



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA**

**ANÁLISIS DEL PERFIL DE MICROPLÁSTICOS EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE  
GRASA PRESENTE EN LECHE ENTERA, SEMIDESCREMADA Y DESCREMADA**

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

**AUTORES: ANA CECILIA PIÑA PIÑA**

**ANDY JOSUE ROBLES LOAYZA**

**TUTOR: ING. PABLO WILSON ARÉVALO MOSCOSO, PhD.**

Cuenca - Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Nosotros, Ana Cecilia Piña Piña con documento de identificación N° 0107815904 y Andy Josue Robles Loayza con documento de identificación N° 0750573313; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 06 de agosto del 2024

Atentamente,



---

Ana Cecilia Piña Piña

0107815904



---

Andy Josue Robles Loayza

0750573313

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Ana Cecilia Piña Piña con documento de identificación N° 0107815904 y Andy Josue Robles Loayza con documento de identificación N° 0750573313, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo experimental: “Análisis del perfil de microplásticos en relación al contenido de grasa presente en leche entera, semidescremada y descremada”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Biotecnólogo, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 06 de agosto del 2024

Atentamente,



---

Ana Cecilia Piña Piña

0107815904



---

Andy Josue Robles Loayza

0750573313

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Pablo Wilson Arévalo Moscoso con documento de identificación N° 0102156957, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DEL PERFIL DE MICROPLÁSTICOS EN RELACIÓN AL CONTENIDO DE GRASA PRESENTE EN LECHE ENTERA, SEMIDESCREMADA Y DESCREMADA, realizado por Ana Cecilia Piña Piña con documento de identificación N° 0107815904 y por Andy Josue Robles Loayza con documento de identificación N° 0750573313, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 06 de agosto del 2024

Atentamente,



---

Ing. Pablo Wilson Arévalo Moscoso, PhD.

0102156957

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres, Martha y Alejandro, por su guía y amor incondicional. Gracias por estar siempre a mi lado en cada paso que he dado; su apoyo ha sido el pilar fundamental de mi vida. No sería ni estaría donde estoy ahora sin su ayuda y, sobre todo, el inmenso amor que me han brindado. Su confianza en mis capacidades, incluso en los momentos más difíciles, ha sido una fuente constante de fortaleza e inspiración.

A mis hermanos, por su inquebrantable apoyo y compañía. Su presencia constante, paciencia y dedicación han sido invaluable en cada etapa de este viaje. Gracias por su preocupación, atención y cariño diarios. Sus palabras de aliento y su disposición de estar a mi lado han hecho que cada desafío sea más llevadero y cada éxito más significativo.

**Ana Cecilia Piña**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto se lo dedico a mis padres, Wilman Robles y Dora Loayza, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida. Su paciencia, confianza, y los valores que me inculcaron. Les agradezco por darme la oportunidad de superarme, por sus sabios consejos y por el sacrificio constante que hoy se refleja en mi carrera.

A mis abuelos, Hernán Loayza, Dora Ayala, Octavio Robles y Orfa Vivanco, les dedico este trabajo con inmensa gratitud. Gracias por confiar en mí y apoyarme en cada momento, por su atención, cariño y amor incondicional. Su presencia en mi vida ha sido un pilar fundamental, y su apoyo nunca ha pasado desapercibido.

También dedico este logro a mis hermanos, Jeison Robles, Dara Robles y Mayerli Robles, quienes han sido mi alegría y mi motivación para seguir adelante. Su amor y camaradería han sido una fuente constante de inspiración.

A mis queridos sobrinos, Juan Ruiz, Thiago Ruiz y Jayden Parra, les agradezco por llenar mi vida de felicidad y esperanza. Ustedes son una parte esencial de mi razón para esforzarme y alcanzar mis metas.

**Andy Josue Robles**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, Martha y Alejandro, les debo mi más profundo agradecimiento por su guía y amor incondicional, que hicieron posible este logro. Su apoyo constante y sacrificios han sido la base de mi éxito. Gracias por brindarme su confianza y nunca dudar de mis capacidades, incluso en los momentos más difíciles. Han sido mi mayor inspiración y motivación para alcanzar mis metas.

El apoyo inquebrantable de mis hermanos ha sido crucial, siempre estando a mi lado y nunca dejándome sola cuando más los he necesitado. Su compañía y aliento han sido invaluable en cada paso de este camino. Agradezco sus palabras de ánimo, su paciencia y el compartir conmigo tanto los momentos de alegría como los de desafío.

A mis amigos, agradezco su constante apoyo y comprensión. Sus palabras de ánimo, las conversaciones que me ayudaron a despejar la mente y su compañía en los momentos de estrés han sido esenciales.

Mi mejor amiga, que siempre estuvo ahí dándome ánimos para seguir, acompañándome en mis desvelos, creyendo en mí y en cada paso que daba en todo este camino, supo estar de principio a fin a mi lado.

A mi compañero de tesis, Andy, por su paciencia, apoyo y dedicación, por animarme cuando las cosas se ponían difíciles, fuimos un gran complemento.

Los profesores y mentores que me han guiado con su orientación y sabiduría. Su conocimiento compartido y su motivación para dar siempre lo mejor.

A nuestro tutor, Dr. Pablo Arévalo, por su invaluable apoyo, orientación y paciencia a lo largo de todo este proceso.

**Ana Cecilia Piña**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero y, ante todo, agradezco a Dios por haberme guiado a lo largo de este proceso y por no haberme permitido sucumbir ante los obstáculos que se presentaron. Su guía y fortaleza han sido esenciales para alcanzar este logro.

A mis padres, les extiendo mi más profundo agradecimiento por haberme apoyado incondicionalmente durante todo el transcurso de mis estudios. Hoy en día, ese apoyo se refleja en este logro, que comenzó como un sueño aparentemente inalcanzable y que he cumplido con esfuerzo, dedicación y perseverancia.

A toda mi familia, gracias por confiar en mí, por sus palabras de aliento y por estar siempre a mi lado. Sus ánimos me ayudaron en innumerables ocasiones a seguir adelante y a culminar mis estudios con éxito.

A mis amigos y compañeros, con quienes he recorrido este camino, les agradezco por su camaradería, apoyo y por compartir conmigo cada momento de este viaje. Sus amistades han sido un pilar fundamental en mi vida académica y personal.

A mi compañera de tesis, Ana Piña, le agradezco profundamente por su paciencia, colaboración y dedicación en este proyecto.

Finalmente, expreso mi sincero agradecimiento a mi tutor, el Dr. Pablo Arévalo, por su invaluable acompañamiento, enseñanza y paciencia durante la realización de este proyecto. Su orientación y apoyo han sido cruciales para llevar a buen término esta investigación.

**Andy Josue Robles**

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	1
CAPÍTULO I.....	2
INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
1.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	5
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	5
1.4. LIMITACIONES .....	6
1.5. OBJETIVOS .....	7
1.5.1. Objetivo general .....	7
1.5.2. Objetivos específicos:.....	7
1.6. HIPÓTESIS .....	7
CAPÍTULO II.....	8
MARCO TEÓRICO .....	8
2.1. ESTADO DEL ARTE .....	8
2.2. MARCO CONCEPTUAL .....	15
2.2.1. Microplásticos.....	15
2.2.2. Microplásticos primarios.....	15
2.2.3. Microplásticos secundarios.....	16
2.2.4. Nanoplásticos.....	16
2.2.5. Rojo de Nilo (NR) .....	16
2.2.6. Fotoblanqueo .....	16
2.2.7. Bioacumulación.....	17

2.2.8.	<i>Poliestireno</i> .....	17
2.2.9.	<i>Polipropileno</i> .....	17
<b>2.3.</b>	<b>BASES TEÓRICAS</b> .....	<b>18</b>
<b>2.3.1.</b>	<b>LECHE</b> .....	<b>18</b>
2.3.1.1.	<i>Contaminación de la leche</i> .....	19
2.3.1.2.	<i>Evaluación de la Calidad y Estabilidad de Lecha</i> .....	20
2.3.1.3.	<i>Propiedades y Beneficios de la Leche Semidescremada</i> .....	20
2.3.1.4.	<i>Impacto de la Eliminación de Grasa en las Propiedades Nutricionales de la Leche Descremada</i> .....	21
2.3.1.5.	<i>La Importancia Nutricional de la Leche</i> .....	21
<b>2.3.2.</b>	<b>MICROPLÁSTICOS</b> .....	<b>22</b>
2.3.2.1.	<i>Microplásticos primarios</i> .....	23
2.3.2.2.	<i>Microplásticos secundarios</i> .....	23
2.3.2.3.	<i>Riesgos para la Salud Humana por Microplásticos</i> .....	23
2.3.3.1.	<i>Peróxido de hidrogeno</i> .....	24
2.3.3.2.	<i>Transformación de Macromoléculas Orgánicas en Sustancias Biodegradables mediante Procesos Oxidativos Avanzados</i> .....	24
2.3.3.3.	<i>Reacción de Fenton</i> .....	25
2.3.3.4.	<i>Microfiltración</i> .....	26
<b>2.3.4.</b>	<b>TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA MICROPLÁSTICOS</b> .....	<b>26</b>
2.3.4.1.	<i>Microscopia óptica</i> .....	26
2.3.4.2.	<i>Microscopia de fluorescencia</i> .....	27
2.3.4.3.	<i>Microscopia electrónica de barrido</i> .....	28
2.3.4.4.	<i>Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)</i> .....	28
2.3.4.5.	<i>Espectroscopia de Raman</i> .....	30
2.3.4.6.	<i>Integración de Técnicas de Tinción Fluorescente y Espectroscopía: Rojo Nilo</i> .....	30

<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>32</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>32</b>
<b>3.1. NIVEL DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>32</b>
<b>3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>32</b>
<b>3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA</b> .....	<b>33</b>
<b>3.4. VARIABLES</b> .....	<b>34</b>
<b>3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b> .....	<b>34</b>
<b>3.6. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS</b> .....	<b>35</b>
<b>3.7. MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS</b> .....	<b>36</b>
<b>3.8. PROTOCOLO A IMPLEMENTAR:</b> .....	<b>36</b>
<b>3.8.1. COAGULACIÓN DE LA LECHE</b> .....	<b>36</b>
<b>3.8.2. SEPARACIÓN DE LA FASE SÓLIDA DE LA LÍQUIDA</b> .....	<b>37</b>
<b>3.8.3. TRATAMIENTO DE LA FASE LÍQUIDA:</b> .....	<b>37</b>
3.8.3.1. <i>Tamizaje Inicial</i> .....	37
3.8.3.2. <i>Digestión Ácida</i> .....	37
<b>3.8.4. REACCIÓN DE FENTON PARA LA ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA PARA LA FASE LIQUIDA:</b> 38	
3.8.4.1. <i>Adición de Sulfato de Hierro</i> .....	38
3.8.4.2. <i>Calentamiento de la Muestra</i> .....	38
3.8.4.3. <i>Adición de Cloruro de Sodio</i> .....	38
3.8.4.4. <i>Decantación</i> .....	38
3.8.4.5. <i>Eliminación del Sedimento</i> .....	38

<b>3.8.5. TRATAMIENTO DE LA FASE SÓLIDA:</b>	<b>39</b>
3.8.5.1. <i>Secado y Pulverización</i>	39
3.8.5.2. <i>Digestión Ácida</i>	39
3.8.5.3. <i>Dilución y Filtrado Final</i>	39
<b>3.8.6. MICROFILTRACIÓN</b>	<b>39</b>
<b>3.8.7. LAVADO DE FILTROS</b>	<b>39</b>
<b>3.8.8. SECADO DEL FILTRO</b>	<b>40</b>
<b>3.8.9. TEÑIDO</b>	<b>40</b>
<b>3.8.10. ANÁLISIS MICROSCÓPICO</b>	<b>40</b>
<b>3.8.11. CUALIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS</b>	<b>40</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>41</b>
<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS</b>	<b>41</b>
<b>4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS:</b>	<b>41</b>
4.1.1. <i>Análisis de la concentración de microplásticos</i>	41
<b>4.2. ANÁLISIS DE DATOS</b>	<b>45</b>
4.2.1. <i>Comparación de la concentración de microplásticos presentes</i>	45
4.2.2. <i>Comparación de la concentración de fibras presentes</i>	48
4.2.3. <i>Comparación de la concentración de partículas presentes</i>	50
4.2.4. <i>Análisis Estadístico de las Clases de Microplásticos</i>	53
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>57</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>57</b>
5.1. <i>Conclusiones</i>	57
5.2. <i>Recomendaciones</i>	58
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>59</b>



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Variables, Dimensiones e Indicadores que se Utilizarán en el Proyecto. _____	34
<b>Tabla 2</b> Materiales, Equipos, Reactivos y Recurso Humanos Utilizados en el Estudio. _____	36
<b>Tabla 3</b> Prueba de Shapiro-Wilk para la Normalidad en la Concentración. _____	46
<b>Tabla 4</b> Prueba de Kruskal-Wallis de la Concentración Total debido a que no Cumple la Normalidad. _____	47
<b>Tabla 5</b> Prueba de Shapiro-Wilk para la Normalidad en Fibras. _____	49
<b>Tabla 6</b> Prueba de Kruskal-Wallis de la Concentración de Fibras debido a que no Cumple la Normalidad. _____	50
<b>Tabla 7</b> Prueba de Shapiro-Wilk para la Normalidad en Partículas. _____	51
<b>Tabla 8</b> ANOVA para la Comparación de Partículas. _____	52
<b>Tabla 9</b> Prueba de Shapiro Wilk para la Normalidad en las Clases de Microplásticos. _____	54
<b>Tabla 10</b> Prueba de Kruskal-Wallis de las Clases de Microplásticos debido a que no Cumple la Normalidad. _____	54
<b>Tabla 11.</b> Comparaciones Post Hoc utilizando la Prueba de Dunn para Identificar Diferencias Significativas en el Contenido de Nylon entre los Distintos Tipos de Leche. _____	55
<b>Tabla 12</b> Concentración Total de Microplásticos en 200mL. _____	70
<b>Tabla 13</b> Media de la Concentración Total de cada Tipo de Leche según el Contenido de Grasa. _____	71
<b>Tabla 14</b> Número de Fibras y Partículas en cada Muestra. _____	72
<b>Tabla 15</b> Media de la Concentración de Fibras de cada Tipo de Leche según el Contenido de Grasa. _____	73
<b>Tabla 16</b> Media de la Concentración de Partículas de cada Tipo de Leche según el Contenido de Grasa. _____	74
<b>Tabla 17</b> Frecuencia de las Clases de Microplásticos Presentes en las Muestras. _____	74

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figure 1</b> Gráfico de Cajas de la Concentración Total de Microplásticos según el Contenido de Grasa. _____	41
<b>Figure 2</b> Cuantificación de Fibras. _____	42
<b>Figure 3</b> Diagrama de Cajas obtenido de los Datos de las Partículas. _____	43
<b>Figure 4</b> Porcentaje de las Clases de Microplásticos en las Muestras. _____	44
<b>Figure 5</b> Resultados de la Prueba de Kruskal Wallis en Relación con la Concentración Total de Microplásticos. _____	48
<b>Figure 6</b> Resultados de la prueba de Kruskal Wallis en Relación con la Concentración Total de Microplásticos _____	75
<b>Figure 7</b> Muestra de Leche Observada en las 3 Longitudes de Onda. _____	76
<b>Figure 8</b> Determinación del Tamaño de los Microplásticos Observados. _____	76
<b>Figure 9</b> Partícula de Microplástico Observada con Fluorescencia Green en la Muestra de Leche Semidescremada. _____	77
<b>Figure 10</b> Fibras Observadas en Fluorescencia DAPI y Red en la Muestra de Leche Semidescremada _____	77
<b>Figure 11</b> Partículas Observadas en la Muestra de Leche Entera en Fluorescencia Green. _____	78
<b>Figure 12</b> Fibras y Partículas de la Muestra de Leche Entera _____	78
<b>Figure 13</b> Fibra de Gran Tamaño Observada en la Muestra de Leche Entera. _____	79
<b>Figure 14</b> Fibra Observada en la Muestra de Leche Entera que no Presento Fluorescencia, pero en el FTIR se Determinó que era Nailon _____	79
<b>Figure 15</b> Partículas y Fibras de la Leche Entera Visualizadas en DAPI. _____	80
<b>Figure 16</b> Fibra Observada en las 4 Longitudes de Ondas. _____	80
<b>Figure 17</b> Fibra Observada en Campo Claro y Red de la Muestra de Leche Entera _____	81
<b>Figure 18</b> Fibra Observada en DAPI en la Muestra de Leche Descremada. _____	81
<b>Figure 19</b> Fibra Observada en Green en la Muestra de Leche Descremada. _____	82
<b>Figure 20</b> Fibra con Fluorescencia Red en Muestra de Leche Descremada. _____	82
<b>Figure 21</b> Partícula en DAPI de Leche Descremada. _____	83
<b>Figure 22</b> Fibras Observadas en el Agua Milli-Q Destilada y Filtrada en Fluorescencia DAPI. _____	83
<b>Figure 23</b> Espectros Obtenidos Mediante FTIR de la Muestra de Leche Entera. _____	84

<b>Figure 24</b> Espectros Obtenidos en el FTIR de la Leche Semidescremada. _____	85
<b>Figure 25</b> Espectros Obtenidos en el FTIR de la Leche Descremada. _____	86
<b>Figure 26</b> Coagulación de la Leche. _____	87
<b>Figure 27</b> Parte Sólida Obtenida Mediante el Filtrado con la Tela de Lino. _____	87
<b>Figure 28</b> Reacción de Fenton en las Diferentes Muestras. _____	87
<b>Figure 29</b> Equipo de Microfiltración. _____	88
<b>Figure 30</b> Secado de los Filtros a Temperatura Ambiente. _____	88

## RESUMEN

La presente investigación se centra en el análisis del perfil de microplásticos en relación con el contenido de grasa presente en leche entera, semidescremada y descremada. La contaminación por microplásticos (MPs) en alimentos es una creciente preocupación debido a su persistencia en el ambiente y su potencial impacto en la salud humana. Este estudio busca determinar cómo el contenido de grasa en diferentes tipos de leche influye en la concentración y caracterización de los MPs. Para ello, se utilizaron técnicas de microscopía de fluorescencia y espectroscopía infrarroja (FTIR) para analizar la morfología y composición de los MPs presentes en las muestras de leche. Los resultados no indican diferencias significativas en el perfil de MPs entre las distintas muestras, sugiriendo que el contenido de grasa no influye en la concentración y morfología de estos contaminantes. Sin embargo, la clase de leche y el procesamiento pueden influir, ya que el contenido de grasa puede retener algunos tipos de microplásticos. Este estudio proporciona información valiosa para la comprensión de la contaminación por MPs en productos lácteos y su impacto en la seguridad alimentaria.

**Palabras clave:** Microplásticos, leche entera, leche semidescremada, leche descremada, contaminación alimentaria, contenido de grasa, microscopía de fluorescencia, espectroscopía infrarroja.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

## ABSTRACT

The present research focuses on the analysis of the microplastic profile in relation to the fat content present in whole, semi-skimmed and skimmed milk. Microplastic (MPs) contamination in food is a growing concern due to their persistence in the environment and their potential impact on human health. This study aims to determine how fat content in diverse types of milk influences the concentration and characterization of MPs. To this end, fluorescence microscopy and infrared spectroscopy (FTIR) techniques were used to analyze the morphology and composition of the PMs present in the milk samples. The results indicate no significant differences in the profile of PMs among the different samples, suggesting that fat content does not influence the concentration and morphology of these contaminants. However, milk type and processing may have an influence, as fat content may retain some types of microplastics. This study provides valuable information for the understanding of PM contamination in dairy products and its impact on food safety.

**Key words:** Microplastics, whole milk, semi-skimmed milk, skimmed milk, food contamination, fat content, fluorescence microscopy, infrared spectroscopy.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El procesamiento industrial de la leche ha representado un importante avance en la nutrición humana, y su consumo generalizado ha contribuido significativamente a mejorar la salud de la población. Históricamente reconocida como un alimento completo y equilibrado, la leche ofrece una combinación única de nutrientes, proporcionando una densidad nutricional elevada en comparación con su contenido calórico. Tiene proteínas biológicas de alto valor, carbohidratos en forma de lactosa, grasas, vitaminas liposolubles, vitaminas del complejo B y minerales, destacando el calcio y el fósforo. (Hernández Cabria, 2015)

Actualmente, la sociedad y la industria son responsables de la generación mundial de grandes volúmenes de plásticos, que incluyen variedades como el polietileno, el polipropileno, el poliuretano, el cloruro de polivinilo, el tereftalato de polietileno, el poliestireno y la poliamida. Esta producción de plásticos ha experimentado un crecimiento constante año tras año. Los plásticos se han convertido en un componente omnipresente en todas las facetas de la vida moderna, desde el envasado de alimentos hasta la fabricación de indumentaria y juguetes para niños. (Gałęcka et al., 2024)

Las partículas plásticas se clasifican como microplásticos (MP) cuando tienen un tamaño que oscila entre los 5 mm y los 0,1  $\mu\text{m}$ , mientras que aquellas que tienen un tamaño menor de 0,1  $\mu\text{m}$  se denominan nanoplásticos. (Battaglini et al., 2024)

Los microplásticos, caracterizados por su alta superficie específica, tienen la capacidad de absorber contaminantes de preocupación emergente (CEC) como pesticidas y bisfenoles, entre otros. Además, durante su producción, los microplásticos también pueden contener una variedad de contaminantes agregados con el fin de mejorar propiedades como la flexibilidad y otras características de estos materiales. (Lekše et al., 2024)

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

La exposición humana a nanoplasticos y microplasticos (NMP) es una realidad cada vez más alarmante, destacándose la contaminación en alimentos.

Este fenómeno ha atendido a diversos actores, incluyendo gobiernos, organizaciones no gubernamentales, la comunidad científica, el público y los medios de comunicación. Asimismo, los NMP han emergido como un tema relevante en la producción, procesamiento y envasado de alimentos. (Kaseke et al., 2023)

Se señala la posibilidad de que los productos de origen animal estén contaminados incluso antes de su sacrificio. Además, resalta que los materiales utilizados durante diversas etapas del proceso alimentario, como la producción, el procesamiento y el almacenamiento, pueden representar una importante fuente de contaminación para los alimentos. (Prata & Patricia Dias-Pereira, 2023).

