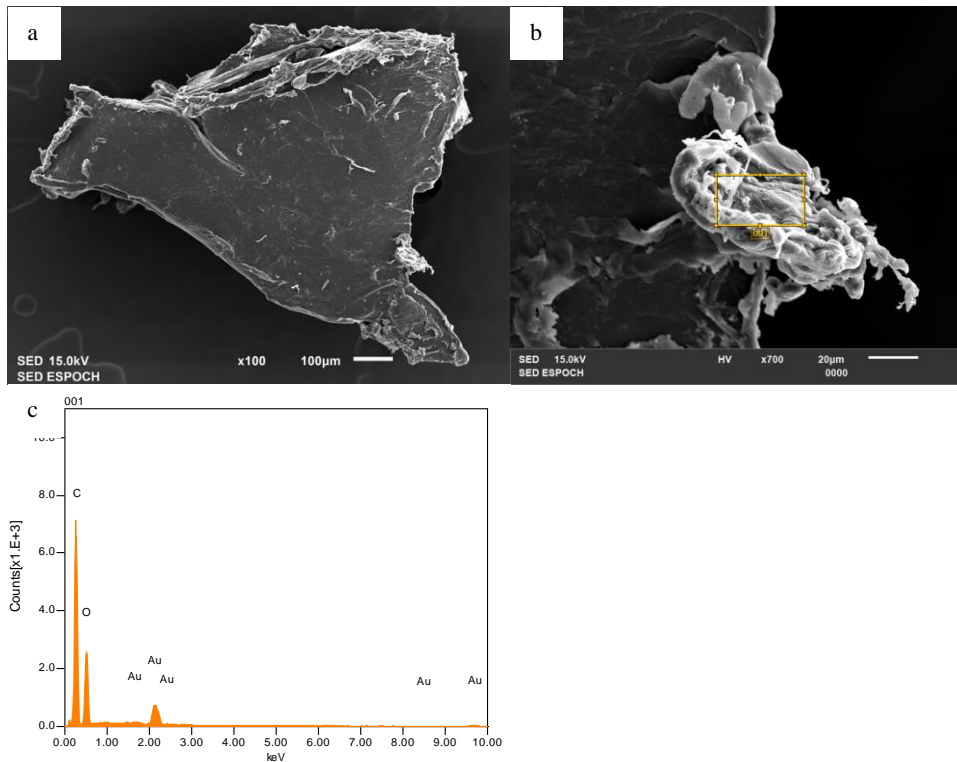
Muestra prima	Muestra 2-AC
Longitud de onda (cm <sup>-1</sup> )	Longitud de onda (cm <sup>-1</sup> )
1713,398	1712,724
1243,754	1243,047
1091,639	1093,049
719,6928	719,8131

Fuente: (Veerasingam et al. 2020: p.2697)

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

#### 4.3.6. Muestra 1-P

Con una escala de 100  $\mu\text{m}$  y 20  $\mu\text{m}$ , se realizó dos análisis con lentes de x100 y x700 respectivamente, con un voltaje de aceleración de 15 kV. Para el análisis EDS se tomó como muestra un MP tipo fibras en los bordes en una escala de imagen de 20  $\mu\text{m}$  con un lente x700.



**Figura 4-8** a) Imagen de la muestra 1-P a escala de 100  $\mu\text{m}$  con un lente de x100. b) Imagen de la muestra 1-P escogida para el análisis EDS. c) Análisis EDS de la muestra 1-P.

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

A continuación, se detalla el porcentaje de masa y el porcentaje atómico de cada elemento presente en la muestra de MP:

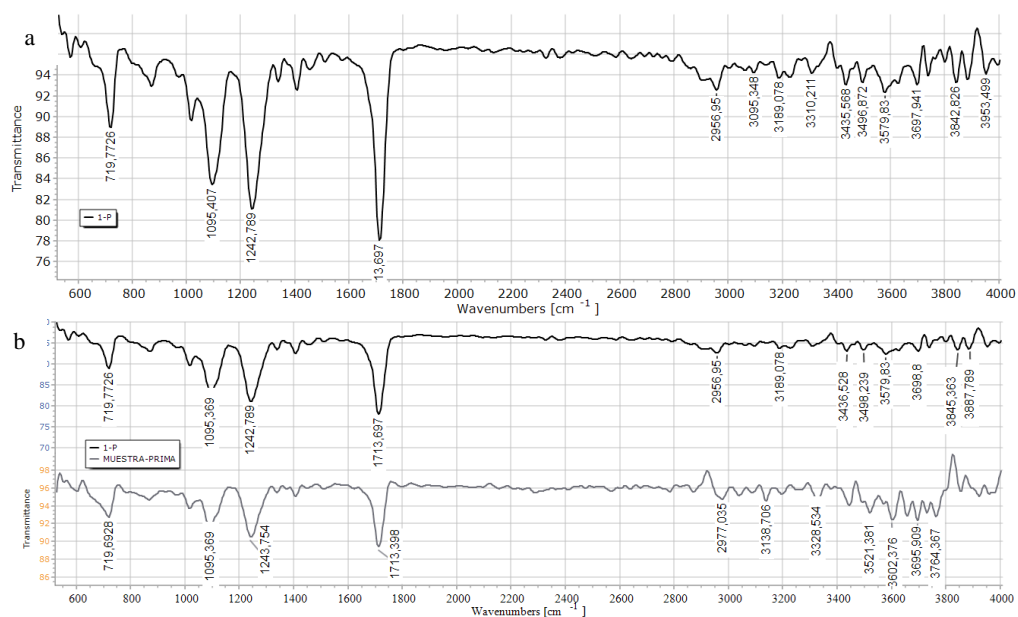
**Tabla 4-20** Composición química de la muestra 1-P.

