



---

---

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**

**FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**TESIS**

***EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN LECHE***

***CRUDA EN EL MUNICIPIO DE ACULCO ESTADO DE MÉXICO***

**PRESENTA:**

**Vanessa Olivares Flores**

**DIRECTORA DE TESIS:**

**Dra. EN C. JULIETA GERTRUDIS ESTRADA FLORES**

**DR. EN C. LUIS ALBERTO PERALTA PELÁEZ**



ÍNDICE	
RESUMEN .....	7
INTRODUCCIÓN .....	8
ANTECEDENTES .....	10
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	14
HIPÓTESIS.....	14
OBJETIVOS .....	15
1.1    Objetivo General .....	15
1.2    Objetivos Específicos.....	15
JUSTIFICACIÓN .....	16
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	18
1.3    MARCO TEÓRICO .....	18
1.3.1    Definición y Clasificación de Microplásticos .....	18
1.3.2    Impacto de los Microplásticos .....	19
1.3.3    Microplásticos en la Cadena Alimentaria .....	20
1.3.4    Identificación de Microplásticos en el Organismo Humano .....	25
1.3.5    Técnicas para el Análisis de Microplásticos .....	26
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	29
.....	
29	
2    MARCO METODOLÓGICO .....	30
2.1.1    Diseño de Estudio .....	30
2.1.2    Método de Muestreo .....	34
2.1.3    Análisis de Datos .....	36
2.1.4    Procedimiento Experimental .....	37
<b>CAPITULO 3</b> .....	46
3.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	46
3.1.2 Recomendaciones .....	59

CONCLUSIONES .....	60
REFERENCIAS .....	61

**Índice de Tablas** Tabla 1. Cuantificación de Microplásticos en Productos Lácteos ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 2. Estado general de los establos .....	31
Tabla 3. Variables en la Toma de Muestras.....	33
Tabla 4. Equipos, Reactivos y Materiales.....	42
Tabla 5. Identificación de Microplásticos en Muestras Directas de Leche .....	52
Tabla 6. Identificación de Microplásticos en Muestras Indirectas de Leche .....	54

### Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación Geográfica de la Zona de Estudio .....	31
Figura 2. Ubicación Geográfica de los Puntos de Muestreo .....	32
Figura 3. Muestra Indirecta Recolectada Después de Tener Contacto con el Contenedor .....	38
Figura 4. Muestra Recolectada Directamente de la Ubre .....	38
Figura 5. Presencia de Materia Orgánica .....	39
Figura 6. Filtración Mediante la Membrana de Acero Inoxidable .....	39
Figura 7. Presencia de Fibra.....	40
Figura 8. Prueba de Blancos .....	41
Figura 9. Proceso de Incubación .....	42
Figura 10. Protocolo de Digestión .....	42
Figura 11. Eliminación de Humedad .....	43
Figura 12. Microfiltración con Filtros de Fibra de Vidrio. ....	43
Figura 13. Caracterización Morfológica .....	44
Figura 14. Microscopio Estereoscópico Marca “Motic” .....	44
Figura 15. Cuantificación de Partículas por Establo .....	46
Figura 16. Clasificación de Partículas de Acuerdo el Tipo de Muestreo .....	47
Figura 17. Distribución de Partículas por Establo en la Muestra Recolectada Directamente de la Ubre.....	49
Figura 18. Distribución de Partículas por Establo en la Recolectada Después de Tener Contacto	

con el Recipiente de Recolección .....	50
Figura 19. Morfología de los Microplásticos .....	51
Figura 20. Presencia de Fibra en Tonalidad Oscura .....	52
Figura 21. Presencia de Fibra en Tonalidad Rojiza .....	52
Figura 22. Presencia de Partícula Irregular con Tonalidad Transparente .....	53

## **Abreviaturas**

**MPs** Microplásticos

**PE** Polietileno

**PET** Tereftalato de Polietileno

**PP** Polipropileno

**PVC** Policloruro de vinilo

**PMM** Polimetilmetacrilato

**PS** Estireno

## RESUMEN

Los productos lácteos desempeñan un papel importante en la dieta y la salud humana, se considera que son fuente importante de calcio, proteínas, vitaminas y minerales; En México la mayor parte de la población consume productos lácteos como la leche, queso o yogurt. Sin embargo, la generación de residuos sólidos y de materiales sintéticos representa un riesgo para la integridad de estos productos. De las principales causas se basan en la desintegración y fragmentación de plásticos por lo que se tiene como resultado partículas menores de 5 milímetros denominadas “microplásticos”.

Por lo que el presente trabajo se centra en evaluar la presencia de microplásticos en leche no pasteurizada producida por el ganado de la población local de Tixhiñu del municipio de Aculco dedicado a realizar actividades ganaderas y agrícolas. Por lo cual se recolectaron 30 muestras de leche, 15 de ellas obtenidas directamente de la ubre del bovino y el resto se tomaron de forma indirecta, después de que el producto tuvo contacto con el contenedor con el comúnmente los productores recolectar la leche. Las muestras se sometieron a un análisis de laboratorio en el cual se identificó la presencia de 152 fragmentos con un tamaño promedio 1.6 mm y por medio del microscopio estereoscópico en el cual se determinó al 90% de las partículas con una estructura fibrosa y el 10% restante con una forma irregulares con una colorimetría en la que abundaban partículas en colores negras y rojizas.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación por residuos plásticos es una problemática ambiental inducida por las actividades humanas por lo que el planeta se ha visto afectado de diferentes formas un ejemplo de estos son las alteraciones en los ecosistemas, reducciones significativas de la productividad de los suelos y pérdida de la biodiversidad.

En México, la producción anual de residuos sólidos urbanos asciende a cerca de 1,300 millones de toneladas (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012), de los cuales, según el Inventario Nacional de Fuentes de Contaminación Plástica (SEMARNAT, 2023), alrededor del 12% corresponde a desechos plásticos. La mayor parte de estos residuos proviene de empaques y embalajes de un solo uso, o bien, de productos plásticos mal gestionados que terminan liberándose en el medio ambiente.

La exposición de estos materiales al ambiente provoca la fragmentación de estos en pequeñas partículas algunas determinadas como microplásticos a los fragmentos con un tamaño de 0.1 a 100 micrómetros y nanoplásticos a partículas de 1 a 100 nanómetros Reyna. (2024). Como consecuencia del potencial uso de materiales sintéticos y la descomposición de estos, con el propósito de conocer a mayor profundidad el impacto de estas partículas se clasificaron para los microplásticos primarios a aquellos fragmentos que se generan para productos de cuidado personal y cosméticos un ejemplo de estos son las microperlas y a los microplásticos secundarios a los resultados de la fragmentación de materiales sintéticos de mayor magnitud (McIlwraith et al., 2021).

Además de fragmentarse, los microplásticos contienen una variedad de componentes tóxicos que se han relacionado con problemas de salud como enfermedades cardiovasculares o problemas reproductivos, bloqueando el tracto digestivo de los animales o bien alterar su comportamiento. Por lo que Chacón y Rogdas, (2019) realizaron una investigación en dos bebidas

alcohólicas en las que se encontró la presencia de microplásticos en donde el polímero que más predominó fue el polietileno (PE).

Prata et al. (2019), y colaboradores mencionaron la complejidad de llevar a cabo las técnicas para el análisis de microplásticos, por lo tanto, existen diferentes alternativas para realizar la cuantificación e identificación de estos contaminantes los cuales se ajustan al elemento de estudio. A pesar de eso, las metodologías existentes siguen una secuencia similar, es decir; Preparación de la muestra, procesamiento, identificación y cuantificación de microplásticos e interpretación de resultados.

En este sentido, es fundamental considerar la aplicación de estas técnicas en productos lácteos, considerando que la leche es un producto con alto contenido de proteínas, calcio, vitaminas y minerales esenciales para el desarrollo y crecimiento humano (Gómez y Mejía, 2005) por lo que es importante determinar la presencia de microplásticos en los procesos de ordeño en el Municipio de Aculco, Estado de México.

## **ANTECEDENTES**

Desde la Revolución Industrial, la humanidad ha enfrentado desafíos ambientales cada vez más complejos. Este panorama se intensificó a partir de la década de 1930, con el desarrollo de materiales plásticos como el nailon y el teflón (Montero y Mejía Barragán, 2008). La demanda de plásticos como el polietileno (PE), el polipropileno (PP) y el policloruro de vinilo (PVC) ha crecido de forma significativa en las últimas décadas, impulsada por factores como su bajo costo, utilidad y versatilidad. Estas características han favorecido su adopción tanto en la vida cotidiana como en diversos sectores industriales.

No obstante, este auge en el uso de plásticos ha generado impactos ambientales negativos considerables. Su prolongado tiempo de degradación y la inadecuada gestión de los residuos han contribuido a una acumulación persistente en el medio ambiente. Además, la degradación de estos materiales no implica una descomposición completa, sino su fragmentación en partículas cada vez más pequeñas, lo que intensifica la formación y dispersión de microplásticos.

A partir de esas primeras evidencias Thompson (2004) fue uno de los primeros científicos en generar investigaciones sobre estas partículas en las playas, demostrando la fragmentación de plásticos en formas sedimentarias, en donde menciona los riesgos que implica la acumulación de estos contaminantes para la fauna marina, dada la capacidad de los plásticos de absorber, transportar y liberar sustancias tóxicas.

En el primer taller internacional llevado a cabo en la Universidad de Washington Tacoma por la Agencia Nacional Oceánica y atmosférica (NOAA) se identificaron las primeras fuentes de estos contaminantes, incluyendo la degradación de plásticos y los artículos de cuidado personal con microperlas también se estableció la definición de microplásticos como fragmentos sintéticos menores de 5 mm de diámetro (Arthur et al., 2009).

A partir de esta denominación comenzaron a generarse diversos estudios sobre la presencia de microplásticos, Hidalgo-Ruz et al. (2012), analizo e identifico los métodos más utilizados en ese momento para la identificación de microplásticos, los estudios revisados se basaron principalmente en muestras de agua y arena. Identificando cuatro pasos cruciales para el análisis de microplásticos, basados en; Separación por densidad, filtración, tamizado y clasificación visual de microplásticos.

El avance de los estudios generados en ambientes marinos comenzó a aumentar por lo que (Bollaín Pastor & Vicente Agulló, 2020) mencionan la importancia de generar estudios en aguas continentales destinadas para consumo humano, así como la trascendencia que tiene generar una gestión adecuada de los residuos plásticos para prevenir la fragmentación e impacto por microplásticos.

Los estudios comenzaron a extenderse a ecosistemas terrestre por lo que ÁlvarezLopezello (2021) genero un estudio sobre la contaminación por microplásticos en Oaxaca, México, en el cual encontraron diferentes niveles de concentración de fibras y fragmentos sintéticos en selvas neotropicales, sabanas, plantaciones de pino y pastizales el autor menciona los efectos adversos que estos fragmentos implican debido a su tamaño ya que podrían ser ingeridos por la microfauna y alterar la cadena trófica.

Como resultado de las investigaciones generadas en ambientes marinos comenzaron los estudios en diversas especies; Iannaconeet al., (2021) realizaron un estudio en cinco especies de pescados diferentes y descubrieron evidencia de microplásticos en el tracto digestivo, lo que sugiere que estos se ingieren a través de la dieta, con una mayor concentración de fibras en las branquias.

Por otro lado Godoy-Balcarcel (2021), estableció la importancia que tiene el hábito alimenticio de cada especie con respecto a la acumulación de microplásticos, su estudio se basó en 225 peces en donde identifico la presencia de microplásticos en el sistema gastrointestinal, principalmente en especies omnívoras encontraron una proporción superior al contrario de especie carnívoras, asociando esto a que las especies carnívoras son más selectivas al alimentarse.

De acuerdo con Zapata (2023), menciona que una forma de transferencia de los microplásticos es por el mecanismo de bioacumulación, una fracción considerable de los residuos plásticos llegan a los océanos deteriorándose en varias partículas que son consumidas por diversos peces y mariscos de esta forma los MPs pueden transitar a los ecosistemas marinos, organismos y redes alimentarias.

Conforme ha transcurrido el tiempo los estudios han avanzados y como resultado se presenta la evidencia de este contaminante en diferentes especies que consume la población por lo que diversos autores comenzaron a cuestionarse sobre la presencia de estas partículas en productos específicamente para el ser humano y con ello las posibles fuentes de contaminación.