La reacción de Fenton y algunas más asociadas implican la interacción de peróxidos, pero el más conocido es el peróxido de hidrogeno ( $H_2O_2$ ), que junto con iones de hierro generan especies activas de oxígeno que oxidan compuestos inorgánicos y orgánicos. H.J.H. Fenton la descubrió en 1894, esta reacción demostró que el peróxido de hidrogeno puede activarse con sales de hierro ferroso, lo que permitía oxidar ácido tartárico. En los últimos años esta reacción permite degradar compuestos orgánicos. (Babuponnusami & Muthukumar, 2014)

Cada técnica de procesamiento establece requisitos específicos para las técnicas de envasado a utilizar. En términos de valor nutritivo, sabor y apariencia, la leche es más afectada por la duración del tratamiento térmico que por la temperatura en sí. El tratamiento de larga vida mediante el método UHT (Ultra High Temperature) se basa en la premisa de que una temperatura más elevada permite reducir el tiempo de procesamiento. (Espinoza Z., 2001)

Para evaluar la morfología, cantidad y masa de los microplásticos se emplea comúnmente un microscopio de fluorescencia. Sin embargo, este tipo de microscopio no

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

permite determinar la composición química de los MP. (Liu et al., 2022). Estos métodos de tinción fluorescente se han utilizado para investigar la presencia, el movimiento y los efectos tóxicos de los MP, y su aplicación se complementa frecuentemente con otras técnicas de análisis químico. Estas técnicas se utilizan para identificar polímeros recolectados mediante clasificación visual (Hanvey et al., 2017).

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

En las últimas décadas, la contaminación por microplásticos se ha convertido en una preocupación ambiental global debido a su persistencia en el ambiente y su potencial para afectar negativamente la salud humana y la vida silvestre.

Recientes estudios han empezado a detectar microplásticos en alimentos, lo que ha generado una alarma sobre la seguridad alimentaria y la exposición a estas partículas a través de la dieta. La leche, como uno de los productos de consumo masivo, no está exenta de esta problemática.

Winiarska et al, (2024) mencionan que los plásticos tienen una limitada capacidad de biodegradación contribuye a un notable nivel de contaminación ambiental.

Los nanoplásticos y los microplásticos pueden entrar en el cuerpo humano por diferentes vías: pueden ser inhalados y entrar por el sistema respiratorio, ingeridos a través del consumo de alimentos y agua contaminados, o pueden penetrar la piel mediante el contacto con productos cosméticos y textiles. Debido a su tamaño, los microplásticos pueden ser capturados mediante distintos mecanismos de captación como la fagocitosis o la endocitosis. Así, estos pueden ser absorbidos en el tracto gastrointestinal (TGI) por persorción a través de los intersticios del tracto o mediante endocitosis a través de los parches de Peyer en el intestino delgado, pasando al sistema circulatorio (Martínez, s. f.).

La acumulación de estos plásticos en el organismo humano puede llevar a diversos problemas de salud, como trastornos respiratorios que incluyen cáncer de pulmón, asma y

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

neumonitis por hipersensibilidad; problemas neurológicos como fatiga y mareos; enfermedades inflamatorias del intestino; e incluso puede afectar el microbiota intestinal. (Winiarska et al., 2024)

A pesar de la relevancia del tema, hay poca información sobre cómo el contenido de grasa en diferentes clases de leche (entera, descremada y semidescremada) puede influir en la concentración y caracterización de los microplásticos presentes. Dado que la presencia de grasa varía según el tipo de leche, es crucial entender si estos factores contribuyen a la variabilidad en el perfil de los microplásticos.

Por ende, resulta crucial implementar técnicas más adecuadas para detectar y medir los microplásticos en las muestras de leche. Esta investigación aportará un entendimiento más profundo del impacto de estos contaminantes en la seguridad alimentaria. Este estudio proporcionará información esencial sobre la prevalencia de la contaminación y los peligros relacionados, facilitando la formulación de estrategias eficientes para su manejo.

## **1.2. Pregunta de investigación**

¿Cómo difiere el perfil de microplásticos presente en las muestras de leche con diferentes contenidos de grasa?

## **1.3. Justificación**

En los últimos años se está identificando una creciente cantidad de microplásticos (MP), en los alimentos de consumo humano, entre los que destaca la leche. Según varios estudios indican que los alimentos procesados presentan mayor susceptibilidad a contener MP, la contaminación puede ser generada durante el procesamiento y envasado de los productos. (Lin et al., 2022). Por este motivo la investigación se basa en comparar tres clases de leche: entera descremada y semidescremada, con la finalidad de descubrir si el proceso de producción afecta el perfil de microplásticos.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

Según estudios realizados a productos de origen animal tenemos que los microplásticos pueden ser introducidos mediante diversos procedimientos. Por ejemplo, el proceso de filtración de la leche, diseñado para eliminar contaminantes biológicos, puede disminuir el impacto de MP o servir como fuente de fibras sintéticas. Estudios recientes indican que la leche que es sometida a un mayor procesamiento presenta concentraciones altas de microplásticos, como es el caso de la leche en polvo que contenía niveles altos de MP en comparación con la leche proveniente de la granja. (Prata & Patricia Dias-Pereira, 2023)

Desde un punto de vista teórico comparar el perfil de microplásticos en estas tres clases de leche nos permite proporcionar información esencial sobre la exposición humana a estos contaminantes, lo cual, tiene efectos graves en el organismo. Los resultados de esta investigación ayudarán a determinar si el proceso de producción es un factor que afecta el perfil de MP.

La identificación de microplásticos en la leche puede ser de beneficio en varios ámbitos como, por ejemplo: los consumidores accederán a información esencial sobre la seguridad y la calidad de los productos a consumir, se establecieron medidas más rigurosas por parte de las entidades reguladoras, las industrias mejoran sus métodos para garantizar la calidad de sus productos, y servirá como base para un estudio más profundo acerca de la presencia de estos contaminantes.

#### **1.4. Limitaciones**

- No se pudo trabajar con múltiples marcas por limitaciones financieras y muchas marcas de leche disponibles en el mercado. Por lo tanto, se decidió trabajar con una sola marca de leche, basándonos en su disponibilidad.
- Aunque se lograron importantes avances y se obtuvieron resultados significativos, la limitación de tiempo impuesta para la realización del proyecto fue un desafío considerable.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

Comparar el perfil de microplásticos presentes en diversas muestras de leche con diversos contenidos de grasa mediante técnicas de laboratorio, comprobando cómo influye el contenido de grasa.

### **1.5.2. Objetivos específicos:**

- Analizar la morfología de los microplásticos encontrados en los distintos contenidos de grasa utilizando técnicas de microscopía de fluorescencia, relacionando la influencia de la grasa.
- Cuantificar la concentración de microplásticos en las muestras de leche con los diferentes contenidos de grasa empleando análisis cuantitativos por microscopía invertida de fluorescencia, estableciendo si la presencia de grasa influye en este parámetro.
- Determinar las diferentes clases de microplásticos presentes en las muestras de leche con variados contenidos de grasa, mediante la utilización de la Espectroscopía por Transformada de Fourier de Infrarrojo (FTIR), relacionando la influencia del contenido de grasa.

## **1.6. Hipótesis**

Existe una diferencia significativa en el perfil de microplásticos en las muestras de leche entre los distintos contenidos de grasa, entonces el porcentaje de grasa influye en este aspecto.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Estado del arte

En los últimos años, la contaminación causada por residuos de los plásticos representa un problema global, al ser persistentes en diversos entornos han llamado la atención de la comunidad científica. Varios estudios indican que algunos de los alimentos de consumo humano son fuente de microplásticos, entre los que destaca: Mariscos, vino, carne, frutas y productos lácteos, estos últimos serán en lo que basaremos nuestra investigación. A continuación, algunos estudios que indican la presencia de microplásticos en leche. (Kadaczapska et al., 2024)

De acuerdo Díaz-Basantes et al., (2020) los microplásticos (MPs) son partículas de desechos plásticos que generalmente miden menos de 5 mm, aunque no hay una definición internacional precisa sobre su tamaño mínimo, se considera que tienen un tamaño mínimo de 1  $\mu\text{m}$ . Estos microplásticos se acumulan extensamente en el medio ambiente, tanto en entornos marinos y de agua dulce como en suelos y aguas residuales. Se han encontrado en una variedad de alimentos destinados al consumo humano, desde carne de aves de corral hasta bebidas como el agua embotellada y la leche. Sin embargo, la detección de estos microplásticos en el medio ambiente y en los alimentos presenta importantes desafíos analíticos debido a la necesidad de métodos sensibles y específicos. A pesar de los avances en la metodología de investigación, muchos métodos actuales aún no son lo suficientemente sensibles o específicos para identificar microplásticos de tamaño pequeño ( $<20 \mu\text{m}$ ) o para distinguir entre partículas orgánicas y microplásticos. Recientemente, se ha desarrollado y validado una nueva metodología para extraer y detectar microplásticos en muestras de leche de vaca.

En el siguiente artículo de Lin et al., (2022) destaca que los microplásticos son un riesgo que se encuentra en diversos entornos ambientales y en ciertos alimentos humanos como:

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

mariscos, verduras, arroz, frutas, y otros alimentos procesados que incluyen a la leche, generando inquietudes acerca de la seguridad alimentaria. Se han planteado los posibles efectos adversos como: alteraciones reproductivas, daño hepático y trastornos gastrointestinales según estudios realizados en animales.

En esta revisión Prata & Patricia Dias-Pereira, (2023), indica que existe la posibilidad de que los productos de origen animal ya estén contaminados en el momento del sacrificio, pero los materiales que entran en contacto con los alimentos durante el proceso de: producción, procesamiento, almacenamiento entre otros, representan una fuente de contaminación. Por ejemplo, la leche que fue sometida a un procesamiento mayor en sus resultados se demostró que la concentración de microplásticos era elevada en comparación con las muestras de leche proveniente de una granja.

En este estudio Banica et al, (2024) explican que los microplásticos presentes en los productos lácteos, en este caso el yogurt es por las actividades humanas en las que están incluidas, transporte de la leche cruda, procesos de producción y el envasado de los productos lácteos, los equipos de protección que son usados por el personal, también se estudió las condiciones climáticas y la contaminación antropogénica. También se menciona que los MP presentes en las muestras pueden actuar como vectores de otros contaminantes. Para investigar la presencia se usó técnicas analíticas como la espectroscopia de infrarrojo por transformada de fourier y la microscopía óptica.

En este análisis Costa Filho Paulo et al. (2021) describe que la creciente preocupación por la presencia de nano y microplásticos (NMP) en alimentos, especialmente en productos lácteos, ha generado un interés cada vez mayor. Existe una amplia gama de productos lácteos, desde leche desnatada hasta leche de fórmula infantil, contiene NMP con diferentes tamaños y concentraciones. Se ha observado que estos NMP interactúan con nutrientes como proteínas, carbohidratos y grasas, alterando la manera en que el cuerpo procesa y absorbe estos

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

componentes vitales. Además, la presencia de NMP en el tracto gastrointestinal puede afectar el metabolismo de lípidos, proteínas, glucosa, hierro y energía, potencialmente aumentando el riesgo de diversas condiciones de salud. Aunque también se ha detectado la migración de oligómeros plásticos a los alimentos, se requiere más investigación para comprender completamente su impacto en la salud humana. Esta revisión destaca la importancia de explorar nuevas direcciones en la investigación sobre NMP y su influencia en la digestión, absorción y salud de los nutrientes.

Shruti et al., (2020) en este artículo destaca que los productos en la industria de bebidas son relevantes para el estudio de microplásticos debido a dos razones. Primero, generalmente el producto obtenido es un líquido, el cual contiene agua como componente principal. Segundo los ingredientes provenientes de la agricultura tales como: trigo, azúcar, cebadas, entre otros, durante su proceso de producción requieren de agua, Como en varios estudios se demostró que el agua dulce es una gran fuente de contaminación por MP, entonces suponen que las bebidas comerciales también transfieren estos contaminantes.

Lievens et al., (2022) En este artículo explican que el uso de plásticos para empaquetar, transportar y conservar alimentos: verduras, frutas, pescados, entre otros, debido a esto existe la presencia de microplásticos en estos productos. En la industria alimentaria (restaurantes, supermercados, etc.) los residuos de comida contienen plásticos, aunque los servicios de gestión de residuos se encargan de recolectar y realizar una separación automática del plástico, no es muy eficiente, por este motivo se encuentran partículas plásticas en estos residuos alimenticios.

Los microplásticos en la biota comúnmente son obtenidos diseccionando organismos y separando hígados, branquias y tripas. La separación por densidad es usualmente empleada para extraer MP de las matrices de la muestra. La digestión química se usa para disolver otros materiales orgánicos y aislar los MP, para facilitar su identificación. La clasificación visual

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

debe ser complementaria con un análisis de composición química para la identificación correcta del tipo de polímero. Actualmente, entre las principales tecnologías utilizadas para identificar partículas plásticas se encuentran: cromatografía de gases por pirólisis o descomposición térmica acoplada a la espectrometría de masas, espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR) y la espectroscopía de Raman. (Mai et al., 2018)

Como menciona Zuri et al., (2023) La contaminación por microplásticos se da en diversos entornos: agua, aire y en los suelos. Aquellos que provienen de desgaste de neumáticos, productos plásticos, procesos de reciclaje permanecen en el aire. En cambio, en los suelos y en el agua una deficiente gestión de residuos provoca la contaminación, cuando se producen en ambiente acuáticos la fauna marina ingiere estos residuos los cuales pueden biomagnificarse y bioacumularse, aumento la concentración al pasar por los distintos niveles tróficos.

Se valoró una ingesta media de 39.000 y 52.000 partículas MP/persona/año sólo a partir de los alimentos. Se ha mostrado evidencia directa de la ingestión humana de MP mediante su detección en muestras de heces humanas. En realidad, la contaminación por MP puede darse en cualquier etapa de la cadena alimentaria. Por ejemplo, los peces y otros mariscos absorben frecuentemente MP de manera directa, confundiéndolos con alimentos. (Tavelli et al., 2022)

En el estudio se evaluaron pescados y mariscos vendidos para consumo humano, entre los que se encontraron que más de la mitad de los productos acuáticos poseen productos plásticos humanos, lo que indica que los MP pueden ingresar al cuerpo humano de manera eventual mediante la dieta. (Ma & You, 2021)

Los alimentos y bebidas son considerados como una ruta potencial de exposición de MP a los humanos a través de su alimentación diaria. Varios autores han demostrado una aproximación del consumo diario de MP tanto de alimentos como de bebidas: niños varones

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

con 113 partículas, adultos varones con 142 partículas, niñas con 106 partículas y mujeres adultas con 126 partículas, respectivamente. (Jin, Mengke, et al., 2021)

Los envases y contenedores plásticos para alimentos, como botellas, láminas, bandejas, películas de sellado, tapas, bolsas, vasos y otros recipientes, están diseñados para almacenar diversos tipos de alimentos, bebidas y agua mineral. Estos materiales de embalaje suelen estar hechos de resinas termoplásticas, como tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta densidad (HDPE), polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC) y poliestireno (PS), debido a su capacidad para ser reciclados mecánicamente. Cada tipo de polímero tiene propiedades específicas, lo que determina su uso para diferentes aplicaciones de embalaje. Sus características los hacen indispensables ocasionando su uso y permitiendo la acumulación de los microplásticos en los productos alimenticios. (Jadhav et al., 2021)

La forma, tamaño, hidrofobicidad, composición química y la carga superficial son factores que influyen en la toxicidad de los MP. En estudios realizados en animales de experimentación se demostró que se transfieren los microplásticos desde la madre al feto en desarrollo. Además de la transferencia se observó alteraciones en el metabolismo lipídico y energético, incluso en generaciones posteriores. Lo que trata de explicar este artículo es que los MP y sus aditivos contribuyen a la prevalencia del sobrepeso y la obesidad. (Kannan & Vimalkumar, 2021)

Según esta revisión Sridhar et al., (2022) nos indica que existen diversas formas para extraer microplásticos en alimentos entre los que destacan: tratamiento químico, flotación, tratamiento enzimático, separación por membranas, entre otras técnicas. Para la detección menciona la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, métodos termoanalíticos, microscopia electrónica de barrido, espectroscopia de Raman, y el uso de imágenes hiperespectrales para detectar partículas microplásticas.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

En un estudio realizado se expuso que fueron utilizadas varias soluciones de digestión para la eliminación de materia orgánica e inorgánica de los alimentos, para facilitar su posterior observación e identificación de partículas sólidas en una etapa posterior. (Bai et al., 2022)

Investigaciones anteriores han examinado la frecuencia de microplásticos en especies de mariscos comestibles en el contexto de la evaluación de riesgos para la salud humana. Algunos estudios indican que los organismos de niveles tróficos se deben considerar con cautela como portadores de MP con respecto a sus impactos en la salud humana mediante a bioacumulación y la biomagnificación. (Li et al., 2021)

Varios estudios han registrado la presencia de MP en organismos marinos, entre estos se encuentran: peces, bivalvos, cefalópodos, o crustáceos. De hecho, un estudio reciente determina que el 80% de las principales especies de peces desembarcados se han examinado para detectar la presencia de MP. De igual manera, estudios recientes señalan que las especies marinas no solo ingieren MP de su entorno natural directamente, sino que existe cada vez más evidencia de transferencia trófica a lo largo de las redes alimentarias marinas. (Vázquez-Rowe et al., 2021).

En la investigación de Kaseke et al. (2023) indica que el rojo de Nilo (NR) empleado específicamente para resaltar partículas plásticas hidrofóbicas, permitiendo su detección en entornos donde no son fácilmente identificables mediante técnicas estándar como FTIR o  $\mu$ -FTIR. Este compuesto genera fluorescencia en ambientes con una alta presencia de hidrófobos, lo que facilita la visualización de las partículas plásticas tras un periodo de incubación que suele oscilar entre 24 y 168 horas. La técnica de tinción con NR se caracteriza por ser rentable y relativamente sencilla, lo que la convierte en una opción idónea para la detección de microplásticos en muestras ambientales como el polvo de las carreteras. El proceso metodológico empleado en estos estudios implica la optimización de las condiciones de tinción con NR y la definición de parámetros para cuantificar los microplásticos presentes en dichas

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

muestras. No obstante, es fundamental considerar que la tinción con NR puede sujetarse a posibles sesgos por la fluorescencia de fondo provocada por otros componentes de la muestra.

Anger et al., (2018) explica que la espectroscopía Raman (RM) mide de manera representativa partículas que van desde 1  $\mu\text{m}$  hasta 5 mm, permite obtener una distribución de compuestos relacionada con el tamaño, y proporcionar una caracterización morfológica y química a nivel de cada partícula. No obstante, las aplicaciones actuales de esta técnica aún son laboriosas, requieren operadores especializados y no siguen protocolos estandarizados.

Según (Sharma et al., 2024) mediante microscopios ópticos observamos color, tamaño y forma, pero este método no permite la detección de todas las clases de microplásticos presentes en las muestras, en especial aquellos que superan el límite de resolución. En estos casos se utiliza espectroscopia de Rama, FTIR o GC-MS (cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas por pirolisis, para realizar una identificación según la composición química.

Por lo general, el análisis de MPs está constituido por dos fases: caracterización física de los fragmentos mostrados, esta seguida de la caracterización química, para confirmar la naturaleza química de las partículas identificadas. Para la caracterización física se emplean varios métodos de microscopía, entre los cuales se encuentran: estereomicroscopía y microscopía de fluorescencia, microscopía electrónica de transmisión (TEM), microscopía de fuerza atómica y microscopía electrónica de barrido (SEM). Por otro lado, en cuanto a la caracterización química se utiliza principalmente: espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), espectroscopia Raman y técnicas térmicas como calorimetría diferencial de barrido, termogravimetría, cromatografía de gases por pirólisis y espectrometría de masas (py-GC-MS) y combinaciones de estos métodos. (Udovicki et al., 2022)

Los métodos para microplásticos comprenden uno o más de los siguientes pasos: extracción y degradación de materia biogénica, detección y cuantificación y caracterización.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

Algunos de los métodos descritos anteriormente para la degradación de la materia biogénica tienen problemas en cuanto a que algunos plásticos se degradan solamente hasta cierto punto. Las técnicas avanzadas para caracterizar e identificar tipos de plásticos incluyen la espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR) y la espectrometría Raman. (EFSA, 2016).

Wu et al., (2023) mencionan en su artículo que la Cromatografía de gases-espectrometría de masas que es un método importante para la determinación de microplásticos en una matriz alimenticia, en especial cuando se acopla con dispositivos de pirolisis o desorción térmica. Mediante esta técnica los MP se someten a pirolisis donde se descomponen en moléculas pequeñas esto se realiza en un ambiente inerte. Después se vaporizan a unas temperaturas entre 600 y 1000°C. Por último, el equipo produce un espectro de masas. Este proceso también se usa para analizar aditivos en las muestras.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Microplásticos**

Partículas formadas total o parcialmente por polímeros sintéticos, con un tamaño que no supera los 5 mm. El riesgo que presentan los microplásticos tanto para los seres humanos como para el medio ambiente se ha convertido es un tema de gran importancia, ya que la inquietud no solo afecta en los microplásticos en sí, sino que también en los aditivos y contaminantes químicos que pueden absorber y liberar, lo cual afecta de manera negativa la salud animal y ambiental. (Vazquez Ana, 2024)

### **2.2.2. Microplásticos primarios**

Se fabrican con aplicaciones particulares como los pellets y las micro perlas. Son útiles en diversos ámbitos: limpieza, pinturas, cosméticos, entre otros.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

### **2.2.3. Microplásticos secundarios**

Son generados a través de la fragmentación y la degradación selectiva de macropásticos que han sido expuestos a varios factores externos. Esta categoría también incluye las fibras sintéticas que provienen de los textiles. La fragmentación puede ocurrir por factores químicos y físicos como la exposición a la luz solar (fotodegradación), procesos biológicos como es la biodegradación por bacterias y hongos, también se da la degradación mecánica que ocurre por un efecto sinérgico entre las olas y el viento, este último se da en ambientes marinos.

### **2.2.4. Nanoplásticos**

Los nanoplásticos son partículas aún más diminutas que los microplásticos, con un tamaño inferior a 0.1 micrómetros.