Fórmula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	25.26	66.65	0.08	36177	0.1659068	K
O	16.39	32.47	0.09	13590	0.0661512	K
Au	5.46	0.88	0.06	10724	0.0370034	M
<b>Total</b>	<b>47.11</b>	<b>100.00</b>				

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

En el análisis FT/IR se observa un espectro característico para la muestra 1-P, el cual se comparó con la muestra cero para denotar cambios.





**Gráfico 4-11** a) Espectro FT/IR de la muestra 1-P. b) Comparación de los espectros FT/IR de la muestra cero y la muestra 1-P.

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

Se pueden observar los picos característicos correspondientes al PET que detalla los enlaces químicos que existen en la muestra a partir de la longitud de onda.

**Tabla 4-21** Longitud de onda, porcentaje de transmitancia y asignación de la muestra 1-P.

Longitud de onda (cm-1)	%T	Asignación
1713,697	78,0757	Alargamiento C=O
1242,789	81,1019	Alargamiento C-O
1095,407	83,4439	Alargamiento C-O
719,7726	88,9638	Flexión CH fuera del plano aromático

**Fuente:** (Veerasingam et al. 2020: p.2697)

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

A continuación, se detalla la comparación de los picos característicos con la muestra cero, donde no se nota una variación destacable:

**Tabla 4-22** Comparación longitudes de onda de la muestra cero y la muestra 1-P.

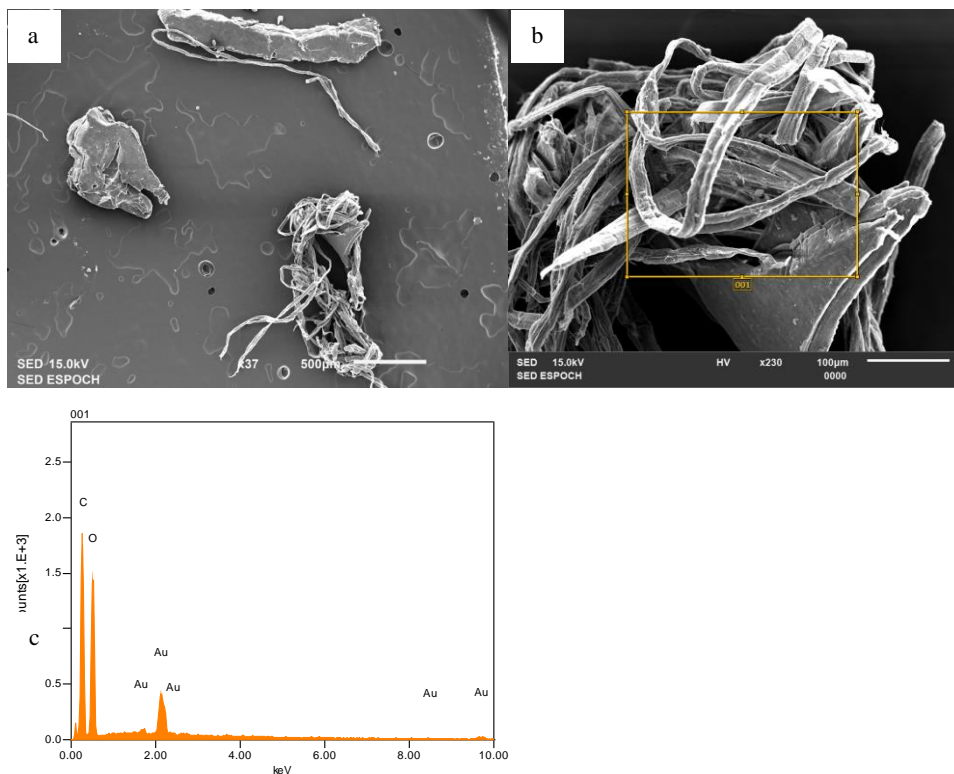
Muestra prima	Muestra 1-P
Longitud de onda (cm <sup>-1</sup> )	Longitud de onda (cm <sup>-1</sup> )
1713,398	1713,697
1243,754	1242,789
1091,639	1095,407
719,6928	719,7726

Fuente: (Veerasingam et al. 2020: p.2697)

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

#### 4.3.7. Muestra 2-P

Con una escala de 500 μm y 100 μm, se realizó dos análisis con lentes de x37 y x230 respectivamente, con un voltaje de aceleración de 15 kV. Para el análisis EDS se tomó como muestra un MP tipo fibras en una escala de imagen de 100 μm con un lente x230.



**Figura 4-9** a) Imagen de la muestra 2-P a escala de 500 μm con un lente de x37. b) Imagen de la muestra 2-P escogida para el análisis EDS. c) Análisis EDS de la muestra 2-P.