Por lo que los procesos de producción en alimentos también fueron analizados Buyukunal (2023), desencadeno un estudio en una bebida típica de Turquía nombrada Ayran, bebida a base de leche en la cual analizaron las diferentes fases que se llevan a cabo para la elaboración de este producto de los cuales en cada uno se hallaron evidencias de microplásticos.

Además del Ayran otro producto de consumo común que se sometió a estudio fue la miel, en su presentación artesanal e industrial encontrando mayor disposición de microplásticos en la miel artesanal esto se puede atribuir a las distintas formas de producción y en las condiciones en las que se encuentra cada uno (Valarezo et al., 2024).

La presencia de microplásticos en la leche es un tema de creciente preocupación. Según un estudio de Basaran et al. (2023), se encontraron un total de 264 microplásticos en 14 leches comerciales analizadas mediante espectroscopia FTIR. Estos contaminantes se presentaron en forma de fibras y fragmentos. La contaminación de la leche, un producto alimenticio común y ampliamente consumido, representa una amenaza significativa para la seguridad alimentaria (Sota,

2017). Es fundamental investigar las posibles fuentes de contaminación para abordar este problema.

Además como bien se ha mencionado en diferentes estudios los microplásticos se pueden incorporar mediante la ingestión y se pueden transferir por bioacumulación en la cadena alimentaria a pesar de las diversas investigaciones sobre microplásticos, aún no se define el nivel de riesgo que estos contaminantes representan para la salud humana así como conocer las vías de procedencia e incorporación de microplásticos en la cadena alimenticia (Plaul et al., 2024).

### **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Está presente la contaminación por microplásticos en la leche cruda producida por los ganaderos del municipio de Aculco?

## **HIPÓTESIS**

La leche cruda producida por los ganaderos del municipio de Aculco contiene microplásticos, cuya presencia está relacionada con las condiciones de recolección y almacenamiento durante el proceso de ordeño.

## **OBJETIVOS**

### **1.1 Objetivo General**

Evaluar la contaminación por microplásticos en la leche cruda del municipio de Aculco mediante el análisis comparativo de dos muestras.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Determinar las características físicas como tamaño, forma y color de los microplásticos existentes en leche bronca.
- Identificar posibles fuentes de contaminación por microplásticos en el proceso de producción y recolección de la leche, considerando factores como materiales de ordeño, recipientes, condiciones higiénicas y tipo de utensilios.

- Analizar los resultados obtenidos para proponer recomendaciones de mitigación para reducir la presencia de microplásticos en sistemas de producción local.

## JUSTIFICACIÓN

La leche es un producto que le brinda al ser humano vitaminas y minerales esenciales para el desarrollo humano que no se obtienen fácilmente en otros alimentos, además se utiliza para la elaboración de diferentes productos incluyendo quesos, yogures y mantequillas considerando que a nivel mundial se produce alrededor de 930 millones de toneladas de leche de vaca (FAO, 2022). Por lo cual es importante que la leche se encuentre inocua, así como reducir el riesgo de exposición a contaminantes, llevando a cabo las prácticas de ordeño adecuadas, recomendadas por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural para los productores, asimismo, es importante que se tomen en cuenta los métodos de almacenamiento establecido por la Nom-251-SSA1-2009.

La seguridad alimentaria depende en gran medida de la capacidad para detectar y controlar los microorganismos patógenos en los alimentos. En este contexto la identificación de microplásticos en especies de origen marino ha sido una contribución valiosa para establecer un protocolo experimental estándar. Investigadores como, Guo et al., (2022) menciona el riesgo potencial que representan los microplásticos y la importancia de establecer técnicas analíticas para identificarlos en matrices “ambientales, agrícolas y alimentarias”.

En lo que respecta a la leche cruda es un paso fundamental en la producción de productos lácteos, por lo que es importante realizar un análisis exhaustivo para garantizar su seguridad y

calidad. Considerando que Coronel y Sigüenza, (2023) encontraron evidencia de microplásticos en la totalidad de las muestras de leche cruda proveniente de Azuay al igual que Amer et al., (2021) quienes identificaron “plomo, cadmio y aluminio” excediendo los límites establecidos en leche no pasteurizada.

Al obtener la leche directamente de la vaca, se encuentra en su forma natural en el cual se mantienen sus componentes originales como; grasas, proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales, aunque también se pueden encontrar algunos microorganismos propios de la vaca. Por lo tanto, si existe presencia de microplásticos en ese estado de la leche podría ser un indicador del cual los microplásticos podrían estar atravesando por las células del tejido mamario de la vaca. Tal como menciona Ragusa (2022), en el análisis que generó en leche materna en donde encontró evidencia de microplásticos en más del 70% de sus muestras, no obstante, el autor menciona que fue necesario conocer el nivel de exposición de las mujeres con los materiales sintéticos por tal razón es necesario conocer la exposición de las vacas en áreas que puedan estar afectadas por microplásticos.

Considerando la presencia de microplásticos en la leche cruda, es fundamental evaluar su impacto en regiones con gran producción láctea como en el municipio de Aculco que además dicha actividad representa una importancia económica en el sector agrícola ya que la leche es utilizada para la elaboración de quesos con características específicas de la región, estimula la economía local mediante la generación de empleos en distintas etapas de como en la cría de ganado, ordeño, transporte, procesamiento y comercialización asimismo fortalece la economía de pequeños productores que se dedican exclusivamente a la venta de leche fresca.

## CAPÍTULO 1

### 1.3 MARCO TEÓRICO

#### 1.3.1 Definición y Clasificación de Microplásticos

En la década de 1970, el uso de materiales de plásticos comenzó a incrementarse de forma desmedida, lo que dificultaba su adecuada disposición final. Como resultado, una parte considerable de estos residuos terminaban en tiraderos de cielo abierto o era liberados directamente al medio ambiente, donde se fragmentaban por procesos de erosión o fotodegradación (Carpenter et al., 1972).

El término *microplásticos* se utilizó por primera vez en una investigación generada por el biólogo Richard Thompson, (2004) en el cual se analizó la presencia de pequeñas partículas sintéticas en sedimentos marinos en el cual detecto la acumulación de estos materiales (<5mm) en los océanos a lo largo del tiempo. Estas partículas poseen características específicas: Son fragmentos sólidos, con un tamaño menor a 5 mm, insolubles en agua y, por lo general, no degradables. Están compuestas principalmente por polímeros sintéticos derivados del petróleo, y pueden contener aditivos químicos (da Costa et al., 2016).

Por lo tanto, los microplásticos se definen como el resultado de la descomposición de estructuras moleculares compuestas por polímeros lineales y ramificados, cuyas propiedades incluyen rigidez y resistencia a la exposición ambiental. Asimismo, la administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) clasificó los microplásticos según su tamaño: microplásticos grandes (de 1 a 5 mm) y microplásticos pequeños (menores de 10  $\mu\text{m}$ ).

Posteriormente se clasifico para los microplásticos primarios a las partículas fabricadas intencionadamente en tamaños reducidos y no resultan de procesos de degradación. Entre sus principales orígenes se encuentran los productos de cuidado personal que contienen microperlas, elaboradas a partir de polímeros como polietileno, polipropileno y poliestireno, comúnmente utilizados en cosméticos y exfoliantes (Hernández et al., 2023).

También destacan los nurdles o pellets, que se emplean como materia prima en la fabricación de productos plásticos. Además, los textiles sintéticos constituyen una fuente importante de contaminación, ya que durante su lavado liberan microfibras plásticas que llegan a los recursos hídricos (Duncan et al., 2018 ).

Sin embargo los microplásticos secundarios se generan a partir de la desintegración de partículas plásticas más grandes mediante procesos químicos, como corrosión, fotooxidación o exposición a altas temperaturas, así como por mecanismos ambientales como la biodegradación y la erosión por abrasión (Karkanorachaki et al., 2018).

La principal fuente de contaminación de estos fragmentos son las zonas urbanas, donde la acumulación de residuos plásticos, como películas agrícolas y botellas, contribuye significativamente a la contaminación. También la industria de materiales de construcción aporta a esta problemática mediante la producción de materiales utilizados para reforzar estructuras, mejorar la apariencia de espacios, así como en aislantes y tuberías (Battulga et al., 2019).

### **1.3.2 Impacto de los Microplásticos**

Estas partículas se han determinan como omnipresentes porque son componentes no biodegradables acumulables y muy persistentes, los estudios han determinado su presencia con

mayor frecuencia en ecosistemas marinos como resultado de la contaminación por actividades antrópicas y a la deficiente gestión de residuos por parte de la sociedad (Tran et al., 2023).

Estos fragmentos sintéticos se han considerado como un contaminante emergente por el riesgo ecotoxicológico que presentan para los ecosistemas marinos como para los ecosistemas terrestres por ende los estudios se han extendido a sistemas hídricos, edafológicos y a la atmósfera (Haque y Fan, 2023).

Los ecosistemas hídricos como ríos, lagos, arrecifes o el océano son los principales receptores de microplásticos afectando de forma gradual a la fauna marina considerando que estos fragmentos pueden ser ingeridos (Gall & Thompson, 2015) por organismos como peces, moluscos y zooplancton como consecuencia pueden obstruir el sistema digestivo y transportar contaminantes adheridos que se acumulan en la cadena alimentaria además de que la acumulación de estos elementos afecta la productividad de los ecosistemas marinos (Marmara et al., 2023).

En ecosistemas terrestres los microplásticos pueden poner en riesgo la fertilidad de los suelos afectando la capacidad de retener nutrientes (Wang et al., 2020), asimismo afectan las funciones de biorremediación que generan los organismos que se encuentran en el suelo por ejemplo; la captación de gases de efecto invernadero y la descomposición de materia orgánica (Sajjad et al., 2022).

### **1.3.3 Microplásticos en la Cadena Alimentaria**

Estudios recientes han identificado concentraciones significativas de microplásticos, especialmente en ecosistemas marinos, lo que ha generado una creciente preocupación en la comunidad científica. Estos fragmentos presenta una amenaza potencial para la salud de los organismos que habitan dichos ecosistemas (Alfaro-Núñez et al., 2021). Este escenario motivo a

diversos investigadores a profundizar no solo en el impacto ambiental, sino que también en las posibles consecuencias dentro de la cadena alimentaria. Los primeros estudios se han centrado principalmente en la ingestión de microplásticos por especies marinas.

Un ejemplo de ello es el estudio de Cole et al. (2013), donde se demostró que el zooplancton es capaz de ingerir microplásticos, lo que puede derivar en efectos negativos sobre su biología. Mediante técnicas de bioimagen, los autores observaron como estos fragmentos son ingeridos, eliminados y adheridos a distintas especies comunes de zooplancton del Atlántico nororiental. Asimismo, evaluaron como la presencia de microplásticos afecta la capacidad de los copépodos “crustáceos” para alimentarse de algas.

Debido a su reducido tamaño, los microplásticos pueden ser ingeridos fácilmente por organismos como el plancton o ciertos invertebrados (Wright et al., 2013). Estos a su vez pueden ser consumidos por otros animales, facilitando la acumulación de microplásticos a lo largo de la cadena trófica por procesos de biomagnificación (Gao et al., 2024). Esta dinámica no solo afecta a los ecosistemas acuáticos y terrestres, sino que también pueden alterar las funciones internas de los organismos e incrementar el transporte de sustancias químicas tóxicas hacia los seres humanos (Lehel & Murphy, 2021).

### **1.3.3.1 Vías de Contaminación en los Alimentos**

Diversas investigaciones como la de Plaul et al. (2024), mencionan que los microplásticos pueden generar alteraciones tanto directas como indirectas en los ecosistemas, dependiendo de factores como su localización, tamaño, concentración y su capacidad para interactuar con elementos bióticos y abióticos.

En el ámbito alimentario, la contaminación por microplásticos puede originarse a través de los materiales de embalaje ya que las propiedades del plástico, como la ligereza, flexibilidad y resistencia, han favorecido su uso extensivo en la industria alimentaria (Navarro-Espinoza et al., 2023). Sin embargo su utilización implica un contacto directo con los productos, lo que puede facilitar la transferencia de microplásticos a los alimentos de acuerdo con Cverenkárová et al., (2021).