### **2.2.5. Rojo de Nilo (NR)**

Colorante fluorescente usado en investigaciones biológicas y médicas para teñir y visualizar células específicas y estructuras celulares, especialmente las que contienen acumulaciones de lípidos. Este tinte puede emitir fluorescencia cuando se expone a una longitud de onda de luz, lo que permite distinguir entre células o inclusiones celulares bajo un microscopio de fluorescencia.

### **2.2.6. Fotoblanqueo**

Alteración por la luz en el grupo químico de una molécula responsable de su color, lo que reduce la capacidad de la molécula para absorber luz de una longitud de onda específica. Este se define como la degradación que no es reversible, lo cual ocurre por efecto de la longitud de onda de un material. Constituyen uno de los problemas principales presentados durante los análisis por fluorescencia. Cuando los fluoróforos son excitados, puede presentarse fenómenos

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

entre los cuales se encuentran: ruptura o calentamiento de enlaces, dependiendo de la fuente de excitación, esto produce una degradación en un lapso de 5 minutos.

### **2.2.7. Bioacumulación**

Un incremento gradual en la concentración de una sustancia (generalmente de un contaminante) dentro de un organismo o una parte de este, que resulta de un consumo mayor que la capacidad del organismo para eliminar dicha sustancia.

### **2.2.8. Poliestireno**

Es un tipo de resina sintética que es dura, rígida y tiene un aspecto brillantemente transparente. Se fabrica mediante la polimerización del estireno. Este material es utilizado extensamente en la industria de servicios alimentarios en diferentes formas, incluyendo bandejas y recipientes rígidos, utensilios desechables para comer, y recipientes de espuma para vasos, platos y tazones.

### **2.2.9. Polipropileno**

Es un tipo de plástico, proviene del propileno, un gas presente en el petróleo crudo y los gases de refinación. Este polímero lineal tiene una estructura química parecida a la del polietileno, aunque se diferencia en ciertas propiedades y usos.

Como polímero termoplástico, el polipropileno es ampliamente usado en la fabricación de diversos productos debido a su costo económico, alta durabilidad y versatilidad. Sus aplicaciones incluyen desde envases y botellas hasta componentes automotrices y equipos médicos.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

## **2.3. BASES TEÓRICAS**

### **2.3.1. Leche**

La leche es una solución acuosa, está compuesta por: lactosa, sales inorgánicas y orgánicas, así como también varios compuestos en niveles de taza (suero de leche). En dicha solución se dispersan partículas coloidales en tres distintos tamaños: proteínas de suero disueltas a nivel molecular, caseínas distribuidas en agregados coloidales grandes (50-500 nm) comocidos como micelas, y lípidos emulsionados en forma de grandes denominados glóbulos (1-20  $\mu\text{m}$ ). Aunque la química de los compuestos mencionados es generalmente similar entre las distintas especies, la estructura de estos compuestos puede variar en los detalles, revelando adaptaciones evolutivas. (Fox, 2008).

La selección de vacas para maximizar la producción y el estrés relacionado con la alimentación, la reproducción y el ambiente asociado con la dieta, la producción y el ambiente pueden afectar tanto la producción como la composición de la leche. La cantidad y calidad de la leche dependen principalmente del volumen de tejido mamario disponible para su producción, de la eficiencia de las células secretoras en la síntesis de los componentes de la leche, y de la disponibilidad de nutrientes adecuados que necesita la vaca para producir leche. (Nickerson, 1995)

Durante aproximadamente 8000 años, los seres humanos han incluido a la leche en su alimentación diaria, desarrollando una importante industria alrededor del procesamiento de leche de algunas especies, principalmente vacas, búfalas, ovejas y cabras, para el consumo humano. El procesamiento de la leche, que aprovecha ciertas propiedades fisicoquímicas de la misma, se lleva a cabo en todo el mundo, con mayor énfasis en Europa y América del Norte. La leche es una materia prima bastante versátil, empleada en la elaboración de una gran diversidad de productos, entre ellos cerca de 1000 tipos. (O'Mahony & Fox, 2014).

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

### 2.3.1.1. Contaminación de la leche

Con el aumento de la población, también incrementa la demanda de leche y productos lácteos, esto genera una gran presión para preservar la cantidad de estos productos a granel. Para incrementar la producción de leche, se administra a todas las hembras rumiantes (vacas, búfalas, cabras, ovejas, etc.) diversos medicamentos, como antibióticos, urea y hormonas. De igual manera, el alimento de los animales puede estar contaminado, como, por ejemplo, los pesticidas en aerosol utilizados en granjas. Como resultado, los rumiantes se encuentran expuestos a varios tipos y fuentes de contaminantes antropogénicos, de manera que, existe la posibilidad de que estos componentes sean transferidos a la leche. (Raza & Kim, 2018)

Los principales contaminantes que se encuentran en la leche y los productos lácteos suelen ser los residuos de pesticidas, metales pesados y la aflatoxina M1 (AFM1). La contaminación de leche ocurre mayoritariamente antes del ordeño, procedente de la alimentación del ganado, de fuentes o materiales empleados durante el procesamiento de la leche, al igual que de una manipulación inadecuada de la leche tanto antes como después del procesamiento. (Awasthi et al., 2012).

Aunque la pasteurización ha sido un método antimicrobiano útil y ha contribuido a la reducción de varias enfermedades, varios episodios infecciosos asociados a la leche pasteurizada han continuado aconteciendo, en su mayoría cuando la leche cruda tiene una población exagerada de microorganismos que aumentan el margen de supervivencia y por contaminación post pasteurización. El problema más considerable de los patógenos en la leche pasteurizada es que se mantienen sin ninguna alteración organoléptica, lo que aumenta el riesgo sanitario al consumidor, puesto que, el mismo no puede sospechar su presencia. (Rodríguez-Díaz et al., 2022)

La leche presenta un intenso proceso de producción, la contaminación en la misma se puede dar debido a un deficiente proceso de limpieza, el suministro de agua, y un mal manejo.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

En los últimos años se ha evidenciado que el impacto ocasionado por los materiales usados para envasar a base de plásticos, contribuyen a la contaminación de microplásticos en una gran cantidad de alimentos y bebidas. (Kutralam-Muniasamy et al., 2020)

### **2.3.1.2. Evaluación de la Calidad y Estabilidad de Leche**

La leche fresca continúa siendo una de las materias primas más consumidas a nivel mundial, con una producción global que llegó a cerca de 906 millones de toneladas en 2020, con un 8% de la producción distribuida por la industria láctea, esto en forma de productos derivados. (Da Costa Filho et al., 2021)

La leche ultrapasteurizada (UHT) es leche fresca que ha sido sometida a un proceso de pasteurización a alta temperatura. Este procedimiento consiste en calentar la leche a temperaturas que oscilan entre los 135 y 140 °C durante un breve período de 2 a 4 segundos, seguido de un rápido enfriamiento hasta alcanzar una temperatura no mayor a 32 °C. Aunque este tratamiento puede modificar ligeramente el sabor original de la leche, mantiene intactas todas sus propiedades nutricionales. Además, gracias a este proceso, la leche puede conservarse en perfectas condiciones para su consumo durante un período que varía entre 3 y 6 meses. (*Tipos de leche y diferencias*, 2019)

### **2.3.1.3. Propiedades y Beneficios de la Leche Semidescremada**

Esta leche mantiene un contenido parcial de grasa, que oscila entre el 1.5% y el 1.8% de su composición total, indicando que aproximadamente la mitad de la grasa original ha sido eliminada. Es especialmente adecuada para jóvenes y adultos semidescremada-y-deslactosada que siguen un estilo de vida activo y saludable, complementado con una alimentación balanceada y ejercicio regular, contribuyendo así al mantenimiento de un peso corporal óptimo. (Nutri, 2021).

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

#### **2.3.1.4. Impacto de la Eliminación de Grasa en las Propiedades Nutricionales de la Leche Descremada**

Es una leche completamente libre de grasa que mantiene la misma cantidad de proteínas, calcio y carbohidratos (lactosa) que la leche tradicional. La principal diferencia radica en la ausencia de grasa, lo que también le confiere un sabor distinto al de la leche entera. Esta característica la convierte en la opción recomendada para personas que necesitan reducir el contenido de grasa en su dieta diaria. (*Diferencias entre la leche deslactosada y una descremada - Contenidos*, s. f.)

La leche descremada, también referida como leche sin grasa, es una fuente considerable de proteínas, y aporta el mismo espectro de vitaminas y minerales que la leche entera, pero sin contenido graso. Es importante destacar que la grasa de la leche no contribuye al aporte de calcio, por lo que su eliminación no afecta la ingesta de este mineral esencial.

En relación con las leches semidescremadas, que contienen entre un 1% y un 2% de grasa, y las leches completamente descremadas, se les añade vitaminas A y D. Esto es porque estos nutrientes liposolubles se pierden durante la extracción de grasa. Dado que la concentración de vitamina D en el cuerpo humano tiende a ser baja, es una práctica habitual que los fabricantes fortifiquen tanto la leche entera como las versiones reducidas en grasa con vitamina D para asegurar una adecuada ingesta de este nutriente. (*Kidshealth.org*, 2022)

#### **2.3.1.5. La Importancia Nutricional de la Leche**

La leche es un alimento esencial y altamente nutritivo, por su alta densidad nutricional comparada con su contenido calórico. Entre sus nutrientes, el calcio destaca notablemente por su rol en la estructura ósea y dental, así como en múltiples procesos metabólicos cruciales, incluyendo la transmisión de impulsos nerviosos, la función muscular y la coagulación sanguínea. (Gregorio Varela, 2018).

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

### 2.3.2. Microplásticos

Los microplásticos (MP) son partículas de plástico que varían en tamaño de 5 mm a 0,1  $\mu\text{m}$ . Aquellas menores a 0,1  $\mu\text{m}$  se denominan nanoplasticos. Estos se dividen en dos categorías: primarios y secundarios. Los MP primarios son fabricados deliberadamente para usos específicos, incluyendo productos de cuidado personal y cosméticos. Por otro lado, los MP secundarios se forman por el desgaste físico, así como por la exposición a la luz ultravioleta y la oxidación de plásticos usados y desechados en el ambiente (Elert et al., 2017; van Raamsdonk et al., 2020).

Los microplásticos son polímeros son utilizados para la producción de una amplia gama de productos plásticos, como: fibras sintéticas, espumas, revestimientos, adhesivos y selladores. Los polímeros se fabrican mediante la polimerización de monómeros en cadenas macromoleculares. El término plásticos se utiliza para describir polímeros plásticos a los cuales se añaden aditivos con el fin de facilitar el procesamiento y/o dar las propiedades deseadas en una aplicación específica. (Lithner et al., 2011)

Son materiales indispensables en la sociedad moderna, muchos productos son fabricados por plásticos son de gran ayuda para salud pública, como, por ejemplo, las jeringas desechables, bolsas intravenosas, etc. A pesar de ello, los plásticos presentan riesgos para la salud. La principal preocupación radica en sus propiedades de disrupción endocrina, similares a las causadas por el bisfenol A y el ftalato de di-(2-etilhexilo) (DEHP). (Halden R. U.,2010).

Los distintos polímeros contienen diferentes niveles de carbono, esto varía según su composición elemental. Además, los aditivos y el procesamiento en el entorno pueden alterar el contenido de carbono del plástico. Un claro ejemplo de esto es la oxidación, que agrega oxígeno y masa no carbonada a los plásticos. (Stubbins et al., 2021)

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

### **2.3.2.1. Microplásticos primarios**

Los microplásticos primarios son diseñados específicamente para usos concretos, como microperlas o pellets. Se crean para su uso en una variedad de productos incluyendo artículos de limpieza, cosméticos, pinturas, exfoliantes y pasta de dientes. Estas aplicaciones contribuyen notablemente al incremento de microplásticos en el medioambiente. A menudo, se prefieren los microplásticos primarios debido a su versatilidad y bajo costo, sirviendo como sustitutos económicos de ingredientes naturales más caros. Además, se utilizan partículas de microplásticos hechas de materiales como acrílico, melanina y poliéster en la limpieza de maquinaria y barcos. (Zhang et al., 2020).

### **2.3.2.2. Microplásticos secundarios**

Se originan por la fragmentación y degradación selectiva de los macropásticos, proceso que se acelera cuando están expuestos a factores ambientales externos durante su traslado a diversos ecosistemas. Este grupo también incluye las fibras sintéticas que se desprenden de los textiles. La descomposición de los macropásticos ocurre a través de eventos químicos y físicos combinados, como la fotodegradación, que sucede cuando la luz solar oxida la estructura química de los polímeros, causando la ruptura de enlaces químicos. Esto reduce la masa molecular de los polímeros, haciéndolos más frágiles y susceptibles a quebrarse en fragmentos más pequeños. Además, algunos plásticos pueden descomponerse mediante procesos biológicos, ya que ciertas bacterias y hongos tienen la capacidad de biodegradarlos. (Zhang et al., 2020).

### **2.3.2.3. Riesgos para la Salud Humana por Microplásticos**

La acumulación de plásticos en el organismo humano podría estar relacionada con una variedad de problemas de salud. Entre estos se incluyen trastornos respiratorios como cáncer de pulmón, asma y neumonitis por hipersensibilidad; además de síntomas neurológicos como

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

fatiga y mareos, y problemas gastrointestinales como enfermedad inflamatoria intestinal y desequilibrios en la microbiota intestinal. Investigaciones recientes sugieren que tanto los nanoplasticos como los microplásticos pueden desencadenar la apoptosis (muerte celular programada) y presentar efectos genotóxicos y citotóxicos en las células. Profundizar en los procesos celulares y moleculares que subyacen a la interacción de estos plásticos con el organismo podría ser clave para evaluar los riesgos potenciales para la salud humana. (Battaglini et al., 2024).

### **2.3.3. Métodos para degradar materia orgánica y separar microplásticos**

#### **2.3.3.1. Peróxido de hidrogeno**

El peróxido de hidrógeno es un agente oxidante fuerte, comercialmente se encuentra disponible como una solución acuosa en una gran variedad de concentraciones. Sus diversos usos están relacionados con su diversa química y se basan en oxidaciones, reducciones, sustituciones, adiciones a nivel molecular y descomposiciones. Los productos resultantes de la descomposición del peróxido de hidrogeno son oxígeno y agua, estos no representan riesgo para el medio ambiente. Su producción, así como también utilización, es en aplicaciones de blanqueo industrial, están en crecimiento debido a preocupaciones ambientales y económicas para la sustitución del blanqueo con coloro por métodos más ecológicos mediante el uso de peróxido. (Eul et al., 2001)

#### **2.3.3.2. Transformación de Macromoléculas Orgánicas en Sustancias Biodegradables mediante Procesos Oxidativos Avanzados**

Los procesos oxidativos avanzados son efectivos para tratar efluentes industriales al transformar compuestos recalcitrantes en sustancias más biodegradables. Son especialmente útiles para remover color, un parámetro que los tratamientos convencionales no logran reducir fácilmente. Las macromoléculas orgánicas, como los polímeros solubles, son demasiado

**MPs:** Microplásticos  
**MP:** Microplásticos  
**NMP:** nano y microplásticos

grandes para ser oxidadas biológicamente, pero el tratamiento químico puede descomponerlas en moléculas más pequeñas y biodegradables. (Iván et al., 2010)

Químicamente, el  $H_2O_2$  (peróxido de hidrógeno) es relativamente poco reactivo. Puede actuar como un oxidante suave, pero no oxida fácilmente la mayoría de las moléculas biológicas, como los lípidos, el ADN o las proteínas, salvo que estas últimas contengan grupos tiol hiperreactivos o residuos de metionina. El principal peligro del  $H_2O_2$  radica en su fácil conversión en el radical hidroxilo ( $\bullet OH$ ), extremadamente reactivo, especialmente cuando se expone a la luz ultravioleta. (Halliwell, Barry, et al., 2000).

El peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) es un agente oxidante que se utiliza en estudios de microplásticos, a veces en combinación con un catalizador para acelerar las reacciones químicas. En particular, el reactivo de Fenton o el método de oxidación húmeda con peróxido, que emplea peróxido de hidrógeno junto con Fe (II) como catalizador, se usa comúnmente para la digestión de materia orgánica en estos estudios. Sin embargo, se ha observado que los plásticos muestran una notable resistencia a este método de oxidación húmeda con peróxido. (Razeghi et al., 2021)

#### **2.3.3.3. Reacción de Fenton.**

El proceso de oxidación de Fenton descompone la materia orgánica del efluente, está la transforma en moléculas más pequeñas. (Li et al., 2012)

Este tratamiento y sus reacciones asociadas implican la interacción de peróxido, fundamentalmente peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), con iones de hierro, lo que resulta en la formación de especie de oxígeno altamente reactivas. Estas especies reactivas oxidan tanto compuestos orgánicos como inorgánicos. (Babuponnusami & Muthukumar, 2014)

El tratamiento físico - químico conocido como oxidación de Fenton implica la oxidación de contaminantes a través de la combinación de peróxido de hidrógeno y sulfato

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

ferroso, esto bajo condiciones de presión atmosférica y temperaturas entre 20 °C y 40 °C. Se alcanzan mejores resultados operando a pH ácidos, lo que facilita una alta eliminación de contaminantes orgánicos. Este proceso tiene dos efectos principales: Este proceso modifica los compuestos orgánicos para prepararlos para un tratamiento biológico futuro y realiza una oxidación parcial que disminuye la toxicidad del efluente. En algunos casos, puede oxidar completamente los compuestos orgánicos, convirtiéndolos en sustancias inofensivas y permitiendo la descarga segura del efluente sin necesidad de tratamientos adicionales. (Iván et al., 2010)

#### **2.3.3.4. Microfiltración**

Las membranas de microfiltración son utilizadas comúnmente para la eliminación de partículas que se encuentran en un rango de 0,1 a 10 µm de una suspensión. La microfiltración de flujo cruzado es un proceso de separación, el cual es impulsado por presión, este es utilizado en gran medida para concentrar, purificar o separar macromoléculas, coloides y partículas suspendidas de una solución. (Wakeman & Williams, 2002)

Es utilizada normalmente para la eliminación de partículas que se encuentra entre el rango de 0,1 a 10 µm de una suspensión. Es un procedimiento impulsado por presión. (Jokić et al., 2010)

#### **2.3.4. Técnicas analíticas para microplásticos.**

##### **2.3.4.1. Microscopia óptica**

El microscopio óptico es una herramienta extremadamente valiosa no solo por su bajo costo y facilidad de uso, sino también por su capacidad de operar de manera no destructiva. No es necesario cortar la muestra en secciones delgadas, colocarla en un entorno de vacío, ni exponerla a partículas de alta energía. Esta característica no destructiva es especialmente importante en diversas áreas, como el estudio de muestras biológicas, incluyendo células vivas, así como en el análisis de materiales y dispositivos semiconductores. Las limitaciones de la

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

microscopía óptica, como su resolución restringida, bajo contraste y limitada profundidad de campo, pueden ser mejoradas mediante el uso de técnicas de escaneo. (Sheppard, 2020)

Se divide en dos grupos: Fluorescencia y campo claro. La microscopia de campo claro, el objetivo y la fuente de luz están situados en lados opuestos de la muestra y se puede observar a través de los efectos que produce sobre la luz que la atraviesa, ya que la muestra puede absorber, dispersar o desviar la luz. (Thorn, 2016)

#### **2.3.4.2. Microscopia de fluorescencia**

Es una técnica que se destaca para examinar materiales que pueden ser inducidos para fluorescer, ya sea de forma natural (autofluorescencia) o tras ser tratados con sustancias químicas fluorescentes (fluorescencia secundaria). Esta microscopía, se utiliza una luz de excitación para iluminar la muestra, y luego se separa la luz fluorescente, que es mucho más débil, de la luz de excitación más intensa. De este modo, solo la luz fluorescente llega al ojo o al detector. Las zonas fluorescentes brillan sobre un fondo oscuro, proporcionando un contraste suficiente para facilitar su detección. Cuanto más oscuro sea el fondo del material no fluorescente, mayor será la eficiencia del instrumento. (Davidson & Abramowitz, n.d.)

El proceso subyacente de la fluorescencia implica la absorción de energía luminosa (un fotón) por un indicador, seguida de la emisión de parte de esta energía luminosa (como otro fotón) unos pocos nanosegundos después. Dado que se pierde algo de energía en este proceso, el fotón emitido tiene menos energía que el fotón absorbido. La luz con una longitud de onda corta (hacia el azul) tiene mayor energía que la luz con una longitud de onda larga (hacia el rojo). Por lo tanto, la luz emitida por un indicador generalmente tiene una longitud de onda más larga que la de la luz absorbida (de excitación). Este cambio se llama el desplazamiento de Stokes. (Sanderson et al., 2014)

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

### **2.3.4.3. Microscopía electrónica de barrido**

La microscopía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés, Scanning Electron Microscopy) es una técnica utilizada para el análisis topográfico, estructural y composicional. Ha sido ampliamente aplicada en el estudio de diversos temas como semiconductores, nanopartículas, modificaciones en productos comerciales, catálisis heterogénea, dispositivos de unión p-n, películas delgadas, física de nanocomposiciones y fotoelectroquímica. Esto se debe a sus capacidades de resolución, ampliación y la variedad de configuraciones que permiten su uso en una amplia gama de muestras, ambientes y condiciones experimentales (como procesos térmicos y corrosivos). (Vista de Caracterización de Materiales a Través de Medidas de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) | Elementos, n.d.)

Un equipo de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) obtiene una "imagen" de la muestra detectando cómo responde el material al impacto de un haz de electrones primarios, en comparación con registrar fotones como se hace en la microscopía óptica. Cuando el haz de electrones de alta energía impacta la muestra, se generan diversas señales que se registran en los detectores del equipo. Cada una de estas señales proporciona información independiente sobre la topografía, composición e incluso la conductividad eléctrica de la muestra. Para obtener la "imagen", el haz se mueve en el plano xy (sistemas ópticos) para cubrir el área deseada de la muestra. La capacidad para distinguir entre dos puntos cercanos en la superficie del material puede ser tan alta como 2 nm.