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

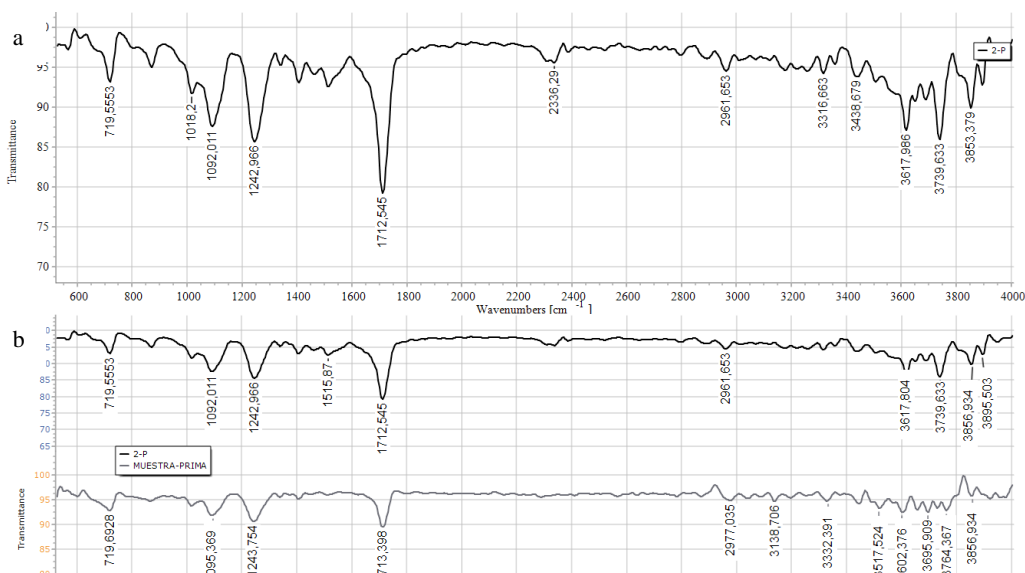
A continuación, se detalla el porcentaje de masa y el porcentaje atómico de cada elemento presente en la muestra de MP:

**Tabla 4-23** Composición química de la muestra 2-P

Fórmula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	7.30	54.41	0.04	9501	0.0435733	K
O	7.91	44.29	0.05	8203	0.0399268	K
Au	2.86	1.30	0.05	5555	0.0191684	M
<b>Total</b>	<b>18.07</b>	<b>100.00</b>				

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

En el análisis FT/IR se observa un espectro característico para la muestra 2-P, el cual se comparó con la muestra cero para denotar cambios.



**Gráfico 4-13** a) Espectro FT/IR de la muestra 2-P. b) Comparación de los espectros FT/IR de la muestra cero y la muestra 2-P.

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

Se pueden observar los picos característicos correspondientes al PET que detalla los enlaces químicos que existen en la muestra a partir de la longitud de onda.

**Tabla 4-24** Longitud de onda, porcentaje de transmitancia y asignación de la muestra 2-P.

Longitud de onda (cm-1)	%T	Asignación
1712,545	79,1934	Alargamiento C=O
1242,966	85,6253	Alargamiento C-O
1092,011	87,5374	Alargamiento C-O
719,5553	93,1541	Flexión CH fuera del plano aromático

Fuente: (Veerasingam et al. 2020: p.2697)

Realizado por: Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

A continuación, se detalla la comparación de los picos característicos con la muestra cero, donde no se nota una variación destacable:

**Tabla 4-25** Comparación longitudes de onda de la muestra cero y la muestra 2-P

<b>Muestra prima</b>	<b>Muestra 2-P</b>
<b>Longitud de onda (cm<sup>-1</sup>)</b>	<b>Longitud de onda (cm<sup>-1</sup>)</b>
1713,398	1712,545
1243,754	1242,966
1091,639	1092,011
719,6928	719,5553

**Fuente:** (Veerasingam et al. 2020: p.2697)

**Realizado por:** Usca, Cristian. Thomé Karla. 2023

#### 4.4. Prueba de hipótesis

En la (Tabla 4-5 Porcentaje de masa perdida obtenida.) se observó que las pérdidas de masa obtenidas de las diferentes muestras son de un promedio de 10,77% teniendo en cuenta que la mayor pérdida de porcentaje de masa se encontró en la muestra 2-AC con un porcentaje de 14,43% considerando que fue irradiada a dosis alta de 1,4 Gy mientras que la muestra con menor pérdida de porcentaje de masa se encontró en la muestra 1-AD con 6,23% tomando en cuenta que fue con dosis baja de 0,7. Entre las muestras fortificadas de agua destilada se ha perdido una diferencia de 7,29% de masa perdida, en el agua común se obtuvo una diferencia de 5,93% de porcentaje de masa perdida y en plasma se obtuvo una diferencia de 5.46% de porcentaje de masa perdida, comprobando la relación de pérdida de masa entre las muestras de una misma solución acuosa irradiadas a dosis baja y alta.

En el análisis morfológico partió con la caracterización de la muestra prima la cual evidencia fragmentos de tipo escama, films y virutas (Godoy Calero 2021). En las muestras irradiadas se observó distintos tamaños y formas de fragmentos de los MPs. En la muestra 1-AD se observó irregularidades en los bordes de tipo escamoso de igual manera en la muestra 2-AD, pero más predominante, expandiéndose a lo largo del MP. En la muestra 1-AC se observó líneas de fracturas aleatorias en la superficie de los MPs y en la muestra 2-AC se observó que en la capa superior del MP se produjo adhesión de pequeñas partículas vistosas aparentemente esféricas. Las muestras de MPs irradiados en plasma evidenció cambios más notorios, en la muestra 1-P se la formaron fibras de tipo hebras con estructura irregular que sobresalen de los bordes del MP y la muestra 2-P completo la formación de fibras de tipo filamento.