De manera similar, el uso de plásticos en la agricultura, como las cubiertas para suelos, así como el riego con aguas residuales, pueden liberar microplásticos en el suelo, alterando sus condiciones (Tang, 2023). Se ha demostrado que estos contaminantes pueden influir en la biota edáfica en distintos niveles tróficos, lo que representa un riesgo potencial para la cadena alimentaria y la salud humana (He et al., 2018).

La transferencia trófica de microplásticos representa una vía emergente de propagación de estos contaminantes, estas partículas se pueden transferir a lo largo de la cadena alimentaria, desde organismos pequeños hasta depredadores superiores dicha transferencia puede ocurrir mediante diferentes mecanismos, como la ingestión, biomagnificación, asimilación y acumulación en tejidos (Carbery et al., 2018).

### **1.3.3.2 Estudios Previos de Microplásticos en la Leche**

Un análisis comparativo de distintos tipos de leche mostró que la leche entera presenta la mayor concentración de microplásticos, mientras que la semidescremada y la descremada registran niveles inferiores. La prueba de Kruskal-Wallis confirmó que el contenido de grasa no influye de manera significativa en dicha concentración (Piña et al., 2024).

Basaran et al. (2023) examinaron 14 leches comerciales turcas mediante AFM/FT-IR y detectaron polímeros como tereftalato de polietileno, polipropileno, poliuretano y nailon, evidenciando contaminación durante el procesamiento. Su análisis de riesgo clasificó las concentraciones halladas en un nivel intermedio, destacando la variabilidad asociada a la evaluación.

En otro estudio, Badwanache y Dodamani (2024) compararon leche comercial pasteurizada con leche cruda: la primera contenía más microplásticos, diferencia atribuida principalmente al envasado. Por su parte, Kutralam-Muniasamy (2020) analizaron exclusivamente leches comerciales y hallaron un promedio de 6,5 partículas por muestra menos que lo reportado en otros trabajos y, mediante espectroscopía Raman, identificaron fragmentos procedentes de membranas empleadas en la industria láctea (polietersulfona y polisulfona).

Aunque la investigación sobre microplásticos en productos lácteos ha aumentado, sigue siendo necesario estandarizar los métodos de análisis, asegurar tamaños de muestra representativos y controlar la contaminación cruzada para robustecer la validez de los resultados.

**Tabla 1. Cuantificación de Microplásticos en Productos Lácteos**

Autor	Estudio	Resultado
<b>(Piña et al., 2024)</b>	El estudio se centró en determinar como el contenido de grasa en la leche puede influir en la concentración y caracterización de los microplásticos (MPs).	Detectaron entre 31-145 partículas por cada 200 mL en las que predominaba la presencia de fibras sobre partículas regulares.
<b>(Basaran et al., 2023)</b>	El propósito del artículo fue evaluar el nivel de riesgo de contaminación por microplásticos durante los procesos de producción de la leche.	En donde encontraron 6 microplásticos por cada litro de leche con una variación de ( $\pm 5$ ) por muestra. La morfología de dichos fragmentos se caracterizaba principalmente por ser fibras.
<b>(Badwanache &amp; Dodamani, 2024)</b>	La finalidad de este estudio fue determinar la cantidad de microplásticos presentes en leches comerciales y en leches recolectadas directamente de establos.	Se detectaron 36 partículas microplásticas en 21 muestras de leche de leche, dado que no especifica el principal tipo de microplásticos que se encontraron menciona la presencia de fibras y partículas regulares.
<b>(Kutralam-Muniasamy et al., 2020)</b>	El objetivo de esta investigación fue evaluar la contaminación por microplásticos y analizar sus características morfológicas en muestras de leche.	La cantidad de microplásticos vario entre 1 y 5 partículas por litro de leche, predominando la presencia de microplásticos en fibras de color azul.
<b>(Ragusa et al., 2022)</b>	Este estudio se basó en conocer la contaminación de microplásticos en la leche materna para evaluar otra ruta de exposición a MP en la población extremadamente vulnerable de bebés.	Analizaron 34 muestras de leche materna de las cuales en 26 encontraron la presencia de MPs en forma irregular y esferas.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

### **1.3.4 Identificación de Microplásticos en el Organismo Humano**

Debido a su amplia distribución y a su tamaño, que facilita su ingestión, los microplásticos representan actualmente un riesgo potencial para diversos órganos y sistemas del cuerpo. Uno de los primeros estudios en confirmar su presencia en órganos internos fue realizado en Malasia por Ibrahim et al. (2021) quienes detectaron partículas de microplásticos en muestras de colon obtenidas de 11 adultos.

A partir de la confirmación de la presencia de estas partículas, comenzaron a desarrollarse más investigaciones como la de Ragusa et al. (2021) en donde identificaron un total de 12 fragmentos plásticos en seis placentas humanas, se evidencio que los microplásticos pueden atravesar barreras biológicas como la placentaria. Esta investigación expone la posibilidad de exposición directa del feto a estos contaminantes lo que representa un riesgo para el desarrollo del embrión.

Además de ser detectadas en la placenta, un estudio realizado por Leslie et al. (2022) confirmaron la presencia de partículas plásticas en sangre humana. Los polímeros identificados incluyeron polietileno (PE), estireno (PS) y polimetilmetacrilato (PMMA), lo que demuestra su biodisponibilidad y capacidad de ser absorbidos en el torrente sanguíneo.

De acuerdo con Abbas et al. (2025) MPs como el poliestireno, el polipropileno y el polietileno causan efectos negativos en la salud humana como inflamación en el sistema respiratorio y gastrointestinal lo cual potencializa es riesgo por enfermedades cardiovasculares y

neurotoxicidad. Sin embargo, aún no se han determinado con exactitud los riesgos directos que representa la presencia de estos fragmentos en el ser humano, ni los mecanismos mediante los cuales se transfieren a los seres vivos. Por ello, ha sido fundamental para la comunidad científica continuar desarrollando investigaciones que aporten mayor evidencia sobre este fenómeno.

### **1.3.5 Técnicas para el Análisis de Microplásticos**

La contaminación por microplásticos es un problema ambiental en rápido crecimiento que suscita gran preocupación en la comunidad científica. Por ello, resulta esencial desarrollar y aplicar métodos fiables para identificar y cuantificar estas partículas en las distintas matrices ambientales y biológicas. La matriz de estudio condiciona la técnica analítica más adecuada y permite prever sus alcances y limitaciones (Sridhar et al., 2022).

Dado que los microplásticos son ubicuos y pueden ocasionar efectos adversos en la salud humana y los ecosistemas, es imprescindible adoptar medidas que limiten su dispersión y aseguren la precisión de los análisis. Para evitar la contaminación cruzada durante el muestreo y en el laboratorio, (Cruz-Salas et al., 2023a) recomienda, entre otras acciones, utilizar contenedores de vidrio o metal para la recolección de muestras, filtrar previamente el agua y los reactivos, y emplear controles por triplicado sometidos al mismo tratamiento que las muestras.

#### **1.3.5.1 Métodos de Identificación de Microplásticos**

Existen diversos métodos para analizar la contaminación por microplásticos. Algunas de las técnicas más comunes se basan en métodos ópticos que permiten observar la morfología de las partículas, así como en la microscopía de fluorescencia, que facilita la identificación de su composición química. En muchos casos, dependiendo de sus objetivos y alcances de la

investigación, es necesario combinar varios métodos analíticos para obtener resultados más precisos y completos (Tirkey & Upadhyay, 2021).

La microscopia de fluorescencia es una técnica que se basa en la emisión de luz por parte de ciertas sustancias después de absorber energía luminosa. Esta técnica se utiliza para visualizar y estudiar estructuras celulares y otros componentes microscópicos. La fuente de iluminación empleada suele ser luz ultra violeta (UV), la cual induce a las moléculas de fluorescentes a absorber la luz y luego emitirla a una longitud de onda diferente, generando una fluorescencia característica. Este método es muy útil en el estudio de microplásticos ya que permite identificar estas partículas con mayor precisión (Davidson y Abramowitz, 2002)

Otro método utilizado en el análisis de microplásticos es la microscopia de luz dado que es una herramienta utilizada por su accesibilidad y facilidad de uso, así como por la capacidad que tiene de operar de forma que no afecta y conserva lo que se pretenda analizar, no es obligatorio dividir las muestras en secciones delgadas, colocarlas en un entorno vacío o exponerlas a partículas de alta energía. Por lo que sus características conservativas son esenciales en algunas áreas como en el estudio de muestras biológicas o las que incluyan microorganismos tal cual como en áreas de materiales y dispositivos semiconductores algunas de sus desventajas radican en la resolución restringida, bajo contraste y la delimitada profundidad de campo (Sheppard, 2020).

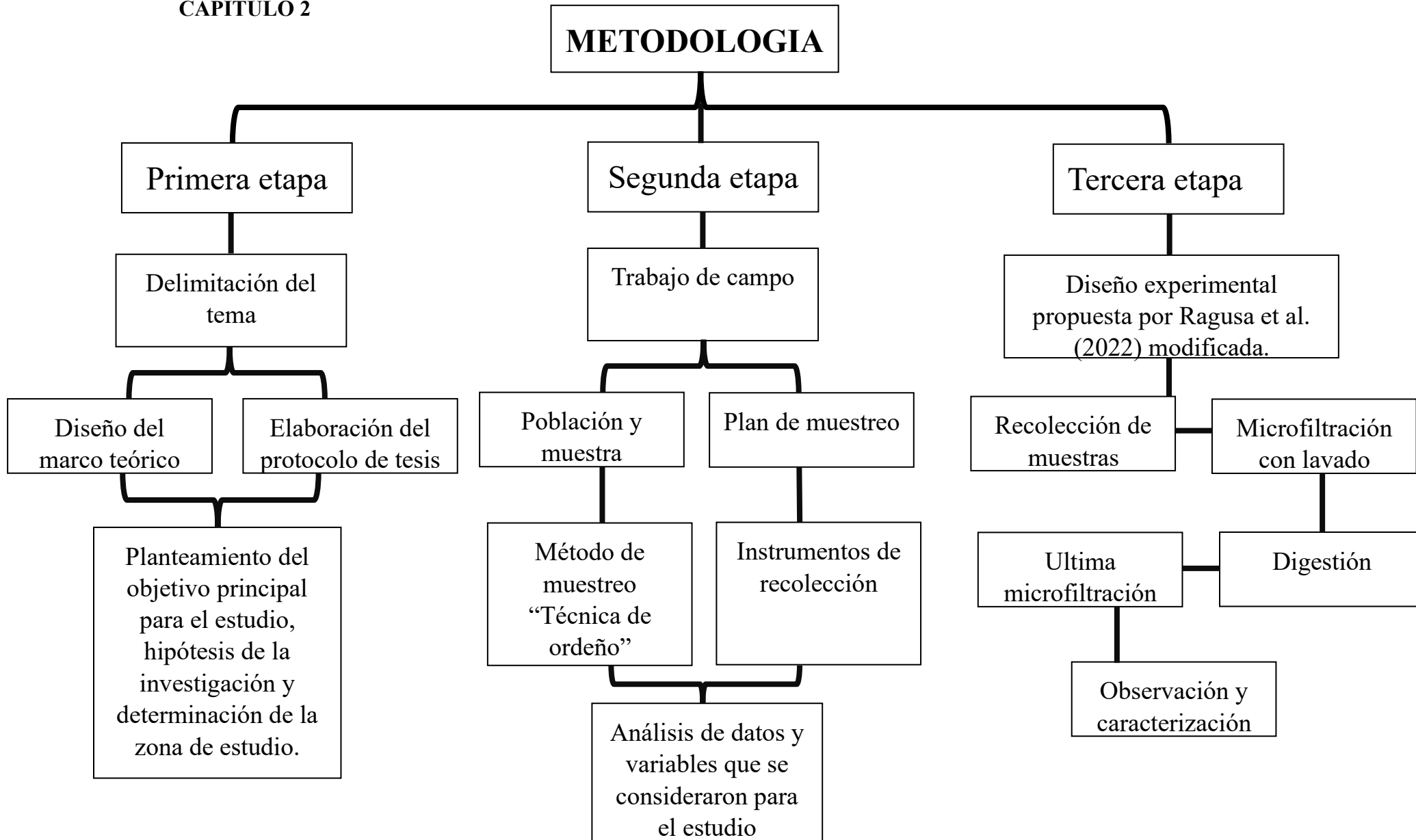
### **1.3.5.2 Separación de Sedimentación y Digestión de la Materia Orgánica**

Para matrices en materia orgánica, se han aplicado diversos procesos adaptados a los objetivos específicos de cada estudio. Sin embargo, en ambientes con alta densidad de materia orgánica biogénica, es necesario eliminar este contenido mediante el uso de soluciones ácidas o alcalinas. Es importante considerar que estos tratamientos pueden tener efectos adversos sobre los

microplásticos, por lo que deben evaluarse factores como el tiempo de exposición de temperatura durante la digestión (Pfeiffer & Fischer, 2020).