### **2.3.4.4. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)**

La espectroscopía FTIR permite medir la radiación infrarroja absorbida por una muestra de microplásticos (MP), lo que facilita el análisis de su composición molecular. Cada espectro infrarrojo funciona como una huella digital única de la muestra, con picos de absorción que indican las frecuencias de vibración de los enlaces atómicos del material. Dado que cada

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

polímero presenta una combinación atómica distinta, no existen dos espectros infrarrojos idénticos. Por lo tanto, la estructura química específica de un polímero puede determinarse mediante el uso de la espectroscopía FTIR. (Veerasingam et al., 2021)

La espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) se ha convertido en una herramienta esencial para la identificación de materiales orgánicos y ahora se aplica ampliamente en la investigación de microplásticos. Esta técnica permite determinar con precisión la composición química de plásticos desconocidos al comparar sus espectros IR con los de polímeros ya catalogados. La identificación precisa de las estructuras químicas depende de la comparación con datos existentes. Además, un aspecto crítico en el estudio de los microplásticos es evaluar su potencial de degradación para entender mejor su persistencia ambiental. (Campanale, Claudia., et al, 2023).

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), que es especialmente efectiva para identificar polímeros sintéticos. Esta técnica ha demostrado ser muy útil en la conservación y restauración de obras de arte. FTIR se basa en la capacidad de la radiación infrarroja para inducir vibraciones en los enlaces moleculares. La absorción de la radiación depende de los átomos involucrados y del tipo de enlace (simple, doble, triple), resultando en bandas de absorción específicas en el espectro FTIR. Estas bandas son características de ciertos grupos funcionales y permiten identificar la composición química de la muestra. (San Andrés Moya et al., 2009)

En la región del infrarrojo cercano, las bandas de absorción son principalmente atribuibles a las vibraciones de tensión del hidrógeno, especialmente útiles para el análisis cuantitativo de diversos grupos funcionales. Esto se debe a los sobretonos y combinaciones de los enlaces -CH, -NH y -OH. Los instrumentos utilizados en esta región son similares a los empleados en la región UV-visible. En el infrarrojo medio, se obtiene una gran cantidad de información tanto cualitativa como cuantitativa sobre los grupos funcionales y la estructura

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

molecular de las sustancias. La región del infrarrojo lejano proporciona datos sobre las transiciones rotacionales y los modos vibracionales de las redes cristalinas y el esqueleto de moléculas grandes. (Espectroscopía de Infrarrojo: Análisis e Interpretación de Compuestos - Patricia Ponce Peña, et al. - Google Libros, n.d.)

#### **2.3.4.5. Espectroscopia de Raman**

Cuando un líquido, gas o cristal transparente es iluminado con un haz de luz monocromática de un número de onda, la mayor parte de la luz incidente se transmite sin cambios, mientras que una pequeña fracción se dispersa en todas las direcciones. Esta dispersión se refiere a la desviación de la luz de la dirección original de propagación. El análisis espectral de la luz dispersa revela que, además de la dispersión que mantiene el número de onda original (dispersión Rayleigh), también aparecen componentes discretos con números de onda alterados. En general, se observan pares de nuevas líneas en el espectro con números de onda situados simétricamente respecto a la línea de Rayleigh, es decir, donde los números de onda corresponden a transiciones entre niveles de energía rotacionales o vibracionales (y raramente electrónicos) en los sistemas moleculares. La presencia de frecuencias alteradas en la luz dispersa se conoce como efecto Raman o dispersión Raman, en honor a su descubridor. (Keresztury, 2006)

#### **2.3.4.6. Integración de Técnicas de Tinción Fluorescente y Espectroscopía:**

##### **Rojo Nilo**

Entre los métodos más utilizados para detectar microplásticos (MP) se encuentra la combinación de conteo de partículas mediante cámaras y análisis espectroscópico utilizando espectroscopía FTIR o Raman. Sin embargo, este enfoque enfrenta desafíos como el alto consumo de tiempo y recursos, además de una elevada incidencia de falsos positivos debido a la subjetividad en la selección de muestras. Para mejorar la precisión y la selectividad, se ha

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

propuesto el uso de tinciones con tintes fluorescentes. Esta técnica, que ha avanzado considerablemente en la última década, permite la visualización de MP bajo longitudes de onda específicas y puede ser ajustada con diferentes solventes para mejorar la selectividad. Varios colorantes, entre ellos el comercial iDye dispersivo y el rojo Nilo, han sido probados, siendo el rojo Nilo especialmente valorado por su selectividad y mínima interferencia en las mediciones espectroscópicas infrarrojas, facilitando el análisis posterior con FTIR. (Ho et al., 2024).

El rojo Nilo (NR) se emplea habitualmente para teñir partículas de plástico hidrofóbicas que no son detectables con métodos convencionales como la FTIR, la cual puede identificar microplásticos de hasta 20  $\mu\text{m}$ , o la micro-FTIR, que posee un umbral de detección de tamaño mínimo de 3  $\mu\text{m}$ . (Myszka et al., 2023).

#### **2.3.4.7. Avances en Microscopía de Fluorescencia y Aplicaciones de Fluoróforos en Investigación Científica**

La microscopía de fluorescencia es una herramienta esencial para monitorear la fisiología celular. Aunque los conceptos de fluorescencia y separación óptica por filtros resultan similares, el diseño de microscopio varía para aumentar el contraste de imagen, como también la resolución espacial. (Sanderson et al., 2014)

Los fluoróforos se eligen o sintetizan para diferentes aplicaciones según diferentes criterios. Entre estos criterios se incluyen: espectros de absorción y emisión, coeficiente de extinción, rendimiento cuántico, efectos ambientales y reactividad química. (D. Lansing Taylor, 1988)

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### **3.1. Nivel de investigación**

En esta investigación se utilizó un diseño descriptivo con el propósito de comparar el perfil microplásticos en diferentes contenidos de grasa en muestras de leche: entera, semidescremada y descremada. Se busco realizar análisis estadísticos en los cuales se comparan los resultados con el fin de determinar si el contenido de grasa afecta directamente al perfil de microplásticos.

#### **3.2. Diseño de investigación**

Este trabajo se basa en una metodología que combina técnicas de investigación documental y de campo. Dicha aproximación está diseñada para proporcionar un panorama detallado y científicamente válido sobre cómo el contenido graso de la leche puede influir en el perfil de microplásticos presentes.

La Investigación se basa en la recolección de muestras de leche de diferentes tipos (entera, semidescremada y descremada), teniendo en cada un diferente porcentaje de grasa. Además de los análisis directos, se llevará a cabo una extensa revisión bibliográfica para recabar información sobre estudios previos relacionados con microplásticos en productos alimenticios, métodos de detección y análisis, y el impacto de los procesos de producción en la contaminación de alimentos. Este aspecto es crucial para contextualizar los resultados obtenidos y compararlos con datos existentes, proporcionando una base sólida para la interpretación crítica de los resultados.

El diseño de campo sobre la presencia de microplásticos, se centrará en la recolección de muestras de leche con distintos contenidos de grasa, disponibles en supermercados. Esas muestras serán analizadas en el laboratorio con el objetivo de analizar la presencia de estos contaminantes en la leche, se utilizarán técnicas avanzadas como la Espectroscopía por

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

Transformada de Fourier de Infrarrojo (FTIR) para determinar las diferentes clases de microplásticos en las muestras.

La cuantificación de la concentración de microplásticos se realizará mediante análisis cuantitativos por microscopía invertida de fluorescencia.

La morfología de los microplásticos será analizada utilizando técnicas de microscopía de fluorescencia.

Para comparar se utilizarán técnicas estadísticas que nos permite utilizar la información recolectada para analizar si existe una influencia en el contenido de grasa con respecto al contenido de grasa.

### **3.3. Población y muestra**

En el Ecuador, se identificaron cuatro marcas de leche que dominan el mercado en términos de consumo, pero solo le analizo una de ella. Para esta marca seleccionada, se tomaron 12 muestras de 200 mL para diferentes contenidos de grasa: leche entera, leche descremada y leche semidescremada, en total se obtuvo 36 muestras, para lo cual consideramos: el nivel de confianza del 95%, nivel de significancia de 0.05. Según datos obtenidos de un estudio de referencia (Cajamarca, Sagbay, 2022) tomaron una desviación estándar de la acidez de la leche de 1,13, por lo que para ajustarlo y obtener mejores resultados utilizamos una desviación estándar de 1,53. El objetivo del análisis fue detectar y evaluar la presencia de microplásticos en las muestras de leche. En total, se analizaron todas las muestras de un litro para cada tipo de leche, permitiendo una evaluación exhaustiva de la contaminación por microplásticos en esta marca en particular.

Para rotular las muestras se va a colocar Ent para la leche entera, Des para la descremada y Sem para la semidescremada.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

### 3.4. Variables

Tabla 1

*Variables, Dimensiones e Indicadores que se Utilizarán en el Proyecto.*

	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Perfil del microplásticos</b>	Clase	● Porcentaje de microplásticos
	Concentración	● Porcentaje de clase de microplásticos por volumen de leche. ● Porcentaje de microplásticos totales por volumen de leche.
	Morfología	● Forma
<b>Contenido de grasa en leche</b>	Leche entera	● Porcentaje de grasa
	Leche descremada	● Porcentaje de grasa
	Leche semidescremada	● Porcentaje de grasa

*Nota.* Fuente: Autores 2024

### 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se implementará una metodología híbrida que combina elementos de investigación documental y de campo. Inicialmente, se efectuará un exhaustivo análisis documental aprovechando diversas bases de datos académicas reconocidas, como repositorios universitarios, IEEE Xplore, Scopus, ProQuest Scielo y Latindex. Para la gestión eficiente de la bibliografía y asegurar una adecuada citación, se emplearán herramientas bibliográficas como Zotero y Mendeley.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

Además, en el aspecto práctico del diseño de investigación, se adoptará la observación directa como el método primordial para la recolección de datos empíricos. En este contexto, se hará uso de técnicas avanzadas como la microscopía de fluorescencia y la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), las cuales son fundamentales para obtener información precisa sobre la concentración, clase y morfología de los microplásticos en muestras de leche con diferentes contenidos de grasa. Esta parte práctica se enriquecerá con el uso de instrumentos no estructurados, como fotografías y diarios de campo, para documentar meticulosamente el proceso y los resultados de las observaciones.

Esta combinación de enfoques metodológicos asegura una comprensión integral y detallada de cómo los procesos de producción láctea y el contenido graso influyen en la presencia de microplásticos, facilitando así una base sólida para el análisis y conclusiones de la tesis.

### **3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Los datos recogidos en este estudio serán procesados y analizados meticulosamente utilizando Microsoft Excel para llevar a cabo estadísticas descriptivas que proporcionen una visión inicial sobre las concentraciones y características de los microplásticos presentes en diferentes tipos de leche. Adicionalmente, emplearemos R. studio para realizar análisis estadísticos más complejos, como ANOVA o pruebas no paramétricas como Kruskal-Wallis, dependiendo de la normalidad de la distribución de los datos. Estas pruebas estadísticas serán fundamentales para evaluar y comparar las diferencias significativas en las concentraciones de microplásticos entre muestras de leche entera, semidescremada y descremada. Este enfoque permitirá determinar cómo las variaciones en el contenido de grasa y los métodos de procesamiento de la leche pueden influir en la acumulación y perfil de microplásticos.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

### 3.7. Materiales, reactivos y equipos

Tabla 2

*Materiales, Equipos, Reactivos y Recurso Humanos Utilizados en el Estudio.*

Equipos	Materiales	Reactivos	Recursos humanos
Computadora.	Frascos de 1000 mL.	Ácido acético (grado HPLC).	Investigadores.
Autoclave.	Tamiz de cobre de 250 µm.	Peróxido de hidrógeno al 30%.	Personal de laboratorio.
Equipo de microfiltración al vacío.	Vasos de precipitación.	Agua Milli-Q®	Docente guía.
Estufa.	Matraz Kitasato.	Rojo de Nilo.	
FTIR.	Tela de lino.	Filtros de celulosa de 10 µm.	
Sonicador.	Probeta.	Cloruro de sodio.	
Microscopio invertido de fluorescencia.	Papel filtro.	Sulfato de hierro.	
Equipo de destilación simple.	Cajas Petri.  Portaobjetos.  Embudo de decantación.		

*Nota.* Fuente: Autores 2024

### 3.8. Protocolo a implementar:

#### 3.8.1. Coagulación de la leche

Calentar 1 litro de leche a una temperatura de 85 °C, asegurándose de que el líquido alcance uniformemente esta temperatura. Una vez que la leche haya alcanzado la temperatura deseada, añadir cuidadosamente 10 mL de ácido acético (97.5%) a la muestra. Agitar suavemente para asegurar una distribución homogénea. Después de la adición del ácido, permitir que la mezcla repose sin agitar durante un periodo de 24 horas a temperatura ambiente.

Este tiempo de reposo es crucial para que el proceso de coagulación ocurra de manera efectiva,

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

permitiendo que las proteínas de la leche se coagulen y se formen los sólidos necesarios para los siguientes pasos del procedimiento.

### **3.8.2. Separación de la Fase Sólida de la Líquida**

La separación de la fase sólida de la líquida se realiza utilizando una tela de lino como filtro. Primero, se extiende la tela de lino sobre un vaso de precipitación, asegurándose de que esté completamente estirada y sin arrugas para evitar que las partículas sólidas pasen a través de ella. Luego, se vierte lentamente la mezcla que contiene las fases sólida y líquida sobre la tela. Las fibras de la tela absorben el líquido y las partículas sólidas quedan atrapadas en la superficie.

### **3.8.3. Tratamiento de la Fase Líquida:**

#### **3.8.3.1. Tamizaje Inicial**

En el primer paso del tratamiento de la fase líquida, se lleva a cabo un tamizaje utilizando un tamiz de latón de cobre con una malla de poro 250  $\mu\text{m}$ . Este tamizaje pretende eliminar las partículas grandes y recuperar el líquido filtrado. La muestra líquida se vierte lentamente a través del tamiz, y el líquido que pasa a través de la malla se recoge en un recipiente limpio, mientras que las partículas grandes quedan atrapadas.

#### **3.8.3.2. Digestión Ácida**

Para llevar a cabo la digestión ácida, se añade peróxido de hidrógeno al 30% a la muestra líquida. Se utiliza una proporción de 20 mL de peróxido de hidrógeno por cada 100 mL de muestra. La mezcla se agita para asegurar una distribución uniforme del peróxido. Luego, la solución se somete a ultrasonido a una temperatura de 55°C durante 15 minutos para facilitar la descomposición de la materia orgánica. Tras el ultrasonido, se deja reposar la solución durante 72 horas para asegurar que la digestión sea completa y que la materia orgánica se descomponga adecuadamente.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

### **3.8.4. Reacción de Fenton para la Eliminación de Materia Orgánica para la Fase líquida:**

#### **3.8.4.1. Adición de Sulfato de Hierro**

A cada muestra filtrada se le añaden 20 mL de una solución de sulfato de hierro al 0.05 M. El sulfato de hierro actúa como un catalizador en la reacción de Fenton, que es crucial para la eliminación eficiente de la materia orgánica. La mezcla se agita suavemente para asegurar que el sulfato de hierro se distribuya uniformemente.

#### **3.8.4.2. Calentamiento de la Muestra**

Las muestras se calientan a 75°C durante 30 minutos. Este calentamiento es necesario para acelerar la reacción de Fenton, promoviendo la descomposición de la materia orgánica.

#### **3.8.4.3. Adición de Cloruro de Sodio**

Tras el calentamiento, se añaden 20 mL de una solución de cloruro de sodio al 2 M a cada muestra. El cloruro de sodio ayuda a ajustar las condiciones del sistema para facilitar la separación de los sedimentos formados durante la reacción de Fenton.

#### **3.8.4.4. Decantación**

Las muestras tratadas se transfieren a un embudo de decantación, y se dejan reposar durante 120 horas. Este tiempo prolongado permite que los sedimentos se asienten en el fondo del embudo, separándose del líquido sobrenadante.

#### **3.8.4.5. Eliminación del Sedimento**

Una vez completado el tiempo de decantación, se elimina el sedimento acumulado en el fondo del embudo. Se conserva únicamente el líquido sobrenadante.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

### **3.8.5. Tratamiento de la Fase Sólida:**

#### **3.8.5.1. Secado y Pulverización**

La fase sólida obtenida tras la separación y filtración se coloca en una estufa a 60°C durante 72 horas para su secado completo. Después de secar, se pulveriza utilizando un mortero hasta obtener un polvo fino. Esta pulverización facilita el tratamiento y análisis posteriores de la fase sólida.

#### **3.8.5.2. Digestión Ácida**

La muestra lavada se trata con 25 mL de peróxido de hidrógeno al 30%, posteriormente, la solución se deja reposar durante 72 horas para asegurar la completa digestión de los compuestos orgánicos.

#### **3.8.5.3. Dilución y Filtrado Final**

Se prepara una dilución de la muestra sólida en una proporción de 4:2, es decir, 40 gramos de muestra sólida mezclada con 20 mL de agua mili-Q. Esta dilución se filtra para conservar el líquido y eliminar material agresivo y otros contaminantes presentes en la muestra.

### **3.8.6. Microfiltración**

Se lleva a cabo una microfiltración utilizando un papel filtro de celulosa de 45 mm con poros de 0,47 µm. La filtración se realiza al vacío, lo cual permite capturar las partículas más pequeñas que no fueron retenidas en los pasos anteriores.

### **3.8.7. Lavado de Filtros**

Los filtros se lavan con 50mL agua mili-Q previamente destilada para eliminar cualquier materia orgánica residual que haya quedado. Este lavado adicional asegura que los filtros estén limpios para el análisis posterior.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

### **3.8.8. Secado del Filtro**

El filtro utilizado en la filtración al vacío se seca a temperatura ambiente durante 24 horas. Este secado es necesario para preparar el filtro para los siguientes análisis y evitar la acumulación de humedad que pueda afectar los resultados.

### **3.8.9. Teñido**

Una vez seco, el filtro se tiñe con Rojo Nilo, un colorante que ayuda a visualizar los microplásticos. Se deja secar el filtro durante 1 hora.

### **3.8.10. Análisis Microscópico**

Posteriormente, se examina el filtro bajo un microscopio para cuantificar la concentración de microplásticos presentes en la muestra, esto se realiza mediante tres longitudes de onda, es decir tres tipos de fluorescencia, entre los que se encuentran: DAPI, RED y GREEN. Para determinar la concentración total de microplásticos encontrados en el filtro se usó un método sistemático que abarcó los cuartiles de la muestra. La inspección se realizó de arriba a abajo y de izquierda a derecha, asegurando que cada sección del filtro fuera examinada cuidadosamente

### **3.8.11. Cualificación de Microplásticos**

Para identificar la composición química de los microplásticos, se realiza una cualificación mediante espectroscopía por transformada de Fourier infrarroja (FTIR). Esta técnica permite determinar las características específicas de los microplásticos, ayudando a su clasificación y análisis. ☒

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

## CAPÍTULO IV

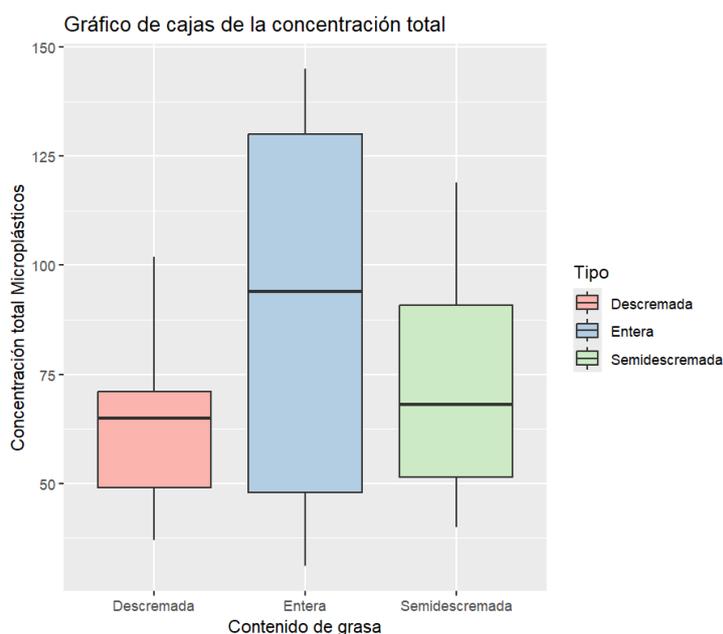
### ANÁLISIS Y RESULTADOS

#### 4.1. Procesamiento de datos:

##### 4.1.1. Análisis de la concentración de microplásticos.

Figure 1

Gráfico de Cajas de la Concentración Total de Microplásticos según el Contenido de Grasa.



Nota. Fuente: Autores 2024

En la figura 1 podemos observar que, la leche descremada, que se encuentra de color rojo, tiene la menor concentración media de microplásticos y menor variabilidad, mientras que la leche entera, que se representa de color azul, presenta la mayor concentración media de microplásticos y mayor variabilidad, así mismo la leche semidescremada, representada de color verde tiene una concentración media y variabilidad intermedia.

Conforme los resultados obtenidos de la (Tabla 12), presente en anexos, la cual se encuentra en anexos, nos indica que la concentración esta entre 31-145 microplásticos por cada 200 mL de muestra analizada, según el artículo Da Costa Filho et al., (2021) utilizaron una metodología diferente a la de nuestro estudio, mediante la espectroscopia de Raman detectaron

MPs: Microplásticos

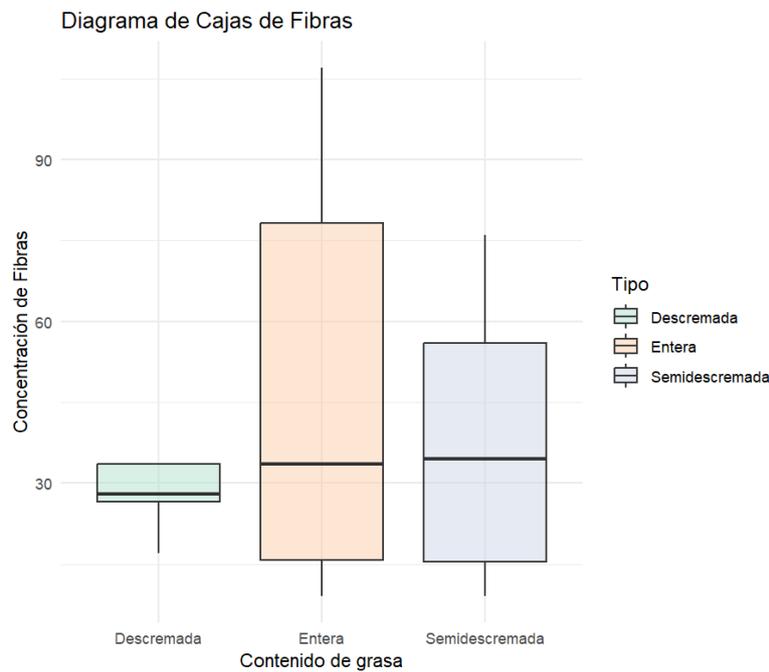
MP: Microplásticos

NMP: nano y microplásticos

y cuantificaron la cantidad de microplásticos (MPs) en muestras de leche líquida y reconstituida. La concentración de MPs en las muestras de leche osciló entre 204 y 1004 MPs por 100 mL.