En el análisis de composición química mediante el uso de EDS se obtuvo en la muestra prima los principales elementos: carbono (C), oxígeno (O) y oro (Au), siendo este último el material para metalizar las muestras, así que no tienen importancia en el análisis. En general, todas las muestras tienen C y O con porcentajes atómicos aproximados de 60% y 30 % respectivamente que corresponden a la composición normal del PET, sin embargo, en 2 muestras se identificó elementos extras. En la muestra 1-AC se denotó un porcentaje atómico igual a 0,20% de aluminio y en la muestra 2-AC se encontró porcentajes atómicos iguales a 0,86% y 2,17 % de magnesio y calcio respectivamente, estos elementos corresponden a las partículas esféricas en la superficie vistas en el SEM, la adsorción en la capa superficial de estas partículas se puede deber a contaminantes presentes en el agua.

En el análisis FT/IR se pudieron encontrar las distintas bandas vibracionales, donde cada tipo de enlace o grupo funcional corresponde a una vibración molecular obteniendo una longitud de onda característica del MPs de PET, las cuales son 4:  $1712,48\text{ cm}^{-1}$ ,  $1241,93\text{ cm}^{-1}$ ,  $1091,51\text{ cm}^{-1}$ ,  $721,247\text{ cm}^{-1}$  que corresponden al alargamiento C=O, alargamiento C-O, alargamiento C-O y flexión CH fuera del plano aromático respectivamente (Veerasingam et al. 2020: p.2697; Shurvell 2006: p.1785), de los cuales se evidenció en la muestra prima. Al analizar las 6 muestras irradiadas de MPs no se encontró variaciones notorias en los picos principales. Las pequeñas variaciones se encontraron en la muestra 1-AD en los picos de longitud de onda de  $719,96\text{ cm}^{-1}$ ,  $1713,29\text{ cm}^{-1}$ ,  $1094,012\text{ cm}^{-1}$  y  $1242,787\text{ cm}^{-1}$  En la muestra 2-AD se presencié la variación en los picos de longitud de onda  $719,297\text{ cm}^{-1}$ ,  $1095,369\text{ cm}^{-1}$ ,  $1713,345\text{ cm}^{-1}$  y  $1242,887\text{ cm}^{-1}$ . En la muestra 1-AC se presencié la variación en los picos de longitud de  $720,573\text{ cm}^{-1}$ ,  $1092,36\text{ cm}^{-1}$  y  $1713,881\text{ cm}^{-1}$ ,  $1242,038\text{ cm}^{-1}$ . En la muestra 2-AC se presencié la variación en los picos de longitud de  $719,8131\text{ cm}^{-1}$ ,  $1093,049\text{ cm}^{-1}$  y  $1243,047\text{ cm}^{-1}$ . En la muestra 1-P se presencié la variación en los picos de longitud de  $719,772\text{ cm}^{-1}$ ,  $1095,369\text{ cm}^{-1}$ ,  $1713,697\text{ cm}^{-1}$  y  $1242,789\text{ cm}^{-1}$ . En la muestra 2-P se presencié la variación en los picos de longitud de  $719,55\text{ cm}^{-1}$ ,  $1092,011\text{ cm}^{-1}$  y  $1242,966\text{ cm}^{-1}$ . A pesar de tener estas variaciones no son significativas por motivo de que se encuentran dentro del rango de longitud de onda específico del PET, manteniendo sus grupos funcionales y estructura química.

## CONCLUSIONES

- La degradación de MPs mediante radiaciones ionizantes se ha demostrado como una técnica efectiva en la reducción de tamaño, cambio morfológico y la alteración de la estructura química de los microplásticos con altas dosis de radiación. Sin embargo, se requiere un estudio más detallado para evaluar los efectos ambientales y de seguridad de esta técnica. Es importante también tener en cuenta que la degradación completa de los MPs no es posible sin considerar diferentes factores que influyan en la eliminación total de estos contaminantes.
- Los MPs obtenidos mediante trituración de botellas de PET presentaron tamaños  $< 5$  mm. La caracterización morfológica más representativa fue de fragmentos tipo escama, films y virutas. Se prepararon las muestras fortificadas en las mismas condiciones ambientales, volumen y concentraciones de MPs.
- Mediante el uso de un equipo de rayos X se calculó dosis de 0,7 Gy y 1,4 Gy considerando el tiempo de irradiación y distancia desde el tubo de rayos X hasta las muestras fortificadas, permitiendo evaluar la efectividad de las radiaciones ionizantes en la degradación de los MPs. Los resultados obtenidos presentaron disminución de la masa inicial y su contraparte irradiada siendo 7% y 13% en promedio para dosis baja y alta respectivamente. La morfología en las muestras irradiadas cambió presentando irregularidades en los bordes de tipo escamoso en las muestras con solución de agua destilada. Líneas de fracturas aleatorias en la superficie y adhesión de partículas como Al, Ca y Mg en las muestras con soluciones de agua destilada. Formación de fibras de tipo hebras y filamento en las muestras con soluciones de plasma. En el análisis FT/IR se pudieron encontrar las distintas bandas vibracionales, donde las longitudes de onda característica corresponden a PET, las cuales son:  $1712,48\text{ cm}^{-1}$ ,  $1241,93\text{ cm}^{-1}$ ,  $1091,51\text{ cm}^{-1}$  y  $721,247\text{ cm}^{-1}$  sin existir una variación realmente notoria en las muestras irradiadas. Es importante tener en cuenta que estos resultados solo son válidos para las condiciones específicas y pueden variar dependiendo de las condiciones ambientales y las características de los MPs.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener en cuenta el volumen de ionización, ya que, si se utiliza cámaras de ionización, la probabilidad de una sección eficaz de radiación que incide sobre el tubo contenedor puede afectar en diferentes dosis a las muestras alterando la cuantificación de dosis altas y bajas.
- Se recomienda realizar un estudio posterior haciendo énfasis en dosis mayores que eleven los kGy, con el fin de conocer los efectos químicos que pueda causar en las MPs. Por ello, es necesario mantener un adecuado manejo de las muestras irradiadas, ya que pueden convertirse en una fuente de pequeñas trazas radiactiva.
- Para evitar consecuencias biológicas que puedan afectar a nuestro organismo, es deseable un conocimiento previo del manejo de fuentes radiactivas o estar acompañado de un profesor que conozca el manejo correcto de las fuentes radiactivas.
- Se debe tener en importante consideración que al realizar los análisis es necesario el filtrado y secado de las muestras para denotar las longitudes de onda característicos en el FT/IR y poder analizar la morfología en el SEM, y así no puedan alterar los datos obtenidos por consecuencias de presencia de solución.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALFARO-NÚÑEZ, A., ASTORGA, D., CÁCERES-FARIÁS, L., BASTIDAS, L., SOTO VILLEGAS, C., MACAY, K. y CHRISTENSEN, J.H., 2021.** Microplastic pollution in seawater and marine organisms across the Tropical Eastern Pacific and Galápagos. *Scientific Reports*, vol. 11, no. 1. ISSN 20452322. DOI 10.1038/s41598-021-85939-3.