La digestión ácida con hipoclorito de sodio (NaClO) a temperaturas inferiores a 50°C ha demostrado ser efectiva para tejidos blandos y duros, pero puede provocar degradación parcial de ciertos polímeros, como la poliamida (PA), el polietileno tereftalato (PET) y el poliestireno (PS). En cuanto a digestiones alcalinas, el hidróxido de sodio (NaOH) representan un riesgo significativo para la integridad del PET, mientras que el hidróxido de potasio (KOH) parece tener un efecto menos agresivo sobre este polímero (Cruz-Salas et al., 2023)

## CAPÍTULO 2



Fuente: Elaboración propia, 2025.

## **2 MARCO METODOLÓGICO**

### **2.1.1 Diseño de Estudio**

Se llevo a cabo esta investigación por la relación que tienen los microplásticos con las ciencias ambientales y el impacto que han generado al grado de ser considerado como un contaminante emergente por los efectos que pueden ocasionar al medio ambiente a la cadena trófica como al ser humano. Se genero la revisión de elementos teóricos para conocer los alcances del proyecto las limitaciones, los resultados que se han obtenido, consideraciones relevantes como el protocolo para evitar la contaminación cruzada y los métodos de análisis para la elaborar el diseño experimental.

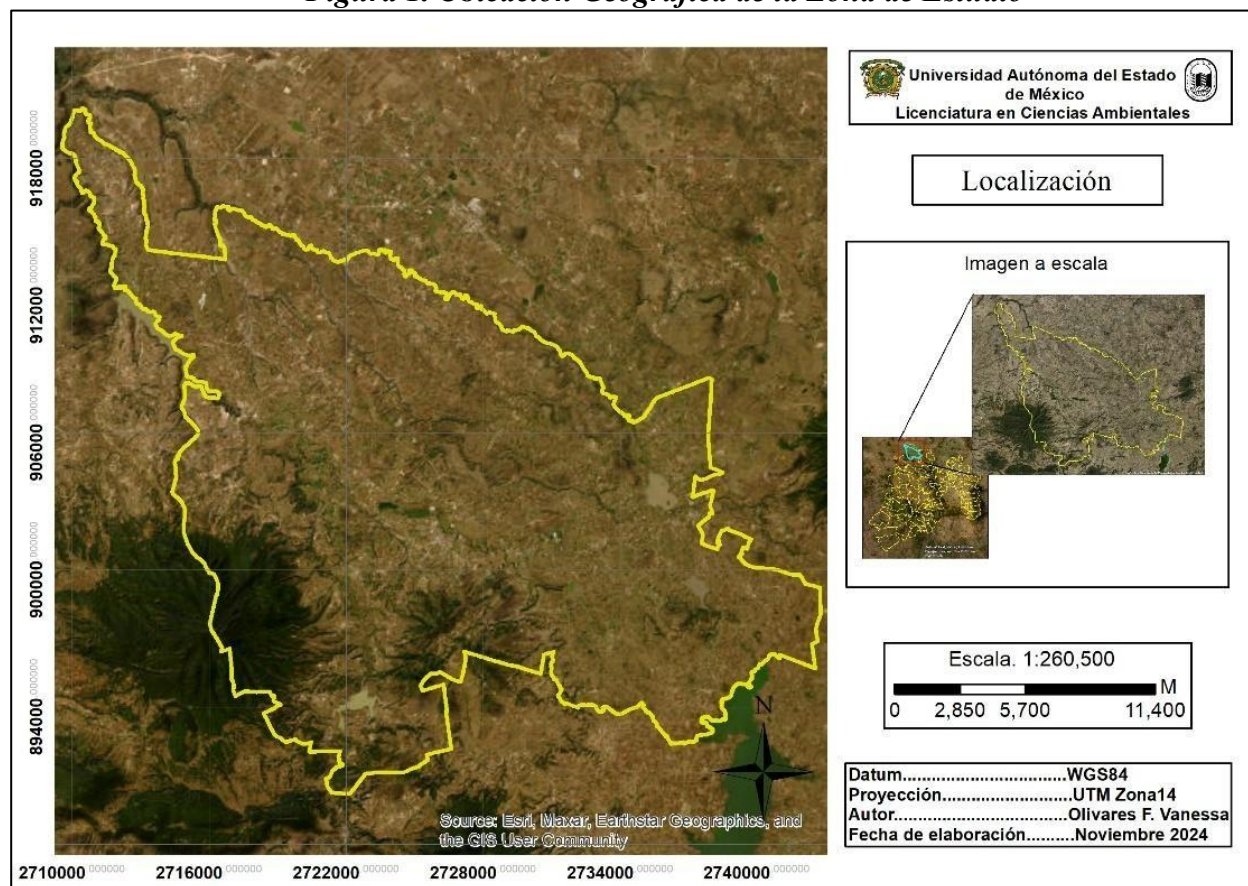
#### **2.1.1.1 Diseño de Investigación**

El diseño de la metodología del proyecto involucra datos cuantitativos y cualitativos, se generó un estudio de campo para la elección del área de estudio como para la recolección de las muestras para conocer la relevancia de generar una investigación en esta zona por sus características físicas, culturales y sociales, esta información es de gran importancia para determinar el impacto de los microplásticos en el municipio de Aculco.

#### **2.1.1.2 Zona de Estudio**

El municipio de Aculco se localiza en la región noroeste del Estado de México, específicamente entre los paralelos 20°6` de latitud norte y 99°50` del meridiano de Greenwich. El municipio de Aculco destaca por su ubicación estratégica, ya que limita al norte con Polotitlan y al noroeste con varios municipios de Querétaro dado que su territorio forma parte de una región de desplazamiento entre la zona central del país y el Bajío, lo que refiere a características geográficas y culturales únicas según datos de la Agencia Digital del Estado de México. Para el año 2015 fue declarado pueblo mágico por sus características naturales y culturales ya que es un municipio rodeado de montañas, áreas agrícolas, tradiciones históricas (SECTUR, 2019).

**Figura 1. Ubicación Geográfica de la Zona de Estudio**

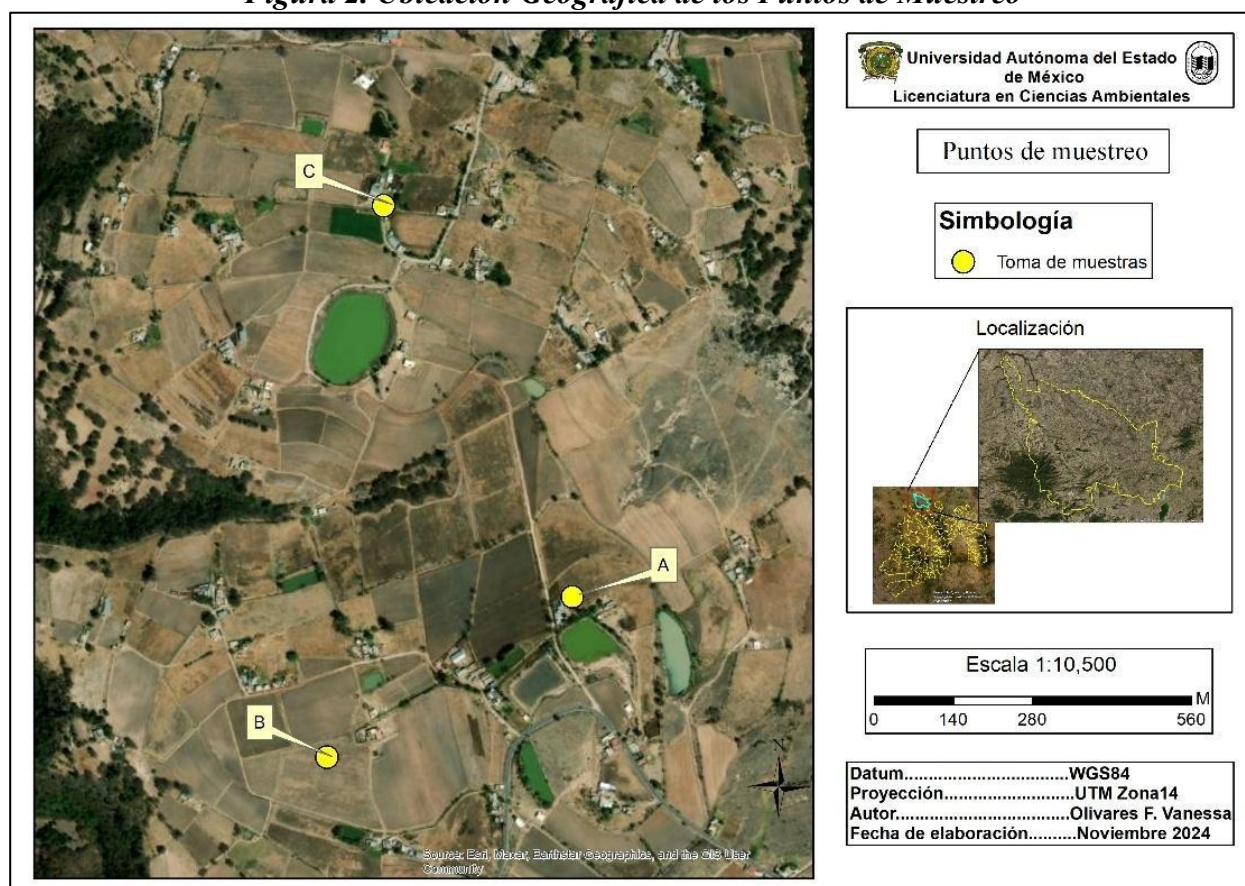


Fuente: Elaboración propia, 2024.

### 2.1.1.3 Población y Muestra

La asignación de muestreo se llevó a cabo considerando criterios específicos en función de los objetivos planteados en el estudio, se evaluaron diversos factores como los aspectos sociales, ambientales y económicos de la zona. Además, se tomó en cuenta la accesibilidad de las zonas seleccionadas priorizando aquellas que facilitarían la recolección de las muestras. De esta forma se garantizó que las zonas de muestreo sean apropiadas y representativas, por lo tanto, se consideraron a tres unidades de producción del municipio de Aculco que se dedican a actividades agrícolas y pecuarias estas unidades se dedican a la producción de leche de vaca para la generación de diversos tipos de quesos artesanales y otros productos como yogures o cremas, consideran que esta actividad es la principal fuente de ingresos de los propietarios (Minjares y Jesus, 2022).

**Figura 2. Ubicación Geográfica de los Puntos de Muestreo**



Fuente elaboración propia, 2024.

En la siguiente tabla se presentan las características y condiciones generales de cada establecimiento, con el propósito de analizar su posible influencia en los resultados obtenidos, considerando

variables como el tipo de alimentación, el sistema de hidratación y el estado sanitario de las instalaciones.

**Tabla 2. Estado general de los establos**

<b>Establo</b>	<b>Tipo de suministro de agua.</b>	<b>Tipo de alimentación proporcionada.</b>	<b>Condiciones de limpieza del establo.</b>	<b>Producción aproximada de leche diaria.</b>	<b>Número total, de Vacas</b>
<b>A</b>	El abastecimiento de agua proviene de un pozo cercano.	Pasto kikuyo y gastrozó de maíz,	Regular	19	15
<b>B</b>	El abastecimiento de agua proviene de un pozo cercano.	Pasto kikuyo y gastrozo de maíz.	Regular	25	22
<b>C</b>	El abastecimiento de agua proviene de un pozo cercano.	Forraje y heno.	malo	22	15

Fuente elaboración propia, 2025.

### 2.1.2 Método de Muestreo

En la región de estudio, es común emplear técnicas tradicionales para la obtención de leche, específicamente el “Ordeño a mano”, que ha sido una práctica tradicional en la zona. Considerando la importancia de mantener las practicas locales se decidió no modificar esta técnica para el trabajo. Sin embargo, se tuvo en cuenta que el ordeño se realizara de acuerdo con las recomendaciones establecidas por la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural, garantizando la seguridad de la leche obtenida. Esto incluyo la implementación de medidas de higiene y sanidad adecuadas (FAO, 2011).