**Figure 2**

*Cuantificación de Fibras.*



*Nota.* Fuente: Autores 2024

Mediante la (**Tabla 14**), de anexos, de la columna de fibras se obtuvo la **Figura 2**, de la cual podemos acotar lo siguiente:

En la leche descremada (verde), el rango intercuartil (IQR) es el más estrecho, lo que señala una concentración de fibras con menor dispersión. Además, la mediana de concentración de fibras es la más baja entre las muestras analizadas, indicando que, en promedio, esta leche contiene menos fibras en comparación con las otras.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

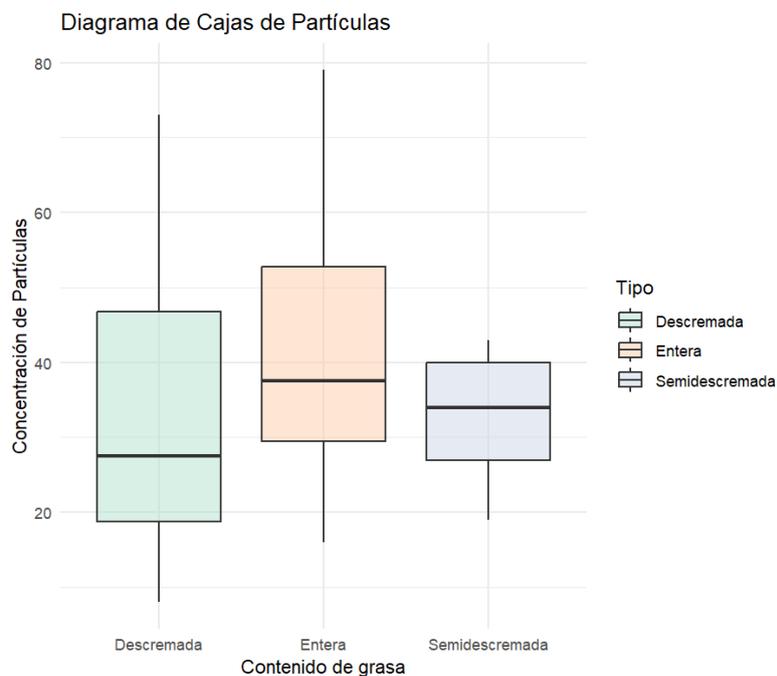
**NMP:** nano y microplásticos

Por otro lado, la leche entera (naranja) exhibe una mediana significativamente más alta para la concentración de fibras y un IQR considerablemente más amplio. Esto sugiere una mayor variabilidad en los niveles de fibras y una distribución más diversa en los datos.

En contraste, la leche semidescremada (azul) muestra una mediana intermedia y un IQR también moderado. Esto indica que la concentración de fibras en esta leche presenta una variabilidad intermedia, situándose entre la leche descremada y la leche entera.

### Figure 3

Diagrama de Cajas obtenido de los Datos de las Partículas.



Nota. Fuente: Autores 2024

Basándose en la información proporcionada en la (Tabla 14) presente en anexos columna de partículas, se generó la Figura 3, en la cual se evidencia lo siguiente:

El diagrama de cajas muestra la concentración de partículas en función del contenido de grasa en tres tipos de leche: descremada, entera y semidescremada. La leche descremada (color verde), tiene la menor mediana de concentración de partículas, y presenta un rango

MPs: Microplásticos

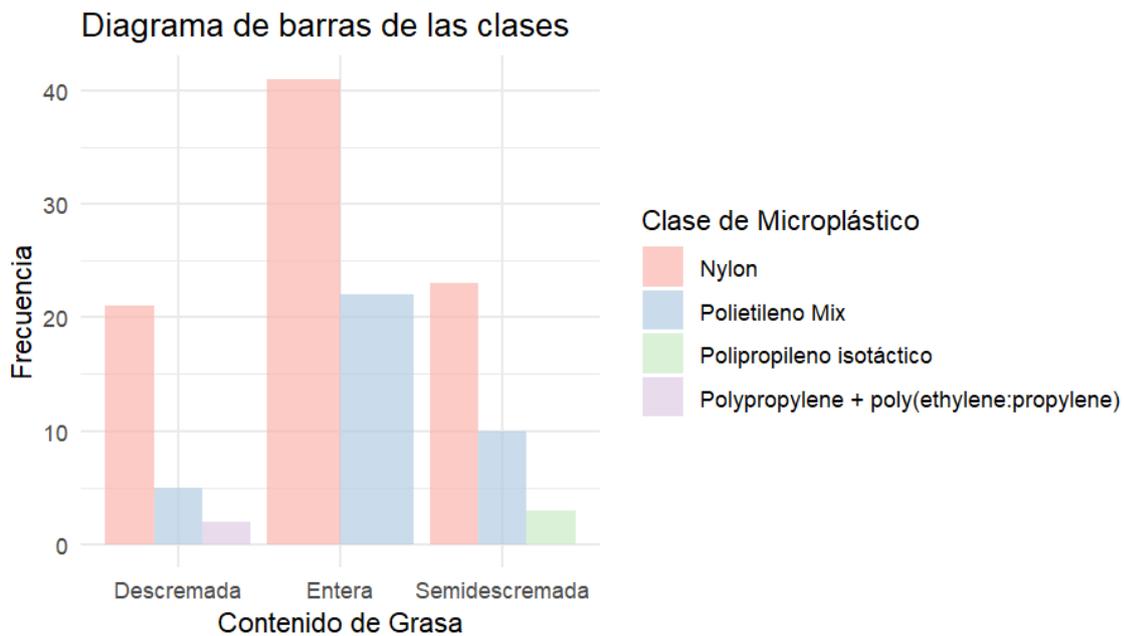
MP: Microplásticos

NMP: nano y microplásticos

intercuartil (IQR) bastante amplio, indicando una gran variabilidad en la concentración de partículas. La leche entera (color naranja), tiene la mayor mediana de concentración de partículas. La leche semidescremada (color azul), tiene una mediana intermedia de concentración de partículas, y un IQR intermedio, indicando una variabilidad moderada.

**Figure 4**

*Porcentaje de las Clases de Microplásticos en las Muestras.*



*Nota.* Fuente: Autores 2024

**La Figura 4** muestra un gráfico de barras generado a partir de los datos de la (Tabla 17) presente en anexos, que ilustra la frecuencia de diferentes clases de microplásticos presentes en tres tipos de leche: descremada, entera y semidescremada. Las clases de microplásticos representadas son Nylon (rojo), Polietileno (azul), polipropileno isotáctico (verde) y el Polypropylene + poly (ethylene: propylene) (morado). Sin embargo, para el estudio de las clases nos vamos a centrar en el que tiene un mayor porcentaje: Nylon.

Para analizar las clases, en los filtros de nitrocelulosa, los cuales tenían 200 de muestra se visualizó el 50 % de puntos marcados en el microscopio de fluorescencia, los

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

cuales fueron analizados mediante FTIR para obtener las clases, entre los microplásticos con mayor porcentaje de similitud.

Aunque se encontraron diversos datos de microplásticos, determinamos la concentración de cada uno y obtuvimos que el Nylon fue el más representativo en la leche entera con un 65%, en la leche semidescremada se obtuvo un 64% de Polietileno, y en la leche descremada existía un 75% de Nylon.

Las clases de microplásticos que se encontraron en mayor proporción en nuestro estudio es el Nylon y el Polietileno, el envase influye considerablemente según lo explican Zhou et al., (2022) los contenidos individuales variaron considerablemente según el tipo de material del envase, siendo los envases de SLH (PET) los que presentaron el mayor contenido. Los plásticos más comunes encontrados fueron celulosa, poliamida (PA), poliuretano (PU) y poliestireno (PS), que juntos constituyeron el 44,3 %, 22,8 %, 18,2 % y 8,5 % (en número de partículas) de todos los microplásticos identificados, respectivamente. También se detectaron otros tipos de microplásticos, como PET (tereftalato de polietileno), PP (polipropileno), PVC (cloruro de polivinilo) y PE (polietileno), con proporciones de 2,7 %, 2,2 %, 1,2 % y 0,1 %, respectivamente.

## **4.2. Análisis de datos**

### **4.2.1. Comparación de la concentración de microplásticos presentes**

Para comparar entre las concentraciones de microplásticos en los diferentes tipos de leche es necesario planteamos las siguientes hipótesis:

**Hipótesis Nula ( $H_0$ ):** El porcentaje de grasa en la leche no influye en la concentración de microplásticos.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

**Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):** El porcentaje de grasa en la leche influye en la concentración de microplásticos.

Para analizar si los datos tienen una distribución normal, según estos resultados se definirá si se utiliza una prueba paramétrica o no paramétrica, por consiguiente, se plantean las siguientes hipótesis:

**Hipótesis Nula ( $H_0$ ):** La distribución de los datos de la concentración es normal.

**Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):** La distribución de los datos de la concentración no es normal.

Se realizó una prueba de Shapiro-Wilk, para analizar si cumple la normalidad, en este caso, el valor p es 0.01211, que es menor que 0.05 como lo indica en la **Tabla 3**. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa.

**Tabla 3**

*Prueba de Shapiro-Wilk para la Normalidad en la Concentración.*

---

<b>Shapiro-Wilk normality test</b>
<b>Data: datos\$ concentración</b>
<b>W= 0.91942, p-value 0.01211</b>

---

*Nota.* Fuente: Autores 2024

Los datos se desvían de una distribución normal, por lo tanto, se utilizará una prueba no paramétrica en este caso Kruskal Wallis:

De acuerdo con los resultados del análisis Kruskal-Wallis (**Tabla 4**), dado que el valor p (0.3813) es mayor que 0.05, significa que no se encontraron diferencias significativas en la concentración de microplásticos entre la leche descremada, entera y semidescremada. Esto

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

implica que, basándose en los datos disponibles, el contenido de grasa en la leche no parece influir en la concentración de microplásticos.

En la **Figura 5.** se visualizan los datos obtenidos de la prueba de Kruskal – Wallis, en los que podemos ver que las medianas de la concentración de microplásticos varían entre los tipos de leche: 65.00 en leche descremada, 94.00 en leche entera y 68.00 en leche semidescremada. La prueba de Kruskal-Wallis no muestra diferencias significativas en la concentración de microplásticos entre los tres tipos de leche ( $p=0.38$ ), con un nivel de confianza de 95%. Esto sugiere que, estadísticamente, no hay una diferencia notable en la concentración de microplásticos entre la leche descremada, entera y semidescremada.

**Tabla 4**

*Prueba de Kruskal-Wallis de la Concentración Total debido a que no Cumple la Normalidad.*

---

**Kruskal- Wallis rank sum test**

---

**Data: Concentración by C. grasa**

**Kruskal- Wallis chi-squared = 1.9283, df = 2, p-value = 0.3813**

---

*Nota.* Fuente: Autores 2024

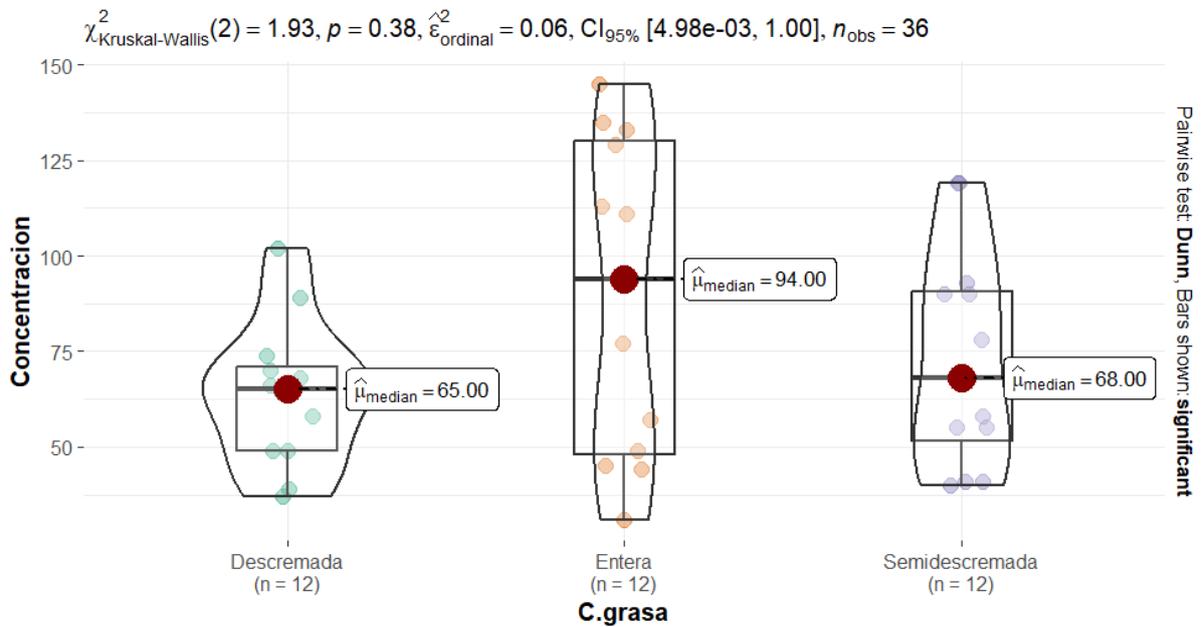
**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

Figure 5

Resultados de la Prueba de Kruskal Wallis en Relación con la Concentración Total de Microplásticos.



Nota. Fuente: Autores 2024

#### 4.2.2. Comparación de la concentración de fibras presentes

Para comparar entre la concentración de fibras en los diferentes tipos de leche es necesario planteamos las siguientes hipótesis:

**Hipótesis Nula(H<sub>0</sub>):** El porcentaje de grasa en la leche no influye en la concentración de fibras presentes.

**Hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>):** El porcentaje de grasa en la leche influye en la concentración de fibras presentes.

Es necesario analizar si los datos tienen una distribución normal, según estos resultados se definirá si se utiliza una prueba paramétrica o no paramétrica, por consiguiente, se plantean las siguientes hipótesis:

MPs: Microplásticos  
MP: Microplásticos  
NMP: nano y microplásticos

**Hipótesis Nula( $H_0$ ):** La distribución de los datos de fibras es normal.

**Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):** La distribución de los datos de las fibras no es normal.

Procedimos a llevar a cabo la prueba de Shapiro-Wilk, como se muestra en la **Tabla 5**, el valor p obtenido es 0.0009795, que es mucho menor que el umbral de 0.05. Es decir, existe la evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de normalidad.

**Tabla 5**

*Prueba de Shapiro-Wilk para la Normalidad en Fibras.*

---

**Shapiro-Wilk normality test**

---

**Data: datos\_Fibras\$ concentración**

W= 0.87943, p-value 0.0009795

---

*Nota.* Fuente: Autores 2024

Dado que los datos no cumplen con los supuestos de normalidad, se ha optado por utilizar una prueba no paramétrica, en este caso, la prueba de Kruskal-Wallis. Por lo tanto, se mantienen las hipótesis formuladas previamente.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

**Tabla 6**

*Prueba de Kruskal-Wallis de la Concentración de Fibras debido a que no Cumple la Normalidad.*

---

**Kruskal-Wallis rank sum test**

---

**Data: Concentración y C. grasa**

Kruskal-Wallis chi-quared = 0.15006, df= 2, p-valúe= 0.9277

---

*Nota. Fuente: Autores 2024*

La prueba de Kruskal-Wallis no muestra diferencias significativas en la concentración de fibras entre los tres tipos de leche ( $p=0.93$ ). Esto sugiere que, estadísticamente, no hay una diferencia notable en la concentración de fibras de microplásticos entre la leche descremada, entera y semidescremada. Por lo tanto, basándose en estos resultados, no se puede concluir que el porcentaje de grasa en la leche influya en el perfil de fibras. Según **Figura 6**, que se encuentra en anexos, las medianas de la concentración de fibras en los tres tipos de leche son relativamente similares (28.00, 33.50, 34.50).

#### **4.2.3. Comparación de la concentración de partículas presentes**

Para comparar entre la concentración de fibras en los diferentes tipos de leche es necesario planteamos las siguientes hipótesis:

**Hipótesis Nula ( $H_0$ ):** El porcentaje de grasa en la leche no influye en la concentración de partículas presentes.

**Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):** El porcentaje de grasa en la leche influye en la concentración de partículas presentes.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

Primero es necesario analizar si los datos tienen una distribución normal, según estos resultados se definirá si se utiliza una prueba paramétrica o no paramétrica, por consiguiente, se plantean las siguientes hipótesis:

**Hipótesis Nula( $H_0$ ):** La distribución de los datos de partículas es normal.

**Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):** La distribución de los datos de partículas no es normal.

Los resultados del análisis se muestran en la **Tabla 7**.

**Tabla 7**

*Prueba de Shapiro-Wilk para la Normalidad en Partículas.*

---

**Shapiro-Wilk normality test**

---

**Data: datos\_Fibras\$ concentración**

W= 0.95279, p-value 0.128

---

*Nota.* Fuente: Autores 2024

En otras palabras, podemos concluir que los datos de concentración de partículas no se desvían significativamente de una distribución normal, por lo que cumplen con la normalidad. Como los datos tiene distribución normal se realiza pruebas paramétricas, en este caso utilizamos ANOVA.

Mediante la prueba paramétrica ANOVA nos da un valor p de 0.392, por lo tanto, no se encuentra una diferencia significativa en la concentración de partículas entre los distintos tipos de leche basados en el contenido de grasa. La evidencia no apoya la conclusión de que el

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

contenido de grasa tiene un efecto significativo sobre la concentración de partículas en la leche según los datos analizados.

Se acepta la hipótesis nula porque los datos no muestran diferencias significativas en la concentración de partículas según los grupos evaluados. Los resultados del ANOVA se reflejan en la **Tabla 8**.

**Tabla 8**

*ANOVA para la Comparación de Partículas.*

---

**ANOVA para partículas**

---

**Summary(anova\_partículas)**

	<b>Df</b>	<b>Sum sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>(P-value)</b>
<b>C. Grasa</b>	2	587	293.7	0.965	0.392
<b>Residuals</b>	33	10048	304.5		

---

*Nota.* Fuente: Autores 2024

Kutralam-Muniasamy et al. (2020b) observaron una tendencia similar en su estudio, donde las fibras constituían el 97.5% de los microplásticos encontrados, mientras que los fragmentos representaban solo el 2.5%. Este hallazgo es coherente con nuestros resultados, en los que las fibras también fueron el tipo predominante de microplásticos detectado en todas las muestras de leche analizadas.

La predominancia de fibras puede estar relacionada con varias fuentes de contaminación, incluyendo la degradación de textiles sintéticos y productos plásticos, así como la posible transferencia durante el procesamiento y envasado de la leche. Es importante

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

considerar que las fibras, debido a su estructura y tamaño, pueden tener una mayor probabilidad de ser retenidas en matrices alimentarias líquidas, como la leche.

Además, la presencia predominante de fibras en nuestro estudio y el de Kutralam-Muniasamy et al. subraya la necesidad de investigar más a fondo las fuentes específicas y las rutas de entrada de estos contaminantes en la cadena alimentaria. La identificación precisa de las fuentes podría ayudar en el desarrollo de estrategias de mitigación para reducir la contaminación por microplásticos en productos lácteos y otros alimentos.

Los porcentajes de los tipos de microplásticos encontrados se observan en la **Tabla 14.**, de Anexos.

#### **4.2.4. Análisis Estadístico de las Clases de Microplásticos**

Para comparar entre las clases de microplásticos en los diferentes tipos de leche es necesario planteamos las siguientes hipótesis:

**Hipótesis Nula ( $H_0$ ):** El porcentaje de grasa en la leche no influye en la clase de microplásticos

**Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):** El porcentaje de grasa en la leche influye en la clase de microplásticos.

Primero es necesario analizar si los datos tienen una distribución normal, según estos resultados se definirá si se utiliza una prueba paramétrica o no paramétrica, por consiguiente, se plantean las siguientes hipótesis:

**Hipótesis Nula( $H_0$ ):** La distribución de los datos de fibras es normal.

**Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):** La distribución de los datos de las fibras no es normal.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

## Tabla 9

*Prueba de Shapiro Wilk para la Normalidad en las Clases de Microplásticos.*

---

### Shapiro-Wilk normality test

---

**Data: datos\_Fibras\$ concentración**

W= 0.85452, p-value 0.0002423

---

Nota. Fuente: Autores 2024

En los datos obtenidos de la tabla 9 nos indica que el p-valor es muy pequeño (0.0002423), se rechaza la hipótesis nula. Al concluir que los datos no cumplen con los supuestos de normalidad, se ha decidido utilizar una prueba no paramétrica, específicamente la prueba de Kruskal-Wallis. Por lo tanto, se conservan las hipótesis formuladas previamente.

## Tabla 10

*Prueba de Kruskal-Wallis de las Clases de Microplásticos debido a que no Cumple la Normalidad.*

---

### Kruskal- Wallis rank sum test

---

**Data: Concentración by C. grasa**

**Kruskal- Wallis chi-squared = 17.974, df = 2, p-value = 0.000125**

---

Nota. Fuente: Autores 2024

Mediante la prueba de Kruskal de la **Tabla 10**, se obtiene que el p-valor es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula de que todas las medianas son iguales. Esto indica que hay diferencias significativas en las medianas entre al menos dos de los grupos de leche (Entera, Semidescremada, Descremada).

MPs: Microplásticos

MP: Microplásticos

NMP: nano y microplásticos

Para identificar cuáles grupos difieren significativamente entre sí, utilizamos pruebas post-hoc, como la prueba de Dunn, para comparar pares de grupos. Esto te permitirá determinar específicamente qué grupos tienen diferencias significativas en sus medianas.