**ATTIX, F.H., 2008.** *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*. S.l.: John Wiley & Sons.

**BILLINGS, P.C., ROMERO-WEAVER, A.L. y KENNEDY, A.R., 2014.** Effect of Gender on the Radiation Sensitivity of Murine Blood Cells. *Gravitational and Space Research*, vol. 2, no. 1, pp. 25-31. ISSN 2332-7774. DOI 10.2478/GSR-2014-0002.

**BOLLAÍN, C. y AGULLÓ, D., 2020.** Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Revista Española de Salud Pública* [en línea], vol. 93, pp. e201908064. [Consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 2173-9110. Disponible en: [www.msc.es/resp](http://www.msc.es/resp).

**BOLLAÍN PASTOR, C. y AGULLÓ, D.V., 2019.** Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Rev Esp Salud Pública* [en línea], vol. 93. [Consulta: 26 octubre 2022]. ISSN 2173-9110. Disponible en: [www.msc.es/resp](http://www.msc.es/resp).

**BRATOVČIĆ, A., 2017.** Degradation of Micro- and Nano-Plastics by Photocatalytic Methods. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology Applications* [en línea], vol. 3, no. 3, pp. 1-9. [Consulta: 24 enero 2023]. DOI 10.18875/2577-7920.3.304. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/337058733\\_Degradation\\_of\\_Micro-and\\_Nano-Plastics\\_by\\_Photocatalytic\\_Methods](https://www.researchgate.net/publication/337058733_Degradation_of_Micro-and_Nano-Plastics_by_Photocatalytic_Methods).

**BROSED, A. y SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FÍSICA MÉDICA, 2011.** *Fundamentos de física médica*. S.l.: Sociedad Española de Física Médica.

**BRUYÈRE, D., SIMON, S., HAAS, H., CONTE, T. y MENAD, N.E., 2016.** Cryogenic ball milling: A key for elemental analysis of plastic-rich automotive shedder residue. *Powder Technology*, vol. 294, pp. 454-462. ISSN 0032-5910. DOI 10.1016/J.POWTEC.2016.03.009.



**CAËR, S. le, 2011.** Water Radiolysis: Influence of Oxide Surfaces on H<sub>2</sub> Production under Ionizing Radiation. *Water 2011, Vol. 3, Pages 235-253* [en línea], vol. 3, no. 1, pp. 235-253. [Consulta: 27 octubre 2022]. ISSN 2073-4441. DOI 10.3390/W3010235. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/3/1/235/htm>.

**CAI, L., WANG, J., PENG, J., WU, Z. y TAN, X., 2018.** Observation of the degradation of three types of plastic pellets exposed to UV irradiation in three different environments. *Science of The Total Environment*, vol. 628-629, pp. 740-747. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/J.SCITOTENV.2018.02.079.

**CAMPBELL, N., MITCHELL, L. y REECE, J., 2001.** BIOLOGÍA: conceptos y relaciones. *CONCEPTOS Y RELACIONES*, vol. 14 reseña, pp. 809.

**CASTAÑETA, G., GUTIÉRREZ, A.F., NACARATTE, F. y MANZANO, C.A., 2020.** MICROPLASTICS: A CONTAMINANT THAT GROWS IN ALL ENVIRONMENTAL AREAS, ITS CHARACTERISTICS AND POSSIBLE RISKS TO PUBLIC HEALTH FROM EXPOSURE. *Revista Boliviana de Química*, vol. 37, no. 3. ISSN 02505460. DOI 10.34098/2078-3949.37.3.4.