#### **2.1.2.1 Plan de muestreo**

En los puntos anteriormente expuestos se recolectaron un total de 30 muestras, tomando como variables dos principios críticos, el primero se basa en la toma de muestra directamente de la ubre de la vaca por otro lado, la segunda muestra fue recolectada después de haber estado expuesto al recipiente (bote de plástico) en el que usualmente es almacenada la leche para determinar si existe algún cambio significativo con respecto al total de micropartículas detectadas.

#### **2.1.2.2 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos en El campo**

Las vacas objeto de estudio pertenecen a dos razas distintas: Holstein y Pardo Suizo. La edad promedio de estas vacas es de aproximadamente 4 años, lo que las sitúa en una etapa de madurez y producción óptimas. En cuanto a su alimentación, se basa en un sistema mixto que combina pasturas y alimentos complementarios como forrajes (SIAP, 2022).

#### **2.1.2.3 Variables**

En el proyecto, se consideraron diferentes variables para analizar la presencia de microplásticos en leche bronca. La variable dependiente principal fue la presencia de

microplásticos, mientras que el tipo de microplásticos también se consideró como una variable dependiente. Por otro lado, se identificaron dos variables independientes clave, la primera fue la diferencia en los establos, con el objetivo de determinar si la cantidad total de microplásticos variaba significativamente con respecto a las condiciones del establo. La segunda variable independiente fue el tipo de muestra que fue clasificada en directa o indirecta para evaluar si existían diferencias en el total de partículas obtenidas mediante cada método.

***Tabla 3. Variables en la Toma de Muestras***

<b>Variable</b>	<b>Tipo</b>	<b>Naturaleza</b>
Forma	Dependiente	Cuantitativa continua
Tipo de muestra	Independiente	Cualitativa Ordinal
Establo	Independiente	Cualitativa Ordinal

Fuente: Elaboración propia, 2025.

### **2.1.3 Análisis de Datos**

Se empleó un diseño experimental aleatorio (DCA) para el análisis de datos se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar las medias de los resultados, seguida de un post-test

de Tukey para determinar las diferencias significativas entre los grupos. Este enfoque permitió evaluar la variabilidad en la cantidad total de microplásticos entre los diferentes establos evaluados e identificar correlaciones estadísticamente significativas.

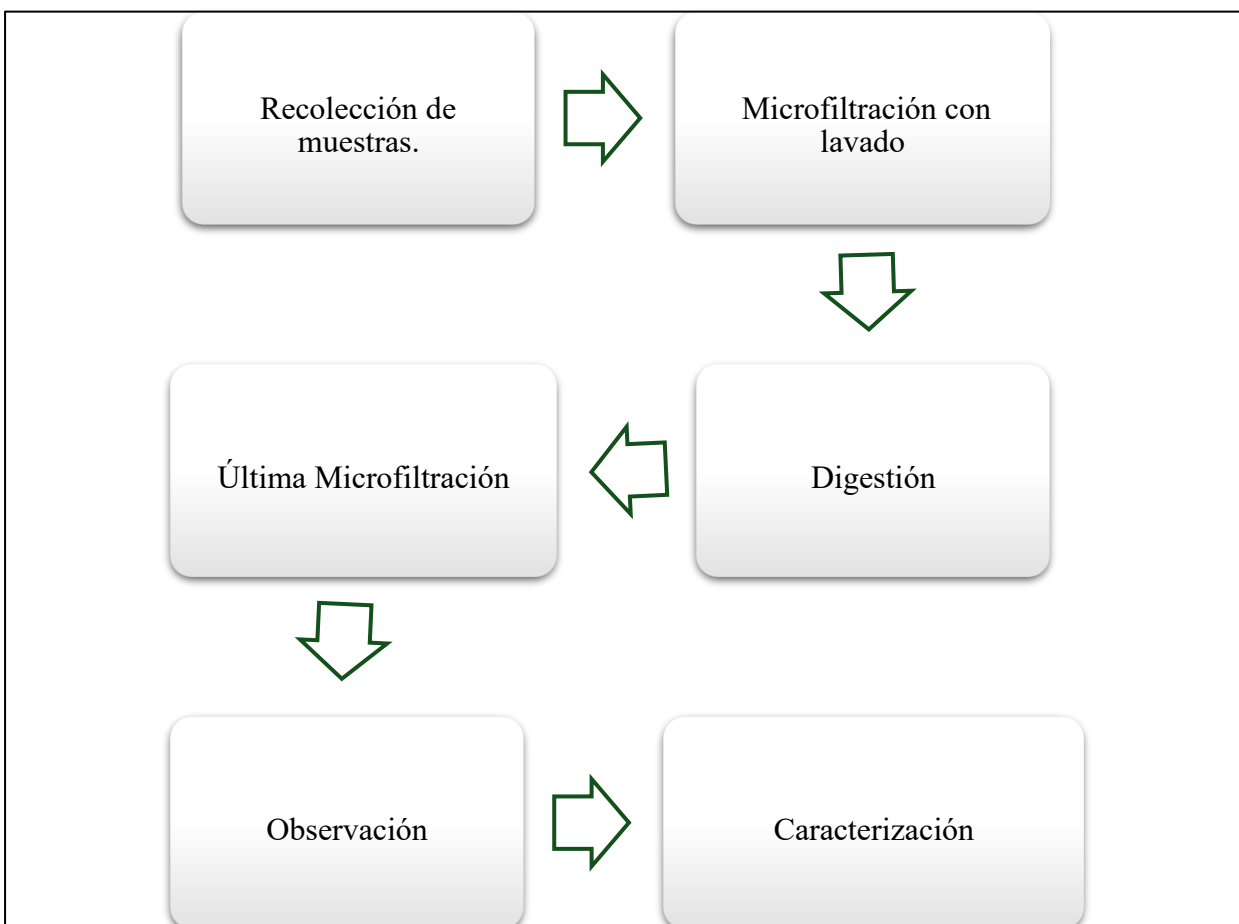
$H_0$ . – No existe diferencia significativa en la cantidad de microplásticos detectados entre los grupos analizados.

$H_1$ . – Existen diferencias significativas en la cantidad de microplásticos entre los grupos analizados.

#### **2.1.4 Procedimiento Experimental**

A continuación, se muestra el plan sistemático (Esquema 1) para generar el análisis de microplásticos en leche cruda para generar la relación entre variables de manera ordenada con la finalidad de obtener resultado precisos y confiables.

*Esquema 1. Metodología para el análisis de microplásticos en leche materna*



Fuente: Ragusa et al. 2022 modificada.

#### **2.1.4.1 Recolección de Muestras**

La primera fase del estudio consistió en la recolección de muestras en contenedores de vidrio de un litro de capacidad, equipadas con tapas de aluminio para prevenir la contaminación cruzada. Una vez recolectadas las muestras se mantuvieron a temperatura ambiente hasta su llegada al laboratorio de análisis, donde se procedió a su procesamiento y evaluación.

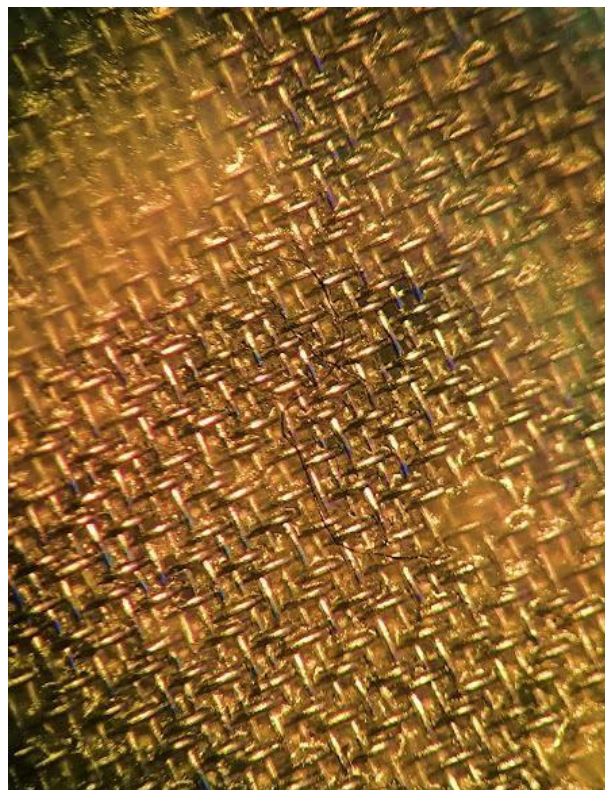


*Figura 3. Muestra Indirecta Recolectada*      *Figura 4.*  
*Muestra Recolectada Directamente de*      *Después de Tener Contacto con el*  
*Contenedor la Ubre*

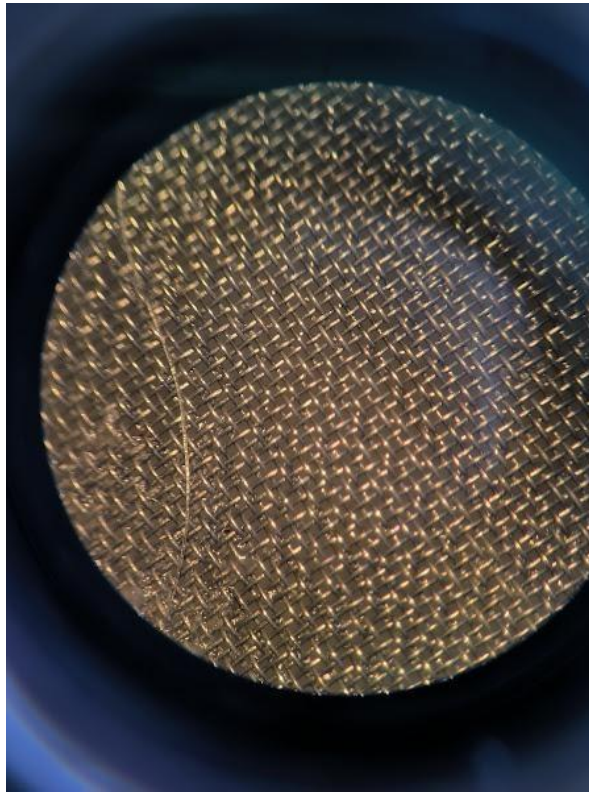
#### **2.1.4.2 Microfiltración con Lavado**

La segunda fase del estudio se centró en el proceso de microfiltración, utilizando una membrana de acero inoxidable con un tamaño de poro de 90  $\mu\text{m}$ . Esta membrana permitió filtrar la totalidad de las muestras recolectadas. Posteriormente se generó un lavado con una solución de sulfato de sodio “SDS” al 1% (Yoshida et al., 2021) para eliminar las proteínas presentes en las

muestra. Finalmente, las membranas se sometieron a un proceso de secado en un horno a 35° C durante 72 horas.



*Figura 6. Filtración Mediante la Membrana de Acero Inoxidable*      *Figura 5. Presencia de Materia Orgánica*



*Figura 7. Presencia de Fibra*

#### **2.1.4.3 Digestión**

La tercera fase consistió en un proceso de digestión alcalina, siguiendo el protocolo propuesto por Ragusa et al. (2022). Antes de llevar a cabo la digestión, se realizó una prueba en

blanco para verificar si el reactivo interfería en los resultados, lo cual fue posteriormente descartado.

Con el objetivo de descomponer la matriz de la leche, se preparó una solución al 10% de hidróxido de potasio (KOH). Se tomaron 10 mL de muestra previamente filtrada mediante una membrana de acero inoxidable y se mezclaron con 100 mL de la solución. Posteriormente las muestras se incubaron a 50 °C durante un periodo de 48 horas, conforme al protocolo de (Hurley et al., 2018).



*Figura 8. Prueba de Blancos*



*Figura 10. Protocolo de Digestión*



*Figura 9. Proceso de Incubación*

#### 2.10.4 Última Microfiltración

Una vez completado el proceso de digestión, las muestras fueron filtradas utilizando filtros de fibra de vidrio con un tamaño de poro de 1.6  $\mu\text{m}$ , con el objetivo de retener partículas más

pequeñas que las capturadas previamente mediante microfiltración en membranas de acero inoxidable. Se obtuvieron un total de 94 filtros, los cuales fueron colocados en cajas Petri de vidrio y sometidos a un proceso de secado en una estufa de laboratorio durante 72 horas para eliminar la humedad.