**Tabla 11.**

*Comparaciones Post Hoc utilizando la Prueba de Dunn para Identificar Diferencias Significativas en el Contenido de Nylon entre los Distintos Tipos de Leche.*

	<b>Comparison</b>	<b>Z</b>	<b>P. unadj</b>	<b>P.adj</b>
<b>1</b>	<b>Descremada</b>	--4.221058	0.0000243158	0.0000729474
	<b>Entera</b>			
<b>2</b>	<b>Descremada</b>	--2.453180	0.0141599547	0.0424798641
	<b>Semidescremada</b>			
<b>3</b>	<b>Entera</b>	-1.767879	0.0770812093	0.2312436279
	<b>Semidescremada</b>			

*Nota.* Fuente: Autores 2024

**La Tabla 11** presenta los resultados de la prueba de Dunn para comparaciones múltiples tras la prueba de Kruskal-Wallis. En la comparación entre la leche descremada y la leche entera, se observa un valor Z de -4.221058 y un valor P ajustado de 0.0000729474, lo que indica una diferencia significativa entre ambas, ya que el valor P es mucho menor que 0.05.

En la comparación entre la leche descremada y la leche semidescremada, el valor Z es de -2.453180 y el valor P ajustado es de 0.0424798641. Esto también indica una diferencia significativa entre estas dos, ya que el valor P ajustado es menor que 0.05.

Finalmente, en la comparación entre la leche entera y la leche semidescremada, el valor Z es de 1.767879 y el valor P ajustado es de 0.2312436279. En este caso, no se observa una diferencia significativa, ya que el valor P ajustado es mayor que 0.05.

Descremada vs. Entera y Descremada vs. Semidescremada muestran diferencias significativas. Entera vs. Semidescremada no muestra una diferencia significativa en sus

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

concentraciones de nylon. Este análisis ayuda a identificar qué grupos específicos tienen diferencias significativas en sus medianas después de haber encontrado diferencias generales con la prueba de Kruskal-Wallis.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

En base al estudio de la morfología, se identificaron dos tipos específicos de microplásticos, fibras y partículas mediante microscopía invertida de fluorescencia.

Los resultados indican que las muestras de leche entera tienen concentraciones más altas de partículas y fibras, en comparación con la leche semidescremada y descremada. Sin embargo, los análisis estadísticos (prueba de Kruskal-Wallis) nos revelan que la morfología no tiene ninguna relación con el porcentaje de grasa.

El análisis cuantitativo de la concentración total de microplásticos en los distintos tipos de leche utilizando microscopía invertida de fluorescencia, reveló que la leche entera presenta una mayor concentración promedio de microplásticos en comparación con la leche semidescremada y la leche descremada.

Se estableció que no existe diferencia significativa (prueba de Kruskal-Wallis) entre los tipos de leche, lo que indica que el contenido de grasa no tiene un impacto notable en la concentración de microplásticos.

De igual forma, la clasificación de los microplásticos se determinó mediante FTIR, revelando que los polímeros más predominantes en los diferentes tipos de leche son nylon, polietileno mix y polipropileno isotáctico.

En relación con el nylon, ya que es un MP que se encuentra en todas las muestras y en mayor porcentaje, los resultados mostraron diferencias significativas entre las diferentes clases de leche.

Se determinó que el nylon se encuentra en mayor porcentaje en la leche entera, y el menor porcentaje lo presentó la leche descremada.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

El estudio comparó el perfil de microplásticos en leche con diferentes contenidos de grasa estableciendo que el perfil de microplásticos varía en las diferentes muestras, pero el contenido de grasa es un factor que no influye en la concentración total, ni la morfología de los microplásticos.

Como resultado de nuestra investigación se demostró que el contenido de grasa no influye, en el perfil general de microplástico, rechazando la hipótesis nula, planteada, dando respuesta a la pregunta de investigación.

## **5.2.Recomendaciones**

- Se recomienda incluir en el tratamiento de las muestras el uso de peróxido de hidrógeno para la eliminación de la materia orgánica en las muestras de leche.
- Se sugiere realizar lavados adicionales con agua Milli-Q, para eliminar cualquier residuo de materia orgánica que pueda quedar atrapado en los filtros durante el proceso de filtración,
- Se aconseja estandarizar los métodos de muestreo y análisis utilizados en el estudio de microplásticos en productos lácteos.
- Evitar envases plásticos para no contaminar las muestras con microplástico presente en los envases.
- Incluir un mayor número de muestras y tipos de leche de diferentes regiones geográficas para obtener un perfil más amplio y representativo de la presencia de microplásticos.
- Investigar la presencia de microplásticos en el entorno de producción de leche, como el agua y los alimentos de los animales, para entender mejor las fuentes de contaminación.

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- a Costa Filho Paulo, A., Daniel, A., Bjorn, E., Peixoto, R. P., Carreres, B. M., Ambühl, M., E., Descarrega, J. B., Stephane, D., Pascal, Z., Alexandre, P., & Poitevin, E. (2021). Detection and characterization of small-sized microplastics ( $\geq 5 \mu\text{m}$ ) in milk products. *Scientific Reports (Nature Publisher Group)*, 11(1)<https://doi.org/10.1038/s41598-021-03458-7>
- Anger, P. M., von der Esch, E., Baumann, T., Elsner, M., Niessner, R., & Ivleva, N. P. (2018). Raman microspectroscopy as a tool for microplastic particle analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 109, 214–226. <https://doi.org/10.1016/J.TRAC.2018.10.010>
- Awasthi, V., Bahman, S., Thakur, L. K., Singh, S. K., Dua, A., & Ganguly, S. (2012). Contaminants in milk and impact of heating: an assessment study. *Indian Journal of Public Health*, 56(1), 95–99. <https://doi.org/10.4103/0019-557X.96985>
- Babuponnusami, A., & Muthukumar, K. (2014). A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 557–572. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2013.10.011>
- Banica, A. L., Radulescu, C., Dulama, I. D., Bucurica, I. A., Stirbescu, R. M., & Stanescu, S. G. (2024). Microplastic Debris in Yogurt: Occurrence, Characterization, and Implications for Human Health. *Journal of Science and Arts*, 24(1), 223-248. <https://doi.org/10.46939/J.Sci.Arts-24.1-b04>
- Baptiste Pesanti. “What Is Nylon? The Revolutionary Material Shaping Our World.” Eiken Shop, Eiken Shop, 5 Jan. 2024, [eikenshop.com/en-us/blogs/materials-guide/what-is-nylon#H1](https://eikenshop.com/en-us/blogs/materials-guide/what-is-nylon#H1).

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

- Battaglini, E., Miralles, P., Lotti, N., Soccio, M., Fiorini, M., & Coscollà, C. (2024). Analysis of microplastics in commercial vegetable edible oils from Italy and Spain. *Food Chemistry*, 443, 138567–138567. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138567>
- Brown, W. J., Sullivan, T. R., & Greenspan, P. (1992). Nile red staining of lysosomal phospholipid inclusions. *Histochemistry*, 97(4), 349–354. <https://doi.org/10.1007/BF00270037/METRICS>
- C., G. S., & C., G. S. (2010). TRATAMIENTO POR OXIDACIÓN AVANZADA (REACCIÓN FENTON) DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 13(1), 30–38. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4551>
- D. Lansing Taylor. (1988). Chapter 13 Basic Fluorescence Microscopy. *Methods in Cell Biology*, 207–237. [https://doi.org/10.1016/s0091-679x\(08\)60196-x](https://doi.org/10.1016/s0091-679x(08)60196-x)
- Da Costa Filho, P. A., Andrey, D., Eriksen, B., Peixoto, R. P., Carreres, B. M., Ambühl, M. E., Descarrega, J. B., Dubascoux, S., Zbinden, P., Panchaud, A., & Poitevin, E. (2021). Detection and characterization of small-sized microplastics ( $\geq 5 \mu\text{m}$ ) in milk products. *Scientific Reports* 2021 11:1, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03458-7>
- Davidson, M. W., & Abramowitz, M. (n.d.). OPTICAL MICROSCOPY. <http://microscopy.fsu.edu>
- Diaz-Basantes, M. F., Conesa, J. A., & Fullana, A. (2020). Microplastics in Honey, Beer, Milk and Refreshments in Ecuador as Emerging Contaminants. *Diferencias entre la leche deslactosada y una descremada—Contenidos*. (s. f.). <https://alpina.com/contenidos/post/cual-es-la-diferencia-entre-la-leche-descremada-y-deslactosada>

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

Espectroscopía de infrarrojo: Análisis e interpretación de compuestos - Patricia Ponce Peña, et al. - Google Libros. (n.d.). Retrieved August 2, 2024, from [https://books.google.com.ec/books/about/Espectroscop%C3%ADa\\_de\\_infrarrojo.html?id=u3rVEAAAQBAJ&printsec=frontcover&source=kp\\_read\\_button&hl=es&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books/about/Espectroscop%C3%ADa_de_infrarrojo.html?id=u3rVEAAAQBAJ&printsec=frontcover&source=kp_read_button&hl=es&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

Eul, W., Moeller, A., & Steiner, N. (2001). Hydrogen Peroxide. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology.

<https://doi.org/10.1002/0471238961.0825041808051919.A01.PUB2>

Fox, P. F. (2008). Milk: an overview. Milk Proteins, 1–54. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374039-7.00001-5>

Fran. “Qué Son Los Nanoplásticos Y Qué Efectos Tienen En La Salud - Reciclamas.”

Reciclamas, 2 Jan. 2024, [reciclamas.eu/blog/que-son-los-nanoplásticos-y-que-efectos-tienen-en-la-salud/](https://reciclamas.eu/blog/que-son-los-nanoplásticos-y-que-efectos-tienen-en-la-salud/).

Gałęcka, I., Szyryńska, N., & Całka, J. (2024). Influence of polyethylene terephthalate (PET) microplastic on selected active substances in the intramural neurons of the porcine duodenum. *Particle and Fibre Toxicology*, 21(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s12989-024-00566-w>

Hernández Cabria, M. (2015). DOCUMENTO DE CONSENSO: IMPORTANCIA

NUTRICIONAL Y METABÓLICA DE LA. *NUTRICION HOSPITALARIA*, 1, 92-101. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.8253>

Ho, D., Liu, S., Wei, H., & Karthikeyan, K. G. (2024). The glowing potential of Nile red for microplastics Identification: Science and mechanism of fluorescence staining.

*Microchemical Journal*, 197, 109708. <https://doi.org/10.1016/J.MICROC.2023.109708>

HZDG. “What Is a Calibration Curve in a Spectrophotometer?” Hunterlab.com, 2024,

[www.hunterlab.com/blog/what-is-a-calibration-curve-in-a-](http://www.hunterlab.com/blog/what-is-a-calibration-curve-in-a-)

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos



Kannan, K., & Vimalkumar, K. (2021). A Review of Human Exposure to Microplastics and Insights into Microplastics as Obesogens. *Frontiers in Endocrinology*, 12, 724989. <https://doi.org/10.3389/FENDO.2021.724989/BIBTEX>

Kaseke, T., Lujic, T., & Cirkovic Velickovic, T. (2023). Nano- and Microplastics Migration from Plastic Food Packaging into Dairy Products: Impact on Nutrient Digestion, Absorption, and Metabolism. *Foods*, 12(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/foods12163043>

Keresztury, G. (2006). Raman Spectroscopy: Theory. <https://doi.org/10.1002/9780470027325.s0109>

Lekše, N., Žgajnar Gotvajn, A., Zupančič, M., & Griessler Bulc, T. (2024). Oil-based extraction as an efficient method for the quantification of microplastics in environmental samples. *Environmental Sciences Europe*, 36(1), 68. <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00898-6>

Li, W., Nanaboina, V., Zhou, Q., & Korshin, G. V. (2012). Effects of Fenton treatment on the properties of effluent organic matter and their relationships with the degradation of pharmaceuticals and personal care products. *Water Research*, 46(2), 403–412. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2011.11.002>

Lin, Q., Zhao, S., Pang, L., Sun, C., Chen, L., & Li, F. (2022). Potential risk of microplastics in processed foods: Preliminary risk assessment concerning polymer types, abundance, and human exposure of microplastics. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 247, 14260. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114260>

Lithner, D., Larsson, A., & Dave, G. (2011). Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Science of The Total Environment*, 409(18), 3309–3324. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2011.04.038>

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

- Liu, S., Shang, E., Liu, J., Wang, Y., Bolan, N., Kirkham, M. B., & Li, Y. (2022). What have we known so far for fluorescence staining and quantification of microplastics: A tutorial review. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 16(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/S11783-021-1442-2/METRICS>
- Llano E. (2023). Materiales Nanoestructurados de G-C3N4 y su aplicación como contraste en imágenes de fluorescencia. Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/26520/1/1080312762b.pdf>
- Ma, Y. fei, & You, X. yi. (2021). Modelling the accumulation of microplastics through food webs with the example Baiyangdian Lake, China. *Science of The Total Environment*, 762, 144110. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.144110>
- Mai, L., Bao, L. J., Shi, L., Wong, C. S., & Zeng, E. Y. (2018). A review of methods for measuring microplastics in aquatic environments. *Environmental Science and Pollution Research 2018 25:12*, 25(12), 11319–11332. <https://doi.org/10.1007/S11356-018-1692-0>
- Martínez, L. M.-V. (s. f.). EFECTOS POTENCIALES DE LOS MICROPLÁSTICOS EN LA SALUD HUMANA.
- Myszka, R., Enfrin, M., & Giustozzi, F. (2023). Microplastics in road dust: A practical guide for identification and characterisation. *Chemosphere*, 315, 137757. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2023.137757>
- Nickerson, S. C. (1995). Milk production: Factors affecting milk composition. *Milk Quality*, 3–24. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2195-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2195-2_2)
- Nutri. (2021, abril 21). Diferencia entre una leche entera, descremada, semidescremada y deslactosada. Nutri.com.ec. <https://www.nutri.com.ec/post/diferencia-entre-una-leche-entera-descremada-semidescremada-y-deslactosada>

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

- O'Mahony, J. A., & Fox, P. F. (2014). Milk: An Overview. *Milk Proteins: From Expression to Food*, Second Edition, 19–73. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405171-3.00002-7>
- Prata, J. C., & Dias-Pereira, P. (2023). Microplastics in Terrestrial Domestic Animals and Human Health: Implications for Food Security and Food Safety and Their Role as Sentinels. *Animals*, 13(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/ani13040661>
- Rahman, M. M., Shimizu, K., Yamauchi, M., Takase, H., Ugawa, S., Okada, A., & Inoshima, Y. (2019). Acidification effects on isolation of extracellular vesicles from bovine milk. *PLoS ONE*, 14(9). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0222613>
- Raza, N., & Kim, K. H. (2018). Quantification techniques for important environmental contaminants in milk and dairy products. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 98, 79–94. <https://doi.org/10.1016/J.TRAC.2017.11.002>
- Ricardo, David. “Polioileno: Qué Es Y Sus Características.”, *Plástico*, 30 May 2023, [www.plastico.com/es/noticias/polipropileno-que-es-y-sus-caracteristicas](http://www.plastico.com/es/noticias/polipropileno-que-es-y-sus-caracteristicas).
- Rodríguez, R. V., & Becerrila, E. L. (2023). Degradación de materia orgánica presente en el agua superficial del lago de Chapala mediante la aplicación de un proceso de ozonación catalítica utilizando catalizadores naturales. *Revista Aristas*, 10(18), 47–50. [http://revistaaristas.tij.uabc.mx/index.php/revista\\_aristas/article/view/268](http://revistaaristas.tij.uabc.mx/index.php/revista_aristas/article/view/268)
- Rodríguez-Díaz, J. M., Calahorrano-Moreno, M. B., Ordoñez-Bailon, J. J., Baquerizo-Crespo, R. J., Dueñas-Rivadeneira, A. A., & Maria, M. C. (2022). Contaminants in the cow's milk we consume.? Pasteurization and other technologies in the elimination of contaminants. *F1000Research*, 11. <https://doi.org/10.12688/F1000RESEARCH.108779.1>
- San Andrés Moya, M., Chércoles Asensio, R., Gómez González, M. L., & Roja de la Roja, J. M. de la. (2009). Materiales sintéticos utilizados en la manipulación, exposición y

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

almacenamiento de obras de arte y bienes culturales: caracterización por espectroscopia FTIR-ATR. *Conservación de Arte Contemporáneo: 10a Jornada*, febrero 2009, 2009, ISBN 978-84-8026-409-9, Págs. 33-51, 33-51.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8072713>

Sanderson, M. J., Smith, I., Parker, I., & Bootman, M. D. (2014). Fluorescence microscopy. *Cold Spring Harbor Protocols*, 2014(10), 1042–1065. <https://doi.org/10.1101/pdb.top>

Sheppard, C. J. R. (2020). Scanning optical microscopy. *Advances in Imaging and Electron Physics*, 213, 227–325. <https://doi.org/10.1016/BS.AIEP.2019.11.001>

Stubbins, A., Law, K. L., Muñoz, S. E., Bianchi, T. S., & Zhu, L. (2021). Plastics in the Earth system. *Science*, 373(6550), 51–55.  
[https://doi.org/10.1126/SCIENCE.ABB0354/ASSET/B06675D9-0F84-4306-B875-8150320B2FF4/ASSETS/GRAPHIC/373\\_51\\_F4.JPEG](https://doi.org/10.1126/SCIENCE.ABB0354/ASSET/B06675D9-0F84-4306-B875-8150320B2FF4/ASSETS/GRAPHIC/373_51_F4.JPEG)

*Sustainability*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/su12145514>

Tavelli, R., Callens, M., Grootaert, C., Abdallah, M. F., & Rajkovic, A. (2022). Foodborne pathogens in the plastisphere: Can microplastics in the food chain threaten microbial food safety.? *Trends in Food Science & Technology*, 129, 1–10.  
<https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2022.08.021>

Thorn, K. (2016). A quick guide to light microscopy in cell biology. *Molecular Biology of the Cell*, 27(2), 219–222. <https://doi.org/10.1091/MBC.E15-02-0088/ASSET/IMAGES/LARGE/219FIG1.JPEG>

Tipos de leche y diferencias: ¿Y usted, qué leche quiere? (2019, febrero 24). AS.com.  
[https://as.com/ocio/2014/04/15/salud/1397565350\\_247412.html](https://as.com/ocio/2014/04/15/salud/1397565350_247412.html)

Udovicki, B., Andjelkovic, M., Cirkovic-Velickovic, T., & Rajkovic, A. (2022).  
Microplastics in food: scoping review on health effects, occurrence, and human

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

exposure. *International Journal of Food Contamination* 2022 9:1, 9(1), 1–16.

<https://doi.org/10.1186/S40550-022-00093-6>

Vázquez-Rowe, I., Ita-Nagy, D., & Kahhat, R. (2021). Microplastics in fisheries and aquaculture: implications to food sustainability and safety. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 29, 100464.

<https://doi.org/10.1016/J.COGSC.2021.100464>

Veerasingam, S., Ranjani, M., Venkatachalapathy, R., Bagaev, A., Mukhanov, V., Litvinyuk, D., Mugilarasan, M., Gurumoorthi, K., Guganathan, L., Aboobacker, V. M., & Vethamony, P. (2021). Contributions of Fourier transform infrared spectroscopy in microplastic pollution research: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(22), 2681-2743.

<https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1807450>

M., & eHarmony, P. (2021). Contributions of Fourier transform infrared spectroscopy in microplastic pollution research: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(22), 2681-2743. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1807450>

Wakeman, R. J., & Williams, C. J. (2002). Additional techniques to improve microfiltration. *Separation and Purification Technology*, 26(1), 3–18. [https://doi.org/10.1016/S1383-5866\(01\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S1383-5866(01)00112-5)

Winiarska, E., Marek Jutel, & Zemelka-Wiacek, M. (2024). The potential impact of nano- and microplastics on human health: Understanding human health risks. *Environmental Research*, 118535–118535. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118535>

Zarfl, C. (2019). Promising techniques and open challenges for microplastic

Zhang, Q., Zhao, Y., Li, J., & Shi, H. (2020). Microplastics in Food: Health Risks. *Handbook of Environmental Chemistry*, 95, 343–356. [https://doi.org/10.1007/698\\_2020\\_453](https://doi.org/10.1007/698_2020_453)

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

Zhou, X., Wang, J., & Ren, J. (2022). Analysis of Microplastics in Takeaway Food Containers in China Using FPA-FTIR Whole Filter Analysis. *Molecules*, 27(9). <https://doi.org/10.3390/molecules27092646>

¿Qué son los microplásticos y cómo se analizan? (n.d.). Retrieved May 8, 2024, from <https://www.eurofins-environment.es/es/que-son-microplasticos-como-se-analizan/>

“¿La Leche Descremada Proporciona Los Mismos Nutrientes Que La Leche Entera? (Para Padres).” *Kidshealth.org*, 2022, [kidshealth.org/es/parents/skinny-skim-milk.html](https://kidshealth.org/es/parents/skinny-skim-milk.html).

“¿Qué Es La Espectroscopía?” *Solinsa.mx*, 2024, [www.solinsa.mx/blogs/que-es-la-espectroscopia](http://www.solinsa.mx/blogs/que-es-la-espectroscopia).

“Fotoblanqueo | NAL Agricultural Thesaurus.” *Usda.gov*, 2015, [agclass.nal.usda.gov/es/vocabularies/nalt/concept?uri=https%3A//lod.nal.usda.gov/nalt/17981](https://agclass.nal.usda.gov/es/vocabularies/nalt/concept?uri=https%3A//lod.nal.usda.gov/nalt/17981).

“Molecular Expressions Microscopy Primer: Specialized Microscopy Techniques - Fluorescence - Basic Concepts in Fluorescence.” *Fsu.edu*, 2022, [micro.magnet.fsu.edu/primer/techniques/fluorescence/fluorescenceintro.html](http://micro.magnet.fsu.edu/primer/techniques/fluorescence/fluorescenceintro.html).

“Polystyrene | Chemical Compound | Britannica.” *Encyclopædia Britannica*, 2024, [www.britannica.com/science/polystyrene](http://www.britannica.com/science/polystyrene).

“Presence of Microplastics and Nanoplastics in Food, with Particular Focus on Seafood.” *EFSA Journal*, vol. 14, no. 6, 1 June 2016, [efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2903/j.efsa.2016.4501](https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2903/j.efsa.2016.4501), <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4501>

Vista de Caracterización de materiales a través de medidas de microscopía electrónica de barrido (SEM) | Elementos. (n.d.). Retrieved August 3, 2024, from <https://revistas.poligran.edu.co/index.php/elementos/article/view/420/397>

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

Halden R. U. (2010). Plastics and health risks. *Annual review of public health*, 31, 179–194.