**CHERRY JR, R.N., UPTON, A.C., LODDE, G.M. y PORTER JR, S.W., 2012.** RADIACIONES IONIZANTES. *Ch. R. Enciclopedia de la salud y seguridad en el trabajo*,

**CHILUIZA, J., 2020.** *Evaluación de los efectos biológicos causados por diferentes dosis de radiación en sangre periférica*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**ÇOBANOĞLU, H., BELIVERMIŞ, M., SIKDOKUR, E., KILIÇ, Ö. y ÇAYIR, A., 2021.** Genotoxic and cytotoxic effects of polyethylene microplastics on human peripheral blood lymphocytes. *Chemosphere*, vol. 272, pp. 129805. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.129805.

**DERRICKSON, B. y TORTORA, G., 2006.** *Principios de Anatomía y Fisiología*. S.l.: Panamericana.

**DOĞRUYOL, P., ŞENER, M. y BALKAYA, N., 2018.** Determination of microplastics and large plastics in the sediments of the Golden Horn Estuary (Halic), Istanbul, Turkey. [en línea], pp. 24-26. [Consulta: 22 febrero 2023]. DOI 10.5004/dwt.2019.25067. Disponible en: [www.deswater.com](http://www.deswater.com).

**FERNÁNDEZ, S., 2020.** *Diseño de experimentos: diseño factorial* [en línea]. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña. [Consulta: 21 noviembre 2022]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/339723>.

**GALVÍN, R.M., 2008.** Características físicas, químicas y biológicas de las aguas.

**GLEESON, T., BEFUS, K.M., JASECHKO, S., LUIJENDIJK, E. y CARDENAS, M.B., 2015.** The global volume and distribution of modern groundwater. *Nature Geoscience* 2015 9:2 [en línea], vol. 9, no. 2, pp. 161-167. [Consulta: 26 octubre 2022]. ISSN 1752-0908. DOI 10.1038/ngeo2590. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/ngeo2590>.

**GODOY CALERO, V., 2021.** *Origen, caracterización e impacto de los microplásticos presentes en el medioambiente. Aplicación a la provincia de Granada (España)* [en línea]. Granada: Universidad de Granada. [Consulta: 26 octubre 2022]. Disponible en: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/69067>.

**GONZÁLEZ ZAMBRANO, A., 1995.** *Aplicación de los rayos X en la industria como prueba no-destructiva*. San Nicolás de los Garza: Universidad Autónoma de Nuevo León.

**HASHMI, M.Z., 2022.** *Microplastic Pollution: Environmental Occurrence and Treatment Technologies*. S.l.: Springer Nature.

**HENDEE, W.R. y RITENOUR, E.R., 2003.** *Medical imaging physics*. 4. S.l.: John Wiley & Sons.

**KALARONIS, D., AINALI, N.M., EVGENIDOU, E., KYZAS, G.Z., YANG, X., BIKIARIS, D.N. y LAMBROPOULOU, D.A., 2022.** Microscopic techniques as means for the determination of microplastics and nanoplastics in the aquatic environment: A concise review. *Green Analytical Chemistry* [en línea], vol. 3, pp. 100036. [Consulta: 30 octubre 2022]. ISSN 2772-5774. DOI 10.1016/J.GREEAC.2022.100036. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2772577422000350>.

**LERMA, H., 2016.** *Metodología de la investigación: Propuesta, anteproyecto y proyecto*. 5. Bogotá: Ecoe ediciones.

**LESLIE, H.A., VAN VELZEN, M.J.M., BRANDSMA, S.H., VETHAAK, A.D., GARCIA-VALLEJO, J.J. y LAMOREE, M.H., 2022.** Discovery and quantification of plastic particle

pollution in human blood. *Environment International*, vol. 163, pp. 107199. ISSN 0160-4120. DOI 10.1016/J.ENVINT.2022.107199.

**LUSHER, A.L., MUNNO, K., HERMABESSIERE, L., HERMABESSIERE, L. y CARR, S., 2020.** Isolation and Extraction of Microplastics from Environmental Samples: An Evaluation of Practical Approaches and Recommendations for Further Harmonization. *Applied Spectroscopy*, Vol. 74, Issue 9, pp. 1049-1065 [en línea], vol. 74, no. 9, pp. 1049-1065. [Consulta: 26 octubre 2022]. Disponible en: <https://opg.optica.org/abstract.cfm?uri=as-74-9-1049>.

**MAURICE-LIRA, J.V. y VALDEZ-CARRASCO, J.M., 2022.** Rayos X y resonancia magnética en la entomología: principios y aplicaciones. *CIENCIA ergo-sum* [en línea], vol. 29, no. 1. [Consulta: 21 enero 2023]. ISSN 2395-8782. DOI 10.30878/CES.V29N1A8. Disponible en: <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/14522/13086>.

**MÖLLER, J.N., LÖDER, M.G.J. y LAFORSCH, C., 2020.** Finding Microplastics in Soils: A Review of Analytical Methods. *Environmental Science and Technology* [en línea], vol. 54, no. 4, pp. 2078-2090. [Consulta: 27 octubre 2022]. ISSN 15205851. DOI 10.1021/ACS.EST.9B04618/SUPPL\_FILE/ES9B04618\_SI\_001.PDF. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.9b04618>.

**PEÑALVER, R., ARROYO-MANZANARES, N., LÓPEZ-GARCÍA, I. y HERNÁNDEZ-CÓRDOBA, M., 2020.** An overview of microplastics characterization by thermal analysis. *Chemosphere*, vol. 242, pp. 125170. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2019.125170.