*Figura 12. Microfiltración con Filtros de Fibra Vidrio. Figura 11. Eliminación de Humedad de Vidrio.*

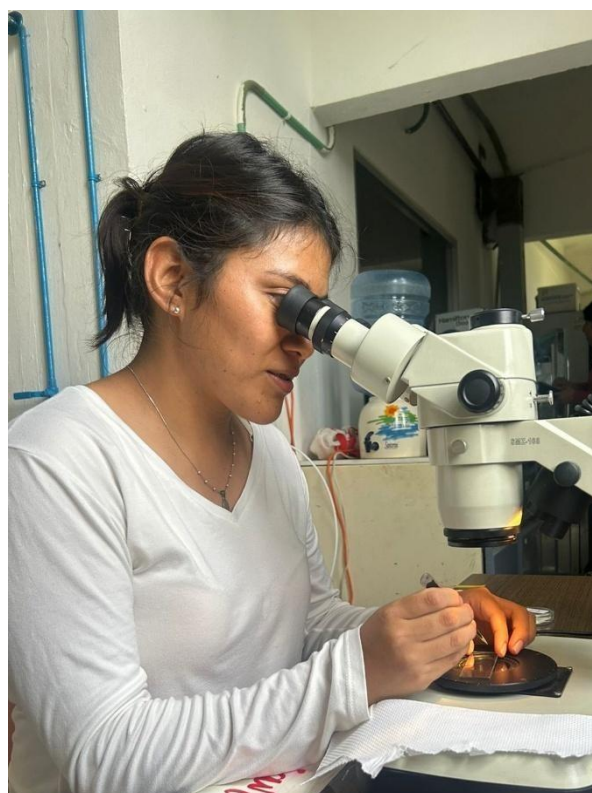
#### 2.1.4.4 Observación y Caracterización

Posteriormente, los filtros se examinaron con un microscopio estereoscópico para la detección y análisis de microplásticos presentes. Para seleccionar los posibles Mp, se buscaron residuos que hubieran resistido la digestión y no se hubiera deformado o roto. Además, se consideraron el color, tamaño y la transparencia de los residuos, así como la capacidad de la luz

para pasar a través de ellos. En el caso de las microfibras, se evaluó la regularidad de sus extremos para confirmar la naturaleza plástica de los contaminantes y descartar falsos positivos (materia orgánica), cada uno de ellos se sometió a una prueba de interacción con hidróxido de potasio (Peralta-Peláez et al., 2023).



*Figura 14. Microscopio Estereoscópico Marca “Motic”*



*Figura 13. Caracterización Morfológica*

#### 2.1.4.5 Materiales Experimentales

*Tabla 4. Equipos, Reactivos y Materiales*

<b>Materiales</b>	<b>Equipo</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Recursos humanos</b>
Frascos de vidrio	Microscopio Óptico	Hidróxido de Potasio al 10%	Ganaderos

Matraz	Computadora	Sulfato de sodio al 1%	Investigadores
Porta filtró	Estufa		Estudiantes
Jeringa de vidrio	Autoclave		
Vaso de precipitado			
Filtro de Acero Inoxidable			
Papel aluminio			
Filtro de fibra de vidrio			
Pinzas			
Porta Objetos			

Fuente elaboración propia (2025).

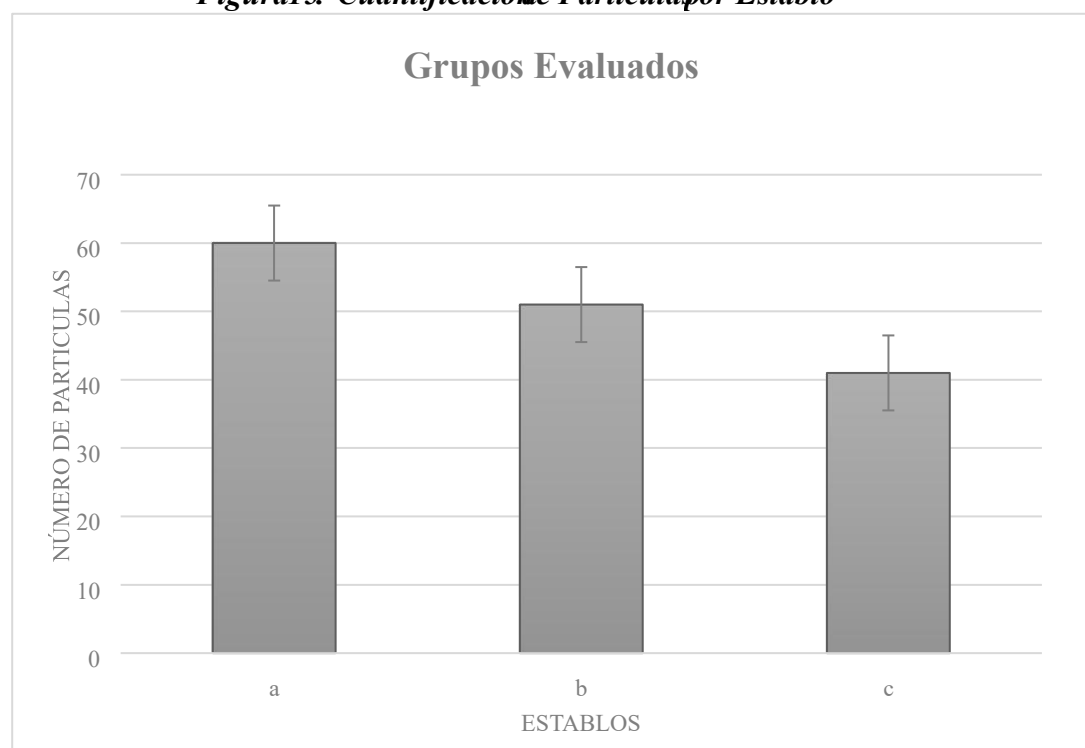
## CAPITULO 3

### 3.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de las muestras de leche cruda permitió confirmar la presencia de un total de 152 posibles microplásticos en las 15 muestras evaluadas, correspondientes a las dos etapas del

proceso productivos (Ordeño y recolección), lo que representa una incidencia del 100%. La morfología predominante fue la de fibras de color negro, con un total de 142 unidades, seguidas por 11 fragmentos irregulares. El tamaño promedio de las partículas fue de aproximadamente 1.6  $\mu\text{m}$ . Según lo reportado por Ragusa et al. (2022), estos resultados son comparables con los obtenidos en otros estudios donde se ha documentado la presencia de microplásticos en productos de origen animal.

**Figura 15. Cuantificación de Partículas por Establo**



Fuente: Elaboración propia, 2025.

La figura 15, muestra la cantidad de partículas detectadas en los tres establos evaluados. El establo A presentó la mayor concentración, con 60 partículas; el establo B mostro un valor intermedio, cercano a 50 fragmentos y el establo c exhibió la menor concentración con 40 partículas. Resultados similares fueron descritos por Basaran et al. (2023), quien analizo la influencia de los procesos de producción en la presencia de microplásticos, estas variaciones podrían estar relacionadas con factores como las condiciones ambientales, la higiene del entorno

y las prácticas de manejo en cada estable. Sin embargo, tampoco se descarta la posibilidad de contaminación por vía oral, a través del alimento o el agua consumida por el ganado, lo que podría contribuir a la presencia de microplásticos en la leche.

**Figura 16. Clasificación de Partículas de Acuerdo el Tipo de Muestreo**



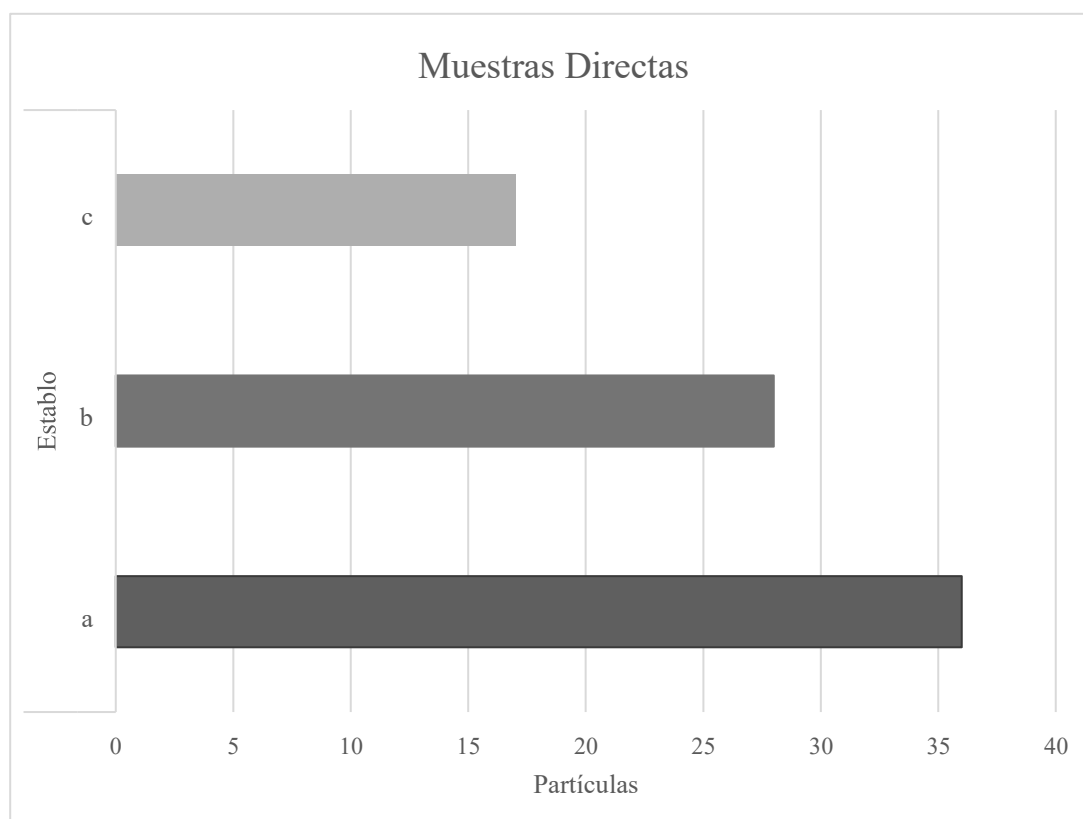
Fuente: Elaboración propia (2025).

La figura 16, compara la cantidad de microplásticos según el tipo de muestra las tomas directas (extraídas durante el ordeño) contiene 81 partículas, mientras que las tomas indirectas (recogidas de los recipientes de almacenamiento) registran 71 partículas. aunque la diferencia numérica existe, la prueba estadística ( $p > 0.05$ ) muestra que no es significativa, por lo que el contactor con los recipientes de almacenamiento no parece ser la fuente principal de contaminación.

Esto sugiere que la leche ya llega con microplásticos antes de almacenarse, probablemente por vías ambientales o dietéticas. Cverenkárova et al. (2021) describen como los microplásticos recorren toda la cadena trófica marina, y Tang (2023) destaca que prácticas agrícolas poco sostenibles como el uso de fertilizantes y películas plásticas aportan microplásticos a los suelos. Dado que en Aculco la ganadería y la agricultura son actividades importantes se considera que los animales ingieren estos fragmentos presentes en el pasto, el forraje o el agua, y que estas terminan transfiriéndose a la leche.

A continuación, se presenta a mayor detalle la distribución de microplásticos según el tipo de muestra (directa e indirecta) en cada uno de los establos evaluados.