<https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.012809.103714>

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

## ANEXOS

**Tabla 12**

*Concentración Total de Microplásticos en 200mL*

<b>C. grasa</b>	<b>Concentración de Microplásticos 200 mL</b>
<b>E1</b>	57
<b>E2</b>	44
<b>E3</b>	113
<b>E4</b>	45
<b>E5</b>	145
<b>E6</b>	77
<b>E7</b>	129
<b>E8</b>	49
<b>E9</b>	111
<b>E10</b>	135
<b>E11</b>	133
<b>E12</b>	31
<b>S1</b>	93
<b>S2</b>	78
<b>S3</b>	58
<b>S4</b>	41
<b>S5</b>	119
<b>S6</b>	90
<b>S7</b>	55
<b>S8</b>	41

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

<b>S9</b>	119
<b>S10</b>	90
<b>S11</b>	55
<b>S12</b>	40
<b>D1</b>	74
<b>D2</b>	58
<b>D3</b>	89
<b>D4</b>	66
<b>D5</b>	39
<b>D6</b>	49
<b>D7</b>	49
<b>D8</b>	64
<b>D9</b>	37
<b>D10</b>	68
<b>D11</b>	70
<b>D12</b>	102

*Nota.* Fuente: Autores 2024

### **Tabla 13**

*Media de la Concentración Total de cada Tipo de Leche según el Contenido de Grasa.*

<b>Media de la Concentración total de microplásticos</b>	
<b>Descremada</b>	63.7500
<b>Entera</b>	89.0833
<b>Semidescremada</b>	73.2500

*Nota.* Fuente: Autores 2024

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

**Tabla 14***Número de Fibras y Partículas en cada Muestra.*

<b>Contenido de grasa</b>	<b>Fibras</b>	<b>Partículas</b>
<b>Ent1</b>	25	32
<b>Ent2</b>	23	21
<b>Ent3</b>	42	71
<b>Ent4</b>	11	34
<b>Ent5</b>	104	41
<b>Ent6</b>	16	61
<b>Ent7</b>	107	22
<b>Ent8</b>	9	40
<b>Ent9</b>	76	35
<b>Ent10</b>	85	50
<b>Ent11</b>	54	79
<b>Ent12</b>	15	16
<b>Sem1</b>	30	63
<b>Sem2</b>	51	27
<b>Sem3</b>	39	19
<b>Sem4</b>	14	27
<b>Sem5</b>	76	43
<b>Sem6</b>	56	34
<b>Sem7</b>	16	39
<b>Sem8</b>	14	27
<b>Sem9</b>	76	43
<b>Sem10</b>	56	34

MPs: Microplásticos

MP: Microplásticos

NMP: nano y microplásticos

<b>Sem11</b>	16	39
<b>Sem12</b>	9	31
<b>Des1</b>	28	46
<b>Des2</b>	25	33
<b>Des3</b>	52	37
<b>Des4</b>	17	49
<b>Des5</b>	27	12
<b>Des6</b>	27	22
<b>Des7</b>	28	21
<b>Des8</b>	13	51
<b>Des9</b>	29	8
<b>Des10</b>	47	21
<b>Des11</b>	58	12
<b>Des12</b>	29	73

*Nota.* Fuente: Autores 2024

**Tabla 15**

*Media de la Concentración de Fibras de cada Tipo de Leche según el Contenido de Grasa.*

<b>Media de las Fibras de los microplásticos</b>	
<b>Descremada</b>	31.7
<b>Entera</b>	47.2
<b>Semidescremada</b>	37.8

*Nota.* Fuente: Autores 2024

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

**Tabla 16**

*Media de la Concentración de Partículas de cada Tipo de Leche según el Contenido de Grasa.*

---

Media de las partículas de los microplásticos	
Descremada	32.1
Entera	41.8
Semidescremada	35.5

---

*Nota.* Fuente: Autores 2024

**Tabla 17**

*Frecuencia de las Clases de Microplásticos Presentes en las Muestras.*

---

Contenido de grasa	Clase de microplástico	Frecuencia
Entera	Nylon	41
Entera	Polietileno Mix	22
Semidescremada	Polipropileno isotáctico	3
Semidescremada	Polietileno Mix	10
Semidescremada	Nylon	23

---

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

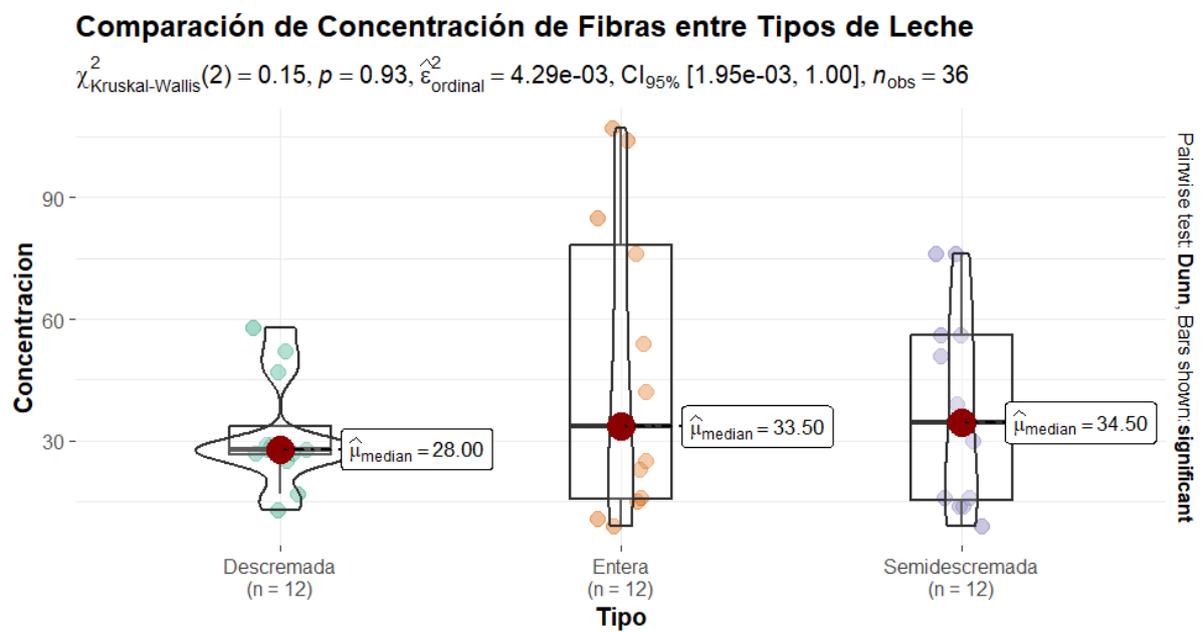
**NMP:** nano y microplásticos

Descremada	Polypropylene + poly (ethylene: propylene)	2
Descremada	Polietileno Mix	5
Descremada	Nylon	21

Nota. Fuente: Autores 2024

**Figure 6**

Resultados de la prueba de Kruskal Wallis en Relación con la Concentración Total de Microplásticos

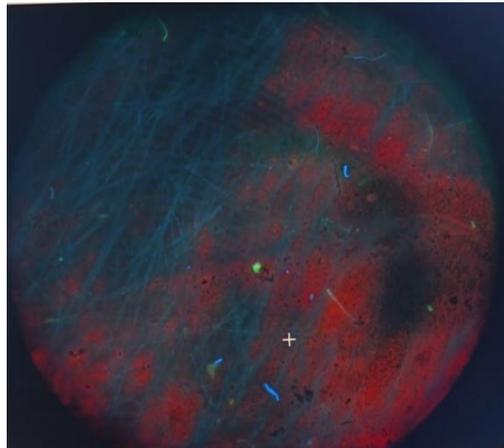


Nota. Fuente: Autores 2024

MPs: Microplásticos  
 MP: Microplásticos  
 NMP: nano y microplásticos

**Figure 7**

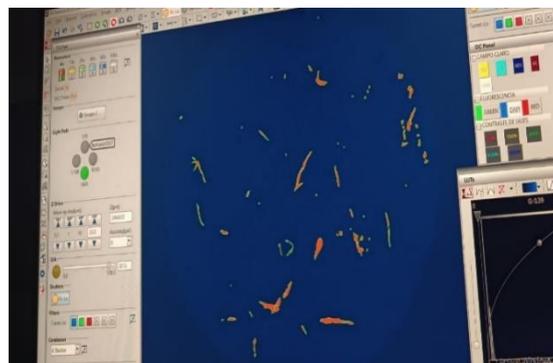
*Muestra de Leche Observada en las 3 Longitudes de Onda.*



*Nota.* Fuente: Autores 2024

**Figure 8**

*Determinación del Tamaño de los Microplásticos Observados.*

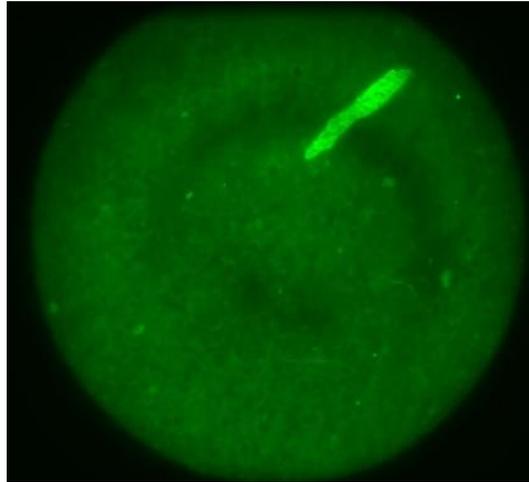


*Nota.* Fuente: Autores 2024

**MPs:** Microplásticos  
**MP:** Microplásticos  
**NMP:** nano y microplásticos

**Figure 9**

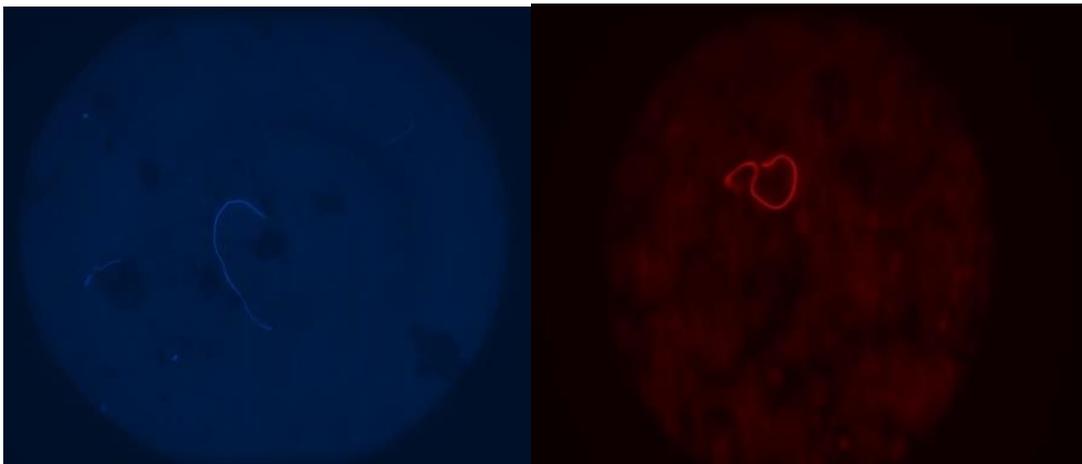
*Partícula de Microplástico Observada con Fluorescencia Green en la Muestra de Leche Semidescremada.*



*Nota.* Fuente: Autores 2024

**Figure 10**

*Fibras Observadas en Fluorescencia DAPI y Red en la Muestra de Leche Semidescremada*

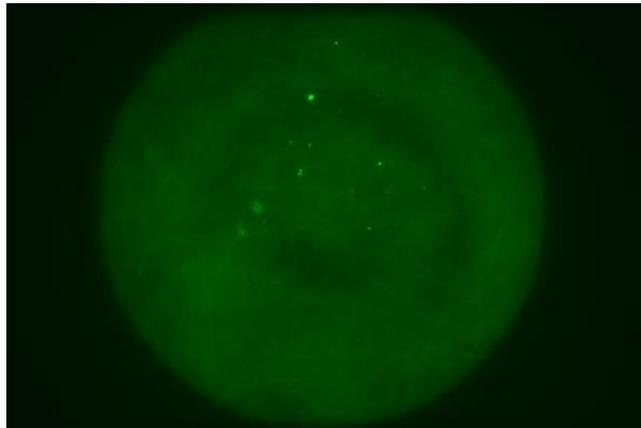


*Nota.* Fuente: Autores 2024

**MPs:** Microplásticos  
**MP:** Microplásticos  
**NMP:** nano y microplásticos

**Figure 11**

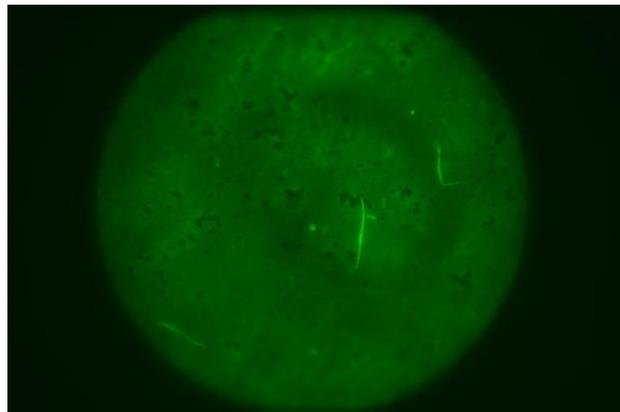
*Partículas Observadas en la Muestra de Leche Entera en Fluorescencia Green.*



*Nota.* Fuente: Autores 2024

**Figure 12**

*Fibras y Partículas de la Muestra de Leche Entera*



*Nota.* Fuente: Autores 2024

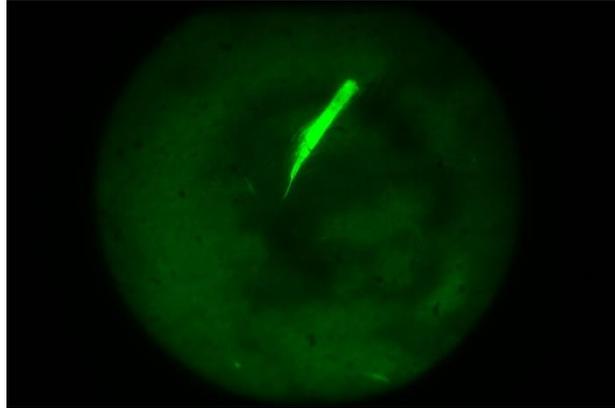
**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

**Figure 13**

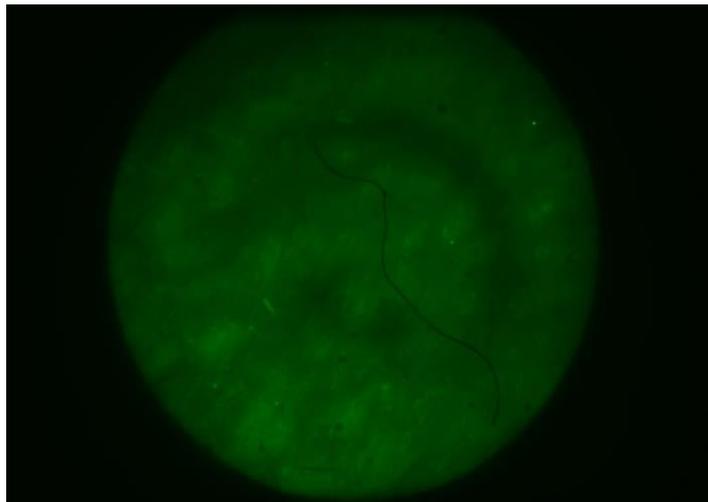
*Fibra de Gran Tamaño Observada en la Muestra de Leche Entera.*



*Nota.* Fuente: Autores 2024

**Figure 14**

*Fibra Observada en la Muestra de Leche Entera que no Presento Fluorescencia, pero en el FTIR se Determinó que era Nailon*

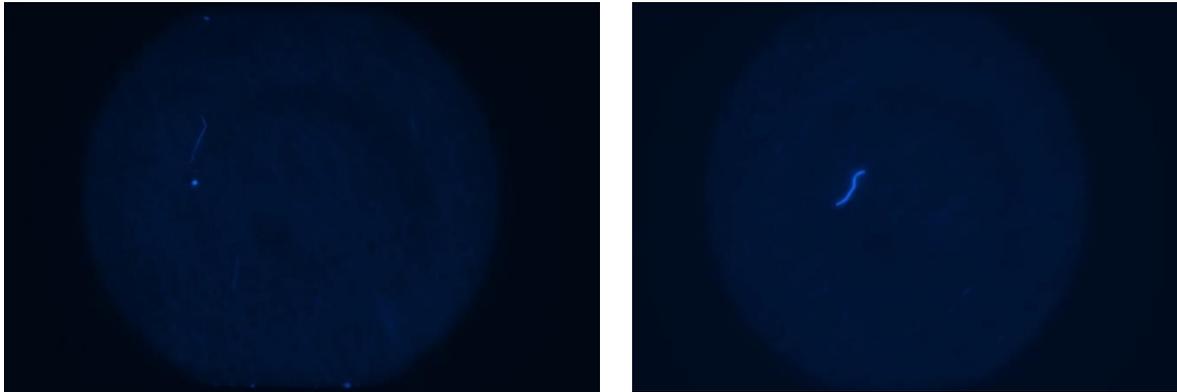


*Nota.* Fuente: Autores 2024

MPs: Microplásticos  
MP: Microplásticos  
NMP: nano y microplásticos

**Figure 15**

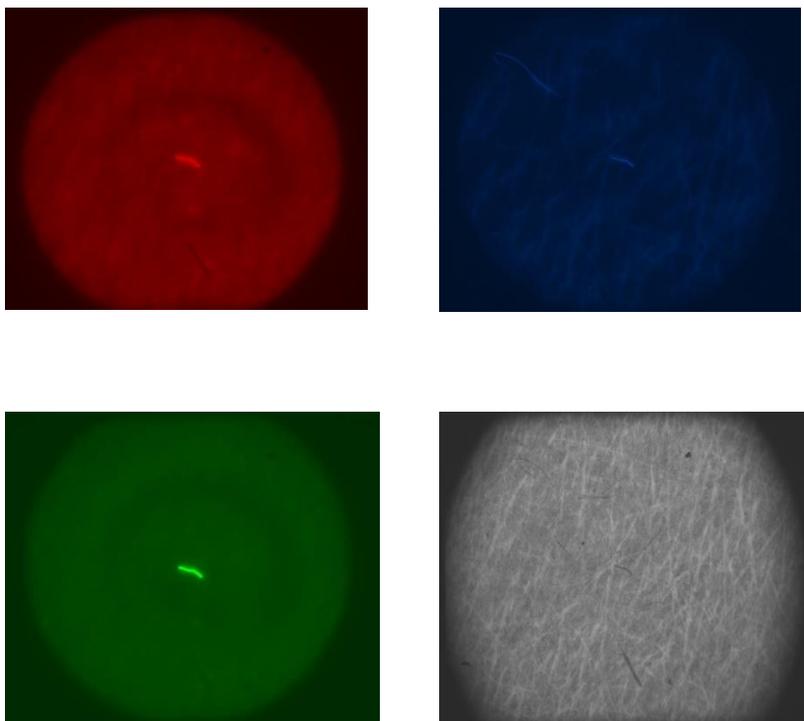
*Partículas y Fibras de la Leche Entera Visualizadas en DAPI.*



*Nota.* Fuente: Autores 2024

**Figure 16**

*Fibra Observada en las 4 Longitudes de Ondas.*

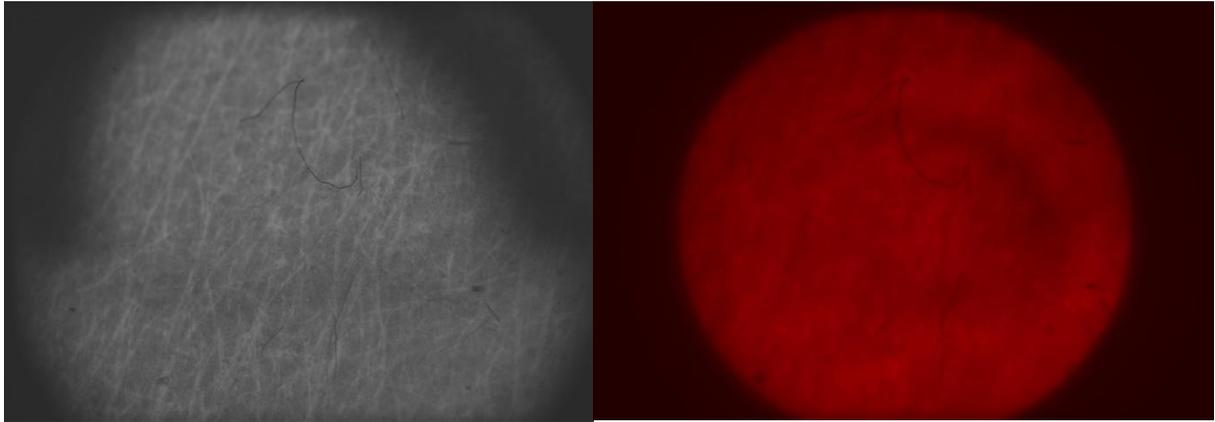


*Nota.* Fuente: Autores 2024

**MPs:** Microplásticos  
**MP:** Microplásticos  
**NMP:** nano y microplásticos

**Figure 17**

*Fibra Observada en Campo Claro y Red de la Muestra de Leche Entera*



*Nota.* Fuente: Autores 2024

**Figure 18**

*Fibra Observada en DAPI en la Muestra de Leche Descremada.*

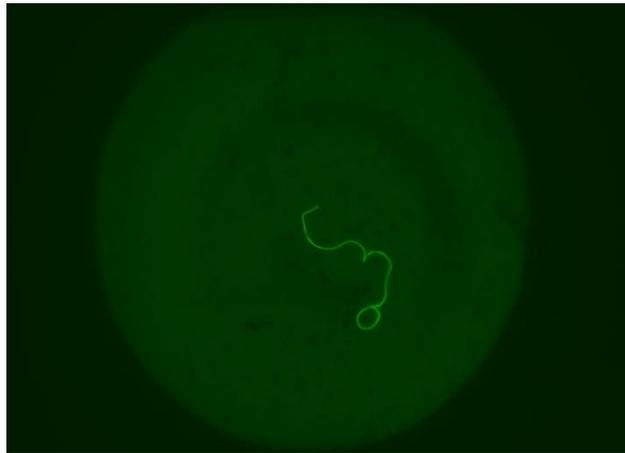


*Nota.* Fuente: Autores 2024

**MPs:** Microplásticos  
**MP:** Microplásticos  
**NMP:** nano y microplásticos

**Figure 19**

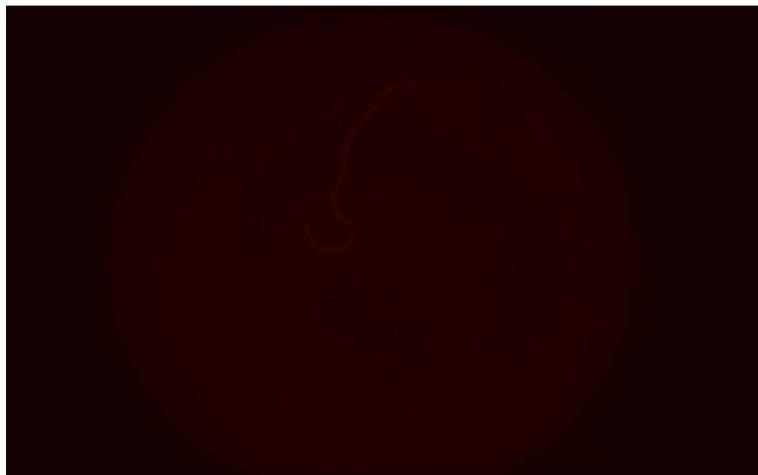
*Fibra Observada en Green en la Muestra de Leche Descremada.*