**RIVADENEIRA, G., 2013.** *Determinación de valores referenciales del conteo de leucocitos, eritrocitos y plaquetas, hematocrito y hemoglobina, en personas de edades comprendidas entre 18 y 25 años atendidos en el laboratorio clínico de la facultad de ciencias desde el año 2008 al 2012* [en línea]. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [Consulta: 26 octubre 2022]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/2569/1/56T00336.pdf>.

**SALIMI, A., ALAVEHZADEH, A., RAMEZANI, M. y POURAHMAD, J., 2022.** Differences in sensitivity of human lymphocytes and fish lymphocytes to polyvinyl chloride microplastic toxicity. <https://doi.org/10.1177/07482337211065832> [en línea], vol. 38, no. 2, pp. 100-111. [Consulta: 27 octubre 2022]. ISSN 14770393. DOI 10.1177/07482337211065832. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/07482337211065832>.

**SELIM, N.S., DESOUKY, O., ALI, S.M., IBRAHIM, I. y ASHRY, H.A., 2009.** Effect of gamma radiation on some biophysical properties of red blood cell membrane. *Romanian J. Biophys* [en línea], vol. 19, no. 3, pp. 171-185. [Consulta: 27 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/242125099>.

**SHURVELL, H.F., 2006.** Spectra– Structure Correlations in the Mid- and Far-Infrared. *Handbook of Vibrational Spectroscopy* [en línea], [Consulta: 24 enero 2023]. DOI 10.1002/0470027320.S4101. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/0470027320.s4101>.

**SUDPRASERT, W., NAVASUMRIT, P. y RUCHIRAWAT, M., 2006.** Effects of low-dose gamma radiation on DNA damage, chromosomal aberration and expression of repair genes in human blood cells. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, vol. 209, no. 6, pp. 503-511. ISSN 1438-4639. DOI 10.1016/J.IJHEH.2006.06.004.

**TALBOT, R., CÁRDENAS-CALLE, M., MAIR, J.M., LÓPEZ, F., CÁRDENAS, G., PERNÍA, B., HARTL, M.G.J. y UYAGUARI, M., 2022.** Macroplastics and Microplastics in Intertidal Sediment of Vinces and Los Tintos Rivers, Guayas Province, Ecuador. *Microplastics 2022, Vol. 1, Pages 651-668* [en línea], vol. 1, no. 4, pp. 651-668. [Consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 2673-8929. DOI 10.3390/MICROPLASTICS1040045. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2673-8929/1/4/45/htm>.

**TIBURCIO, G., 2022.** *Manual para la elaboración y presentación de anteproyectos, proyectos de investigación y tesis*. S.l.: Universo Sur.

**VEERASINGAM, S., RANJANI, M., VENKATACHALAPATHY, R., BAGAEV, A., MUKHANOV, V., LITVINYUK, D., MUGILARASAN, M., GURUMOORTHY, K., GUGANATHAN, L., ABOOBACKER, V.M. y VETHAMONY, P., 2020.** Contributions of Fourier transform infrared spectroscopy in microplastic pollution research: A review. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1807450> [en línea], vol. 51, no. 22, pp. 2681-2743. [Consulta: 24 enero 2023]. ISSN 15476537. DOI 10.1080/10643389.2020.1807450. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643389.2020.1807450>.

**WANG, P., HUANG, Z., CHEN, S., JING, M., GE, Z., CHEN, Junyan, YANG, S., CHEN, Jinghu y FANG, Y., 2022.** Sustainable removal of nano/microplastics in water by solar energy. *Chemical Engineering Journal*, vol. 428, pp. 131196. ISSN 1385-8947. DOI 10.1016/J.CEJ.2021.131196.

**YUAN, Z., NAG, R. y CUMMINS, E., 2022.** Human health concerns regarding microplastics in the aquatic environment - From marine to food systems. *Science of The Total Environment*, vol. 823, pp. 153730. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/J.SCITOTENV.2022.153730.

**ZHU, J., ZHANG, X., LIAO, K., WU, P. y JIN, H., 2022.** Microplastics in dust from different indoor environments. *Science of The Total Environment*, vol. 833, pp. 155256. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/J.SCITOTENV.2022.155256.



# ANEXOS

## ANEXO A: OBTENCIÓN Y TAMIZADO DE MPS



<b>NOTAS:</b> a) Molino de bolas para la trituración de MPs. b) Plásticos de botellas cortados en trozos.	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b> <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE FÍSICA</b>  ELABORADO POR: Usca Cristian, Thomé Karla	<b>Obtención y tamizado de MPs</b>		
			<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			1	1:1	2022/10/17

**ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DE MPS**

a)



b)



<b>NOTAS:</b> a) Denton Vacuum Desk V  b) Portamuestra de aluminio con muestras cubierta por oro	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b> <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE FÍSICA</b>  ELABORADO POR: Usca Cristian, Thomé Karla	<b>Caracterización de MPs</b>		
			<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			1	1:1	2022/10/17

## ANEXO C: EXTRACCIÓN DE SANGRE

a)



b)



<b>NOTAS:</b> a) Técnico de laboratorio extrayendo sangre. b) Batido de muestras de sangre.	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b> <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE FÍSICA</b>  ELABORADO POR: Usca Cristian, Thomé Karla	<b>Extracción de sangre</b>		
			<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			1	1:1	2023/01/03



## ANEXO D: FRACCIONAMIENTO SANGUÍNEO

a)





b)