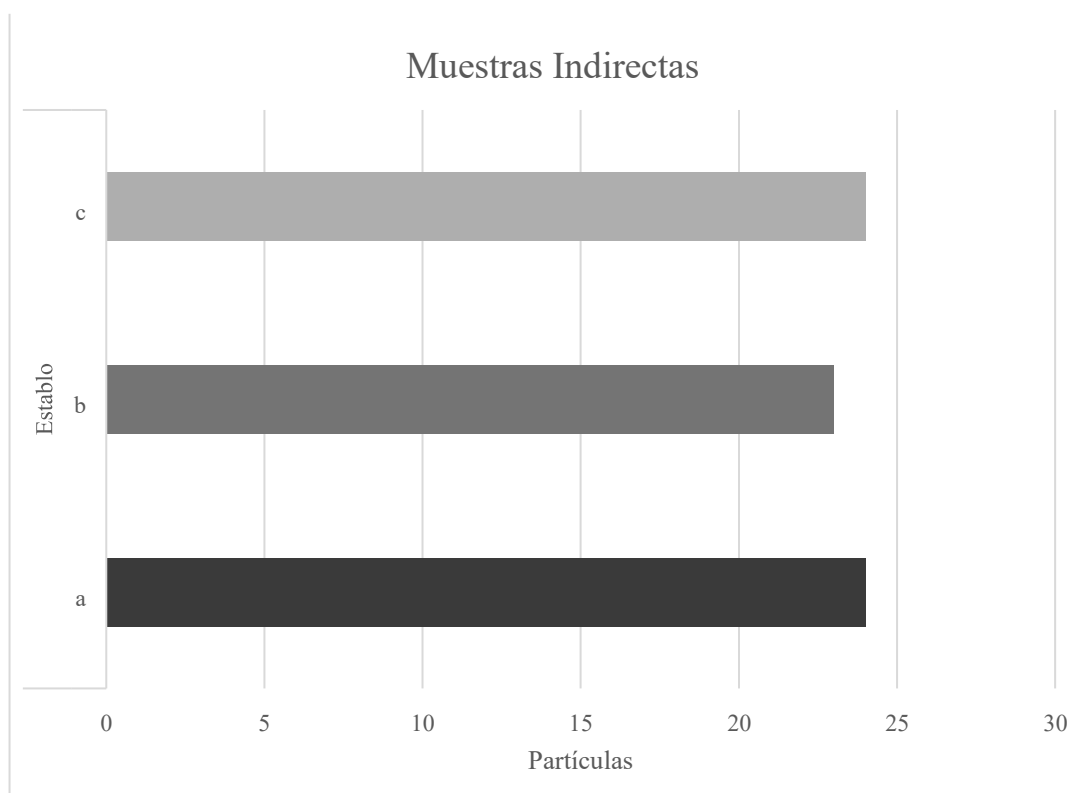
***Figura 17. Distribución de Partículas por Establo en la Muestra Recolectada Directamente de la Ubre***



Fuente: Elaboración propia (2025)

La figura 17, muestra que en los establos A y B la presencia de residuos plásticos es mayor en las muestras directas. Como la alimentación del ganado es similar en ambos establecimientos, ese factor podría ser una de las principales fuentes de contaminación. En contraste, el establo C presenta menos microplásticos en las muestras directas probablemente porque su dieta proviene de una fuente distinta, aunque el suministro de agua proviene igualmente de un pozo es comparable entre los tres grupos evaluados. Lo cual coincide con lo señalado por Bollaín Pastor & Vicente Agulló. (2020) en donde demostró la presencia de microplásticos en muestras de agua.

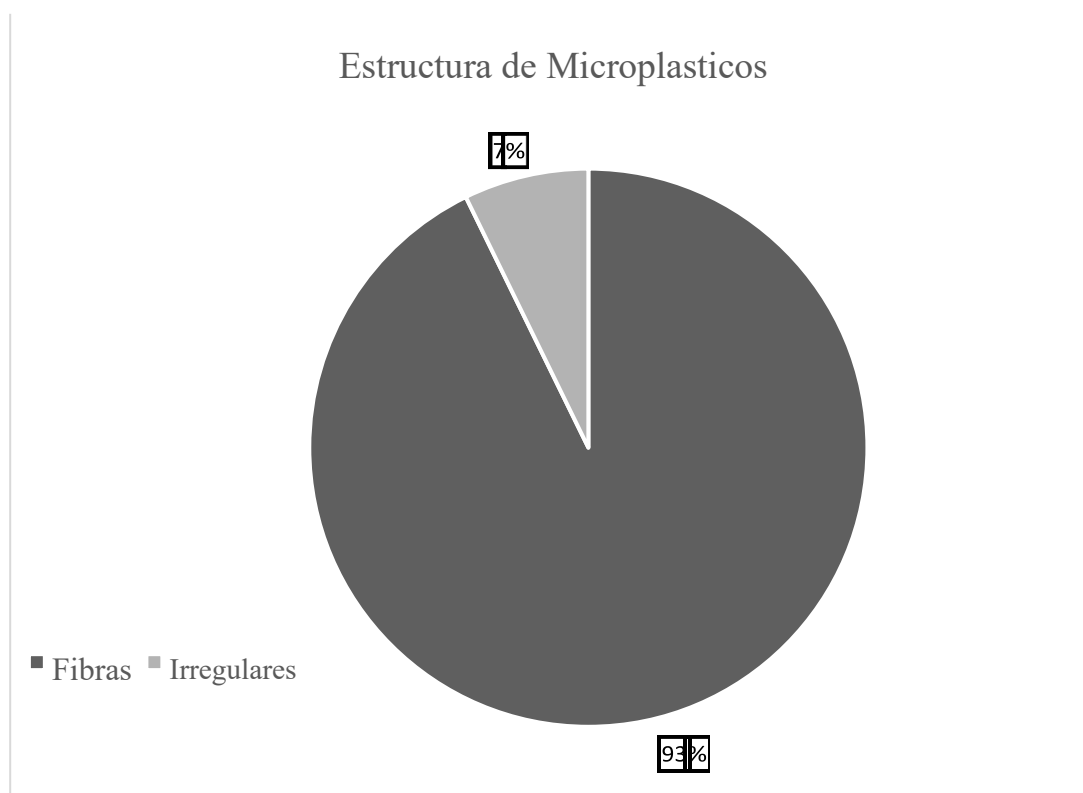
***Figura 18. Distribución de Partículas por Establo en la Recolectada Después de Tener Contacto con el Recipiente de Recolección***



Fuente: Elaboración propia (2025)

Basaran et al. (2023) señalaban que los procesos de producción utilizados durante la recolección podrían liberar partículas de modo que se esperaba encontrar una mayor presencia de fragmentos sintéticos en las muestras indirectas. Sin embargo, la figura 18, muestran lo contrario la mayor parte de la contaminación parece originarse antes del ordeño. Cabe destacar que en este caso se aplicó un protocolo de ordeño tradicional, diferente al empleado en el estudio mencionado, lo que podría influir en los resultados. Estos hallazgos sugieren que la contaminación está más relacionada con factores como la deposición ambiental, la alimentación del ganado o la calidad de agua que consume.

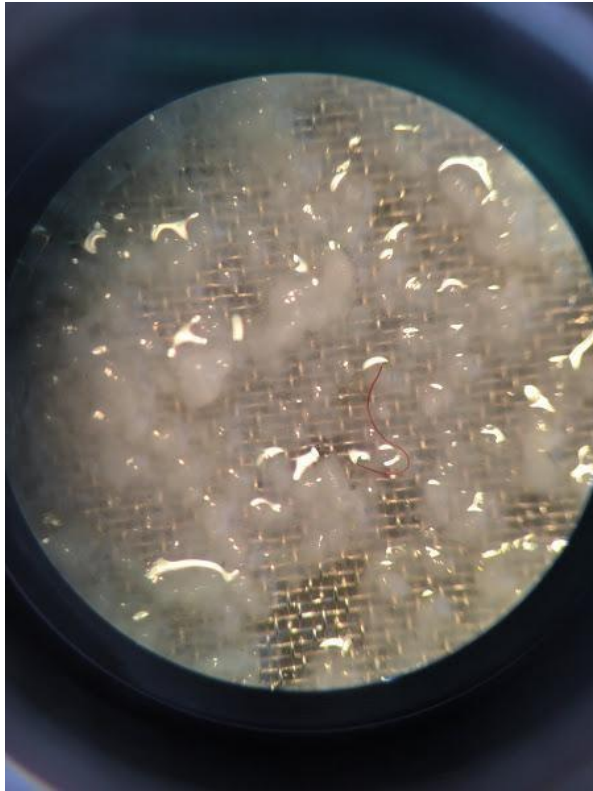
***Figura 19. Morfología de los Microplásticos***



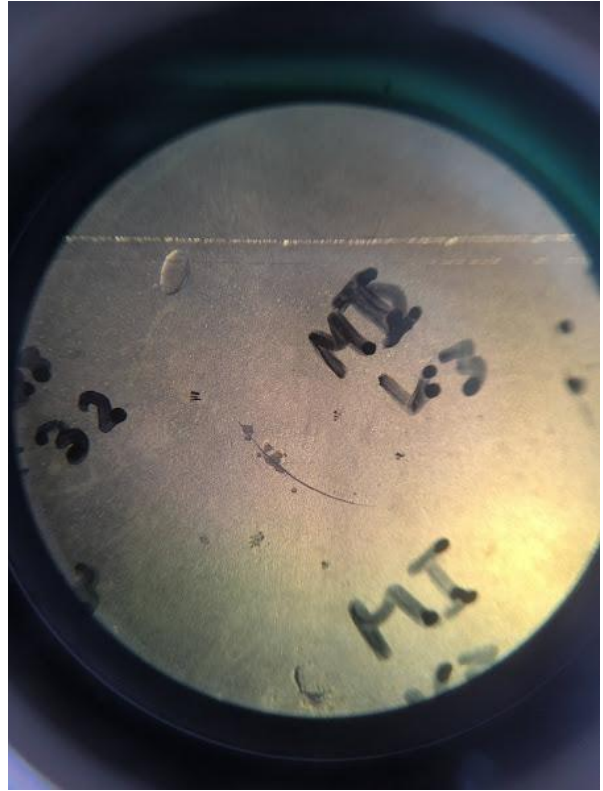
Fuente: Elaboración propia (2025)

En la figura 19 se puede apreciar que los microplásticos identificados en este estudio presentaron una morfología predominante fibrosa, con un total de 142 fibras negras y rojas y 11 fragmentos de formas irregulares. En cuanto a la coloración, se observó una variación cromática que incluía tonalidades negras, rojas y transparentes, con un tamaño promedio de 1.6  $\mu\text{m}$ .

De acuerdo con Ragusa et al. (2022) y Piña et al. (2024), este tamaño es consistente con lo reportado en otros estudios donde se ha detectado contaminación por microplásticos en productos de origen animal, particularmente leche. La literatura indica que los microplásticos en productos lácteos pueden presentar tamaños que oscilen entre 1 y 5  $\mu\text{m}$ , dependiendo de la fuente de contaminación (Badwanache y Dodamani, 2024). En el presente estudio, el rango de tamaño observado fue de 1  $\mu\text{m}$  a 15  $\mu\text{m}$  lo cual concuerda con investigaciones previas que documentan contaminación por microplásticos en productos lácteos a nivel internacional.



*Figura 21. Presencia de Fibra en Tonalidad Rojiza*



*Figura 20. Presencia de Fibra en Tonalidad Oscura*



*Figura 22. Presencia de Partícula Irregular con Tonalidad Transparente*

En las tablas 5 y 6, demuestran la cuantificación de microplásticos en muestras directas e indirectas de leche cruda, recolectada de los 3 establos evaluados (a, b y c) y analizadas en dos etapas de filtración. Las muestras fueron codificadas como LaV, LbV Y LcV correspondientes a los establos a, b y c respectivamente.

**Tabla 5. Identificación de Microplásticos en Muestras Directas de Leche**

<b>Establo</b>	<b>Cod. Muestra</b>	<b>Primera etapa de filtración (MDAI)</b>	<b>Segunda etapa de filtración (MDFV)</b>
<b>a</b>	LaV1	6	4
	LaV2	1	2
	LaV3	2	4
	LaV4	3	8
	LaV5	4	2
<b>b</b>	LbV1	3	2
	LbV2	5	4
	LbV3	0	6
	LbV4	0	3
	LbV5	1	4
<b>c</b>	LcV1	4	2
	LcV2	3	1
	LcV3	2	1
	LcV4	2	1
	LcV5	0	1

Fuente: Elaboración propia (2025).

La primera etapa de microfiltración muestra las partículas retenidas en la membrana de acero inoxidable (MDAI) y la segunda etapa de filtrado corresponde a los fragmentos capturados en filtros de fibra de vidrio (MDFV) con menor tamaño de poro (1.6  $\mu\text{m}$ ), después del pasó inicial.

**Establo A:** Registra la mayor carga de microplásticos en ambas etapas. Destaca la muestra LaV4, que presenta el recuento mas alto de todo el conjunto.

**Establo B:** Exhibe resultados más heterogéneos. En LbV3, por ejemplo, no se detectaron partículas en la primera filtración, pero la segunda revelo seis fragmentos lo que indica que la contaminación está dominada por partículas finas que atraviesan la membrana metálica.