*Nota.* Fuente: Autores 2024

**Figure 20**

*Fibra con Fluorescencia Red en Muestra de Leche Descremada.*



*Nota.* Fuente: Autores 2024

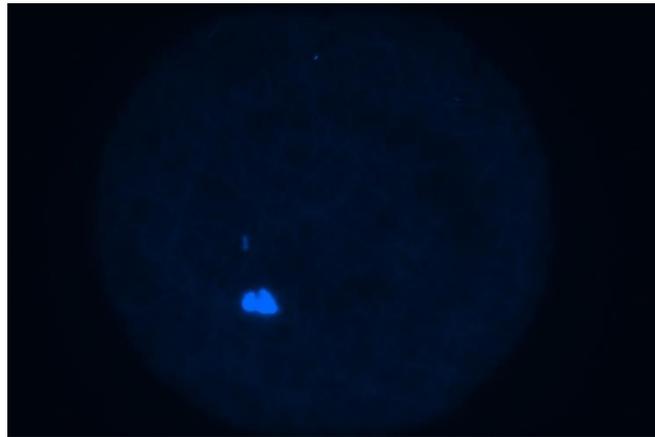
**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

**Figure 21**

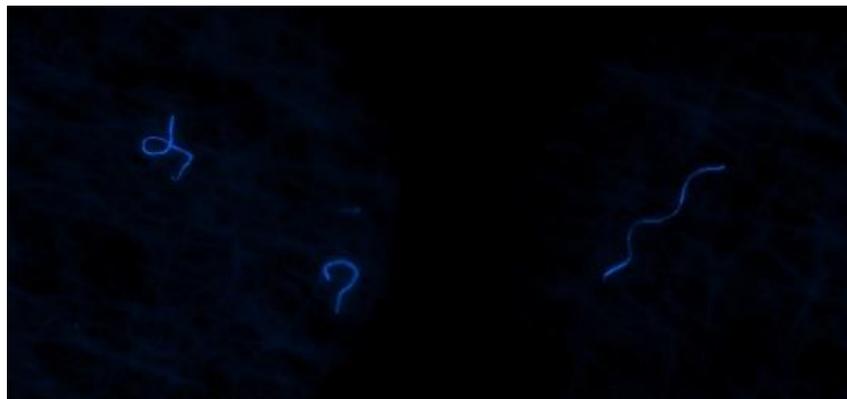
*Partícula en DAPI de Leche Descremada.*



*Nota.* Fuente: Autores 2024

**Figure 22**

*Fibras Observadas en el Agua Milli-Q Destilada y Filtrada en Fluorescencia DAPI.*

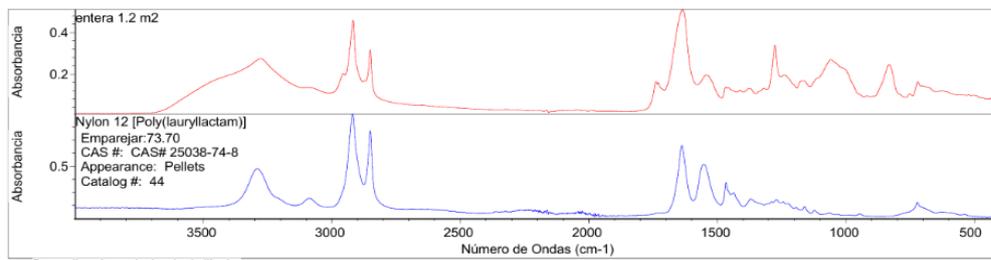


*Nota.* Fuente: Autores 2024

**MPs:** Microplásticos  
**MP:** Microplásticos  
**NMP:** nano y microplásticos

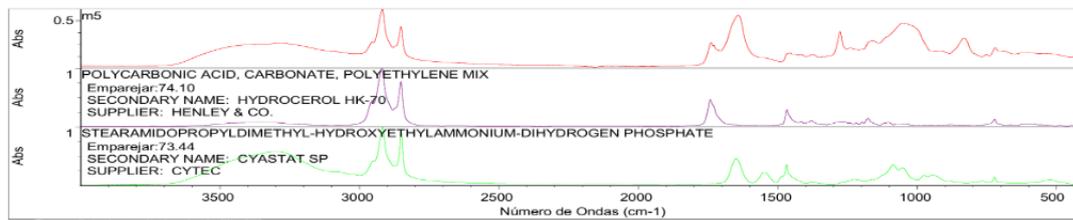
**Figure 23**

*Espectros Obtenidos Mediante FTIR de la Muestra de Leche Entera.*



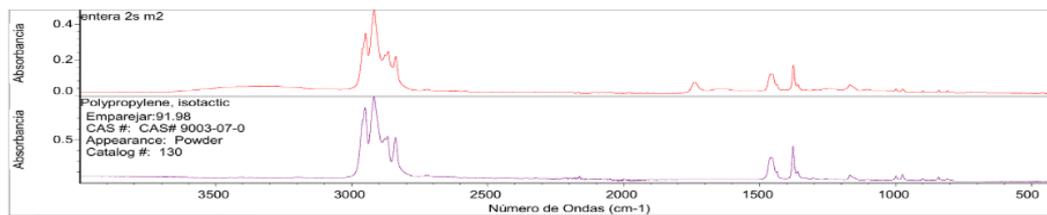
Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	30	Nylon 12 [Poly(lauryllactam)]	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
2	1163	STEARAMIDOPROPYLDIMETHYL-HYDROXYETHYLAMMONIUM-DIHYDROGEN PHO	HR Polymer Additives and Plasticizers
3	29	Nylon 11 [Poly(undecanoamide)]	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR - corrected



Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	404	POLYCARBONIC ACID, CARBONATE, POLYETHYLENE MIX	HR Polymer Additives and Plasticizers
2	1163	STEARAMIDOPROPYLDIMETHYL-HYDROXYETHYLAMMONIUM-DIHYDROGEN PHO	HR Polymer Additives and Plasticizers
3	709	POLYOLEFIN COMPOUND #5	HR Polymer Additives and Plasticizers
4	30	Nylon 12 [Poly(lauryllactam)]	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
5	29	Nylon 11 [Poly(undecanoamide)]	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
6	326	STEARAMIDE	HR Polymer Additives and Plasticizers
7	445	MONO AND DIGLYCERIDES FROM MEAT FATS	HR Polymer Additives and Plasticizers
8	1162	STEARAMIDOPROPYLDIMETHYL-B-HYDROXYETHYLAMMONIUM NITRATE	HR Polymer Additives and Plasticizers
9	840	Poly(octadecyl acrylate)	HR Hummel Polymer and Additives
10	731	FATTY ACID ESTER #3	HR Polymer Additives and Plasticizers



Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	67	Polypropylene, isotactic	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
2	324	Polypropylene + poly(ethylene:propylene)	HR Hummel Polymer and Additives
3	41	POLY(PROPYLENE), ATACTIC	Hummel Polymer Sample Library
4	67	Polypropylene, isotactic	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR
5	322	Polypropylene + poly(ethylene:propylene)	HR Hummel Polymer and Additives
6	566	Polypropylene, atactic	HR Hummel Polymer and Additives
7	942	Polypropylene, isotactic	HR Hummel Polymer and Additives
8	303	Polypropylene + 20% talcum	HR Hummel Polymer and Additives
9	499	Poly(propylene:ethylene), 83 mol% C3	HR Hummel Polymer and Additives
10	323	Polypropylene + poly(ethylene:propylene)	HR Hummel Polymer and Additives

Nota. Fuente: Autores 2024

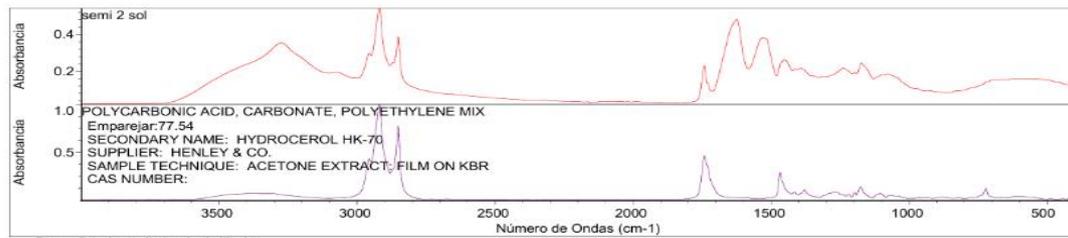
MPs: Microplásticos

MP: Microplásticos

NMP: nano y microplásticos

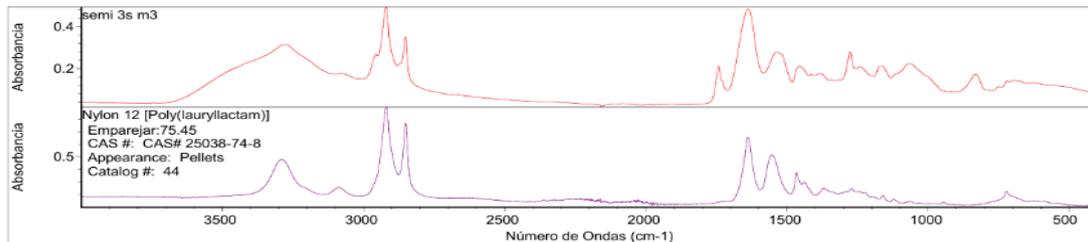
**Figure 24**

*Espectros Obtenidos en el FTIR de la Leche Semidescremada.*



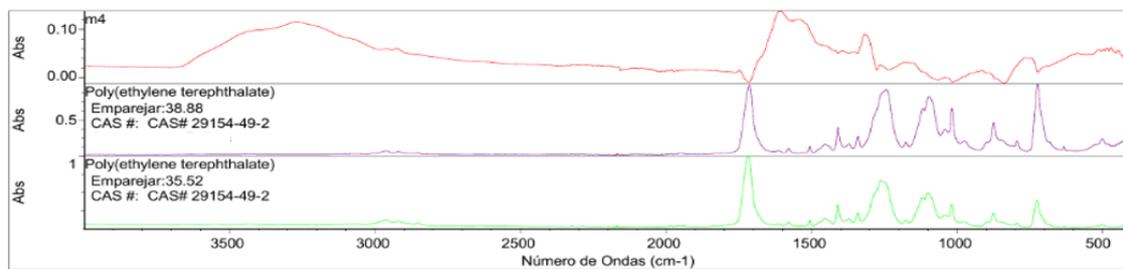
Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	404	77.54 POLYCARBONIC ACID, CARBONATE, POLYETHYLENE MIX	HR Polymer Additives and Plasticizers
2	860	75.45 METHYL STEARATE	HR Polymer Additives and Plasticizers
3	709	73.81 POLYOLEFIN COMPOUND #5	HR Polymer Additives and Plasticizers
4	707	73.70 POLYOLEFIN COMPOUND #4	HR Polymer Additives and Plasticizers
5	423	73.02 EMULDAN HV52	HR Polymer Additives and Plasticizers
6	840	72.95 Poly(octadecyl acrylate)	HR Hummel Polymer and Additives
7	30	72.78 Nylon 12 [Poly(lauryllactam)]	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
8	445	72.51 MONO AND DIGLYCERIDES FROM MEAT FATS	HR Polymer Additives and Plasticizers
9	13	71.56 Ethylene/vinyl acetate copolymer 18 wt%	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
10	12	71.42 Ethylene/vinyl acetate copolymer 14 wt%	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR - corrected



Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	30	75.45 Nylon 12 [Poly(lauryllactam)]	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
2	29	74.45 Nylon 11 [Poly(undecanoamide)]	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
3	404	73.55 POLYCARBONIC ACID, CARBONATE, POLYETHYLENE MIX	HR Polymer Additives and Plasticizers
4	546	72.91 COCCAMIDOPROYL BETAINE	HR Polymer Additives and Plasticizers
5	1028	71.15 Vestamid L1600	HR Hummel Polymer and Additives
6	722	70.54 Polyamide-12	HR Hummel Polymer and Additives
7	709	70.48 POLYOLEFIN COMPOUND #5	HR Polymer Additives and Plasticizers
8	999	70.38 Grilamid ELY 60	HR Hummel Polymer and Additives
9	840	70.26 Poly(octadecyl acrylate)	HR Hummel Polymer and Additives
10	423	70.16 EMULDAN HV52	HR Polymer Additives and Plasticizers



Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	57	38.88 Poly(ethylene terephthalate)	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR
2	57	35.52 Poly(ethylene terephthalate)	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
3	40	35.30 Poly(butylene terephthalate)	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR
4	744	35.09 Poly(vinylammonium chloride)	HR Hummel Polymer and Additives
5	40	34.22 Poly(butylene terephthalate)	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
6	573	33.81 Poly(terephthaloyl oxamidrazone) + SrCO3	HR Hummel Polymer and Additives
7	757	32.73 Cellulose nitrate, 12.4%N	HR Hummel Polymer and Additives
8	33	31.68 Polyacrylamide	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR
9	2	31.09 CYANOQUANIDINE, SUBSTITUTED	Hummel Polymer Sample Library
10	33	31.09 Polyacrylamide	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR - corrected

Nota. Fuente: Autores 2024

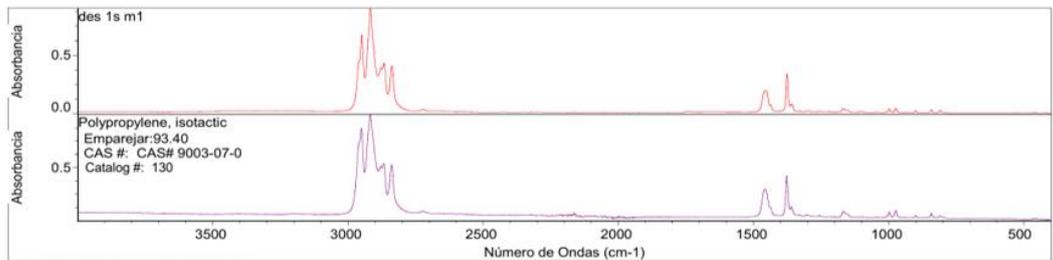
MPs: Microplásticos

MP: Microplásticos

NMP: nano y microplásticos

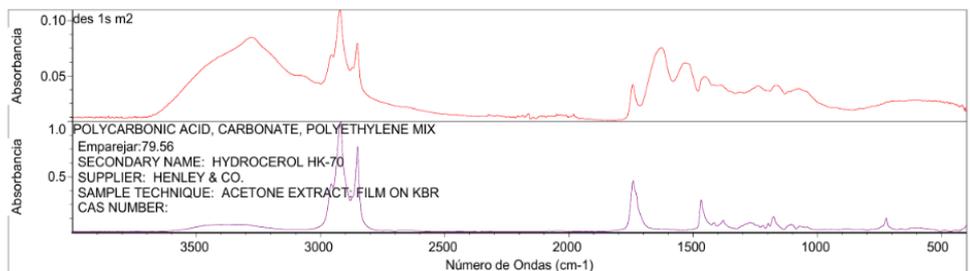
**Figure 25**

*Spectros Obtenidos en el FTIR de la Leche Descremada.*



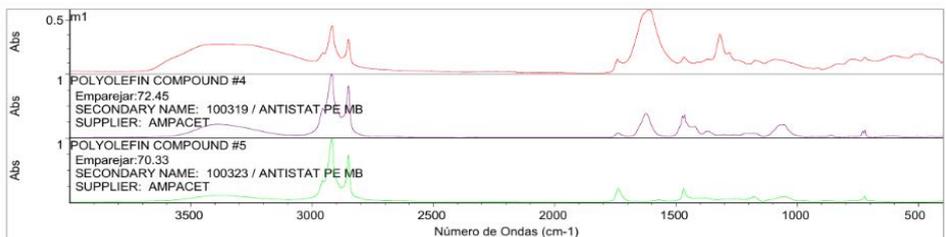
Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	67	93.40 Polypropylene, isotactic	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
2	324	88.29 Polypropylene + poly(ethylene:propylene)	HR Hummel Polymer and Additives
3	41	86.80 POLY(PROPYLENE), ATACTIC	Hummel Polymer Sample Library
4	67	85.59 Polypropylene, isotactic	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR
5	566	84.36 Polypropylene, atactic	HR Hummel Polymer and Additives
6	942	83.37 Polypropylene, isotactic	HR Hummel Polymer and Additives
7	303	83.04 Polypropylene + 20% talcum	HR Hummel Polymer and Additives
8	1653	80.03 POLYPROPYLENE-AMORPHOUS	HR Polymer Additives and Plasticizers
9	322	79.46 Polypropylene + poly(ethylene:propylene)	HR Hummel Polymer and Additives
10	1061	79.07 Poly(propylene:butenone), 2:1	HR Hummel Polymer and Additives



Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	404	79.56 POLYCARBONIC ACID, CARBONATE, POLYETHYLENE MIX	HR Polymer Additives and Plasticizers
2	1897	78.67 Ethylene glycol searate	HR Hummel Polymer and Additives
3	423	78.49 EMULDAN HV52	HR Polymer Additives and Plasticizers
4	1706	78.36 BIS(2-HYDROXYETHYL) DIMERATE	HR Polymer Additives and Plasticizers
5	134	78.21 Bis-(2-hydroxyethyl) dimerate)	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
6	233	78.16 METHYL TIN MERCAPTIDE #8	HR Polymer Additives and Plasticizers
7	1175	77.63 SORBITAN ESTER #3	HR Polymer Additives and Plasticizers
8	1212	77.17 SORBITAN MONOLEATE #1	HR Polymer Additives and Plasticizers
9	1123	77.04 SORBITAN LAURATE #1	HR Polymer Additives and Plasticizers
10	1251	76.87 GLYCEROL MONOLEATE #2	HR Polymer Additives and Plasticizers



Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	707	72.45 POLYOLEFIN COMPOUND #4	HR Polymer Additives and Plasticizers
2	709	70.33 POLYOLEFIN COMPOUND #5	HR Polymer Additives and Plasticizers
3	404	68.75 POLYCARBONIC ACID, CARBONATE, POLYETHYLENE MIX	HR Polymer Additives and Plasticizers
4	1090	68.70 METHYL TIN MERCAPTIDE #5	HR Polymer Additives and Plasticizers
5	1908	68.68 Docosanol	HR Hummel Polymer and Additives
6	326	68.67 STEARAMIDE	HR Polymer Additives and Plasticizers
7	731	68.59 FATTY ACID ESTER #3	HR Polymer Additives and Plasticizers
8	445	68.06 MONO AND DGLYCERIDES FROM MEAT FATS	HR Polymer Additives and Plasticizers
9	1770	68.06 PROPYLENE GLYCOL MONOSTEARATE	HR Polymer Additives and Plasticizers
10	735	68.00 N,N-BIS(2-HYDROXYETHYL) STEARYL AMINE	HR Polymer Additives and Plasticizers

Nota. Fuente: Autores 2024

MPs: Microplásticos

MP: Microplásticos

NMP: nano y microplásticos

**Figure 26**

*Coagulación de la Leche.*



*Nota.* Fuente: Autores 2024

**Figure 27**

*Parte Sólida Obtenida Mediante el Filtrado con la Tela de Lino.*



*Nota.* Fuente: Autores 2024

**Figure 28**

*Reacción de Fenton en las Diferentes Muestras.*



*Nota.* Fuente: Autores 2024

**MPs:** Microplásticos

**MP:** Microplásticos

**NMP:** nano y microplásticos

**Figure 29**

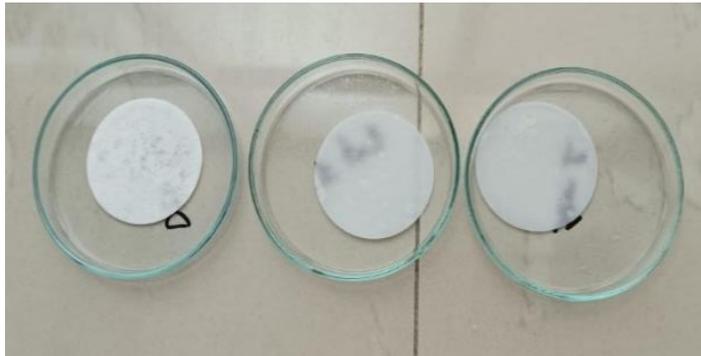
*Equipo de Microfiltración.*



*Nota.* Fuente: Autores 2024

**Figure 30**

*Secado de los Filtros a Temperatura Ambiente.*



*Nota.* Fuente: Autores 2024

**MPs:** Microplásticos  
**MP:** Microplásticos  
**NMP:** nano y microplásticos