<b>NOTAS:</b> a) Equipo centrifugadora con muestras de sangre  b) Funcionamiento de la centrifugadora	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b> <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE FÍSICA</b>  ELABORADO POR: Usca Cristian, Thomé Karla	<b>Fraccionamiento sanguíneo</b>		
			<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			1	1:1	2023/01/03

## ANEXO E: PREPARACIÓN DE MUESTRAS FORTIFICADAS

<p>a)</p> 	<p>b)</p> 								
<p><b>NOTAS:</b></p> <p>a) Colocación de plástico en tubos de en Vantubos</p> <p>b) Pesaje de MPs en cada muestra</p>	<p><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado                      <input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado                      <input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Información                      <input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b></p> <p><b>FACULTAD DE CIENCIAS</b></p> <p><b>ESCUELA DE FÍSICA</b></p> <p>ELABORADO POR: Usca Cristian, Thomé Karla</p>	<p><b>Preparación de muestras fortificadas</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1:1</td> <td>2023/01/06</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	1	1:1	2023/01/06
LÁMINA	ESCALA	FECHA							
1	1:1	2023/01/06							

## ANEXO F: ARMADO DE LA UNIDAD DE RAYOS X

a)



b)



<b>NOTAS:</b> a) Generador de voltaje del equipo de rayos X  b) Conexiones a los multímetros	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b> <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Información  <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE FÍSICA</b>  ELABORADO POR: Usca Cristian, Thomé Karla	<b>Armado de la unidad de rayos X</b>		
			<b>LÁMINA</b> 1	<b>ESCALA</b> 1:1	<b>FECHA</b> 2023/01/16

## ANEXO G: PROCESO DE IRRADIACIÓN DE LAS MUESTRAS FORTIFICADAS

a)



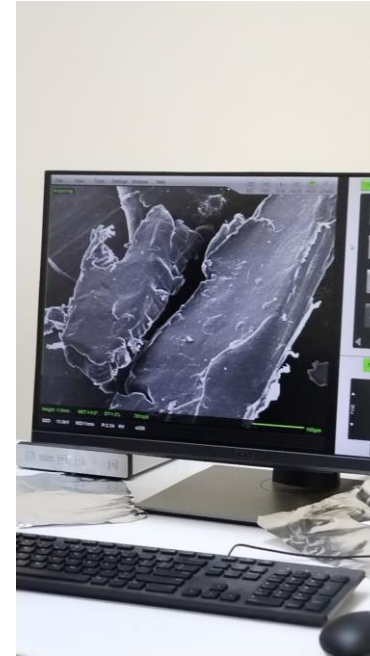
<b>NOTAS:</b> a) Muestras dentro del equipo de rayos X irradiando	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b> <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Información  <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE FÍSICA</b>  ELABORADO POR: Usca Cristian, Thomé Karla	<b>Proceso de irradiación de las muestras fortificadas</b>		
			<b>LÁMINA</b> 1	<b>ESCALA</b> 1:1	<b>FECHA</b> 2023/01/19

**ANEXO H: ANÁLISIS DE ESPECTROSCOPIA FT/IR, SEM/EDS**

a)





b)



<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE FÍSICA</b>	<b>Proceso de irradiación de las muestras fortificadas</b>		
a) Preparación FT/IR	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar		<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
b) Observación de muestras de MPs en el SEM	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar	1	1:1	2023/01/2	
	<input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	ELABORADO POR:			
		Usca Cristian, Thomé Karla			

# ANEXO I: CERTIFICADO DE BIOÉTICA

 <p><b>ESPOCH</b> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO COMITÉ DE BIOÉTICA</p>		<p>Riobamba, diciembre 12 de 2022</p> <p>Señores Cristian Usca Karla Thomé ESTUDIANTES CARRERA DE FÍSICA Presente</p> <p>De mi consideración:</p> <p>Con un saludo cordial y el deseo de bienestar general; en atención al pedido presentado respecto a la certificación para el uso de 200 ml de sangre para la realización de la tesis con el tema: <b>"EFECTOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE EN LA DEGRADACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN SOLUCIONES POLARES Y BOLÓGICAS"</b>, como muestra de solución biológica; al respecto, informo a ustedes que no se requiere la certificación del Comité de Bioética, por no ser una muestra representativa.</p> <p>Particular que informo para los fines pertinentes.</p> <p>Atentamente, "SABER PARA SER"</p> <p> Ing. María Rafaela Viteri Uzcátegui, MSc. PRESIDENTA COMITÉ DE BIOÉTICA ESPOCH</p> <p style="text-align: right; font-size: small;">Dirección: Panamericana Sur km 1, 1/2, Teléfono: 593 (03) 2 998200 ext164</p>							
<p><b>NOTAS:</b> Certificado de Bioética emitido por la Comisión de</p>	<p><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado                      <input type="checkbox"/> Preliminar  <input type="checkbox"/> Certificado                      <input type="checkbox"/> Por aprobar  <input checked="" type="checkbox"/> Información                      <input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE FÍSICA</b></p> <p>ELABORADO POR: Usca Cristian, Thomé Karla</p>	<p><b>Proceso de irradiación de las muestras fortificadas</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9</td> <td>1:1</td> <td>2022/12/17</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	9	1:1	2022/12/17
LÁMINA	ESCALA	FECHA							
9	1:1	2022/12/17							



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 10 / 07 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Cristian Salvador Usca Cargua Karla Nicole Thomé Llerena
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Física
<b>Título a optar:</b> Físico
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



0873-DBRA-UPT-2023