**Establo C:** Muestra los valores más bajos en ambas fases, probablemente por diferencias en la dieta, las condiciones ambientales o las practicas de manejo, como se ha comentado previamente. E n general, los datos confirman que la segunda filtración es esencial para detectar microplásticos de menor tamaño y resalta la influencia de las dos condiciones especificas de cada establo en la carga total de partículas.

**Tabla 6. Identificación de Microplásticos en Muestras Indirectas de Leche**

<b>Establo</b>	<b>Cod. Muestra</b>	<b>Primera etapa de filtración (MIAI)</b>	<b>Segunda etapa de filtración (MIFV)</b>
<b>a</b>	LaV1	2	4
	LaV2	1	1
	LaV3	1	3
	LaV4	3	4
	LaV5	2	3
<b>b</b>	LbV1	0	6
	LbV2	2	1
	LbV3	2	3
	LbV4	1	4
	LbV5	1	3
<b>c</b>	LcV1	4	0
	LcV2	5	0
	LcV3	3	7
	LcV4	3	0
	LcV5	2	0

Fuente: Elaboración propia, 2025.

La tabla 6 también representa la identificación de microplásticos en muestras indirectas de leche cruda, recolectadas de tres establos diferentes (A, B y C). Estas muestras corresponden a la

leche almacenada tras el ordeño, y se analizaron mediante un proceso de doble filtración para cuantificar partículas retenidas en distintas etapas. En donde MIAI representa los resultados obtenidos de las muestras indirectas de la primera etapa de filtración con membrana de acero inoxidable y MIFV representa la segunda etapa de filtración con filtros de fibra de vidrio.

**Establo A:** Muestra una distribución relativamente constante entre ambas etapas de filtración. En el cual LaV4 destaca por registrar 3 microplásticos en MIAI y 4 en MIFV, lo que indica la presencia tanto de partículas grandes como pequeñas.

**Establo B:** Representa una mayor variabilidad entre muestras. Por ejemplo, LbV1 reporta 0 en MIAI, pero 6 en MIFV, lo que sugiere una mayoría de microplásticos de menor tamaño, no retenidos en la primera etapa.

**Establo C:** Presenta una tendencia más marcada hacia una mayor retención en la segunda etapa (MIFV). Por ejemplo, LcV3 registro 3 en MIAI y 7 en MIFV, siendo uno de los valores más altos de la tabla. Sin embargo, LcV2 y LcV5 mostraron ausencia total en MIFV, lo que puede deberse a condiciones particulares de muestreo o contaminación mínima.

Los resultados presentados en las Tablas 5 y 6 muestran la presencia de microplásticos tanto en muestras directas (obtenidas durante el ordeño) como en muestras indirectas (posteriormente almacenadas), evidenciando una contaminación generalizada en las tres unidades productivas evaluadas. En promedio se detectó 5 partículas por cada litro de leche, un valor que resulta comparable con lo reportado por Kuttralam-Muniasamy et al. 2020 en estudios similares sobre productos lácteos. En ambas fases de análisis, la doble filtración (MDAI y MDFV) fue fundamental para identificar partículas de distintos tamaños, siendo la segunda etapa (filtros de fibra de vidrio de 1.6  $\mu\text{m}$ ) particularmente útil para detectar microplásticos más finos que no fueron retenidos por la membrana de acero inoxidable.

En términos comparativos, el establo A presentó las mayores concentraciones de microplásticos en ambas modalidades de muestreo, lo cual podría estar relacionado con condiciones ambientales o prácticas de manejo específicas. En contraste, el establo c mostró los valores más bajos, lo que puede asociarse a diferencias en la alimentación del ganado o en los niveles de higiene. Además, se observaron casos en los que algunas muestras no presentaron partículas en la primera etapa, pero sí en la segunda, lo que indica que una proporción importante de los contaminantes presentes en la leche son de tamaño reducido.

La similitud en los patrones de concentración entre muestras directas e indirectas sugiere que la principal fuente de contaminación no está en los recipientes de recolección, sino que ocurre antes o durante el ordeño, posiblemente vinculada a la exposición ambiental, el agua de consumo o los insumos alimenticios. Como menciona Plaul et al. 2024 que la presencia de microplásticos a lo largo de la cadena trófica, incluso en productos de origen animal como la leche.

En conjunto, los resultados refuerzan la necesidad de implementar controles más rigurosos en el entorno productivo y de profundizar en el estudio de fuentes primarias de contaminación por microplásticos en sistemas ganaderos.

### **3.1.2 Recomendaciones**

Para reducir la contaminación por microplásticos en la producción de leche cruda se recomienda implementar una serie de buenas prácticas enfocadas en la mejora del proceso productivo. Es fundamental verificar que las actividades de ordeño se realicen conforme a las técnicas establecidas por la secretaria de agricultura y desarrollo rural, con el propósito de

garantizar la sanidad del producto. Asimismo, se sugiere aplicar los protocolos de almacenamiento definidos en la NOM-251-SSA-2009, a fin de asegurar la inocuidad de la leche en todas sus etapas.

Otra acción importante es la capacidad de los productos de manejo sostenible, promoviendo la reducción del uso de plásticos en el entorno productivo. En este sentido, también se recomienda modificar los equipos de ordeño, sustituyendo materiales de plástico por opciones más seguras como acero inoxidable o vidrio, además de utilizar papel estroza para la limpieza de ubres.

Finalmente, se propone evitar el uso de cubiertas de plástico en los pastos y optar por alternativas biodegradable para la eliminación del ganado, como en el caso de forrajes, con el fin de reducir la transferencia de microplásticos desde el entorno hacia los productos de origen animal.

## **CONCLUSIONES**

El presente estudio confirma la presencia de microplásticos en leche cruda analizada, con un promedio de 5 partículas por litro. Su origen parece estar vinculada, principalmente a la exposición ambiental, al agua de bebida y a los insumos alimenticios del ganado, más que al contacto con los recipientes de almacenamiento, dado que el análisis estadístico no reveló

diferencias significativas entre las muestras directas e indirectas ( $p > 0.05$ ). no obstante, se aprecia cierta variabilidad entre establos, probablemente relacionada con las condiciones de higiene, el tipo de alimentación y los materiales empleados en cada unidad productiva.

Las partículas detectadas abarcaron tamaños de 1 a 15  $\mu\text{m}$ , con predominio de fibras, lo que coincide con lo reportado por diversos autores. Esta distribución sugiere que los textiles sintéticos los materiales de empaque y los equipos plásticos empleados en la cadena productiva continúan siendo fuentes relevantes de contaminación.

En consecuencia se recomienda sustituir los recipientes y materiales de plásticos, fortalecer las prácticas de higiene durante el ordeño, empleando paños de algodón o papel estroza para la limpieza de ubres, también es importante capacitar a los productores en manejo sostenible, con énfasis en la reducción de plástico y por último profundizar en estudios que identifiquen con precisión las fuentes primarias de microplásticos a lo largo de la cadena láctea, a fin de diseñar estrategias de mitigación efectivas y proteger inocuidad del producto.

## REFERENCIAS

1. Abbas, G., Ahmed, U., & Ahmad, M. A. (2025). Impact of Microplastics on Human Health: Risks, Diseases, and Affected Body Systems. *Microplastics*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/microplastics4020023>
2. Agudelo Gómez, D. A., & Bedoya Mejía, O. (2005). Composición nutricional de la leche de ganado vacuno.

3. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). Dirección General de Siap. Recuperado el 6 de junio de 2025, de <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap>
4. Alfaro-Núñez, A., Astorga, D., Cáceres-Farías, L., Bastidas, L., Soto Villegas, C., Macay, K., & Christensen, J. H. (2021). Microplastic pollution in seawater and marine organisms across the Tropical Eastern Pacific and Galápagos. *Scientific Reports*, *11*(1), 6424.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-85939-3>
5. Álvarez-Lopezello, J., Robles, C., & del Castillo, R. F. (2021). Microplastic pollution in neotropical rainforest, savanna, pine plantations, and pasture soils in lowland areas of Oaxaca, Mexico: Preliminary results. *Ecological Indicators*, *121*, 107084.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107084>
6. Amer, A. A. E.-M., El-Makarem, H. S. A., El-Maghraby, M. A.-E., & Abou-Alella, S. A.-E. (2021). Lead, cadmium, and aluminum in raw bovine milk: Residue level, estimated intake, and fate during artisanal dairy manufacture. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, *8*(3), 454–464.  
<https://doi.org/10.5455/javar.2021.h534>
7. Arias Zapata, D. L. (2023). *Bioacumulación y grado de toxicidad de los microplásticos en la fauna íctica*. <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/14508>
8. Arthur, C., Baker, J. E., & Bamford, H. A. (2009). *Actas del Taller internacional de investigación sobre la aparición, los efectos y el destino de los desechos marinos microplásticos, 9-11 de septiembre de 2008, Universidad de Washington Tacoma, Tacoma, WA, EE. UU.* Recuperado el 26 de enero de 2025, de <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/2509>
9. Badwanache, P., & Dodamani, S. (2024). Qualitative and quantitative analysis of microplastics in milk samples. *Indian Journal of Health Sciences and Biomedical Research kleu*, *17*(2), 150.  
[https://doi.org/10.4103/kleuhsj.kleuhsj\\_343\\_23](https://doi.org/10.4103/kleuhsj.kleuhsj_343_23)

10. Basaran, B., Özçifçi, Z., Akcay, H. T., & Aytan, Ü. (2023). Microplastics in branded milk: Dietary exposure and risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, *123*, 105611. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105611>
11. Battulga, B., Kawahigashi, M., & Oyuntsetseg, B. (2019). Distribution and composition of plastic debris along the river shore in the Selenga River basin in Mongolia. *Environmental Science and Pollution Research*, *26*(14), 14059–14072. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04632-1>
12. Bollaín Pastor, C., & Vicente Agulló, D. (2020). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Revista Española de Salud Pública*, *93*, e201908064.
13. Buyukunal, S. K., Zipak, S. R., & Muratoglu, K. (2023). *Microplastics in a Traditional Turkish Dairy Product: Ayran*. <https://doi.org/10.31883/pjfn/163061>
14. Carbery, M., O'Connor, W., & Palanisami, T. (2018). Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environment International*, *115*, 400–409. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.03.007>
15. Carpenter, E. J., Anderson, S. J., Harvey, G. R., Miklas, H. P., & Peck, B. B. (1972). Polystyrene spherules in coastal waters. *Science (New York, N.Y.)*, *178*(4062), 749–750. <https://doi.org/10.1126/science.178.4062.749>
16. Chacón Morales, J. E., & Rodas Toapanta, B. A. (2019). *Evaluación de la presencia de microplásticos en 2 cervezas nacionales y 2 extranjeras* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17629>
17. Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., & Galloway, T. S. (2013). Microplastic Ingestion by Zooplankton. *Environmental Science & Technology*, *47*(12), 6646–6655. <https://doi.org/10.1021/es400663f>
18. Cruz-Salas, A. A., Álvarez-Zeferino, J. C., Tapia-Fuentes, J., Pérez-Aragón, B., Martínez-Salvador, C., Vázquez-Morillas, A., & Ojeda-Benítez, S. (2023a). Measures to prevent cross-contamination

- in the analysis of microplastics: A short literature review. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 39, 241–256. <https://doi.org/10.20937/RICA.54740>
19. Cruz-Salas, A. A., Álvarez-Zeferino, J. C., Tapia-Fuentes, J., Pérez-Aragón, B., Martínez-Salvador, C., Vázquez-Morillas, A., & Ojeda-Benítez, S. (2023b). Measures to prevent cross-contamination in the analysis of microplastics: A short literature review. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 39, 241–256. <https://doi.org/10.20937/RICA.54740>
20. Cverenkárová, K., Valachovičová, M., Mackuľak, T., Žemlička, L., & Bírošová, L. (2021). Microplastics in the Food Chain. *Life*, 11(12), 1349. <https://doi.org/10.3390/life11121349>
21. da Costa, J. P., Santos, P. S. M., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2016). (Nano)plastics in the environment – Sources, fates and effects. *Science of The Total Environment*, 566–567, 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.041>
22. Davidson\_Abramowitz\_Optical\_Microscopy.pdf. (2002). Recuperado el 22 de noviembre de 2024, de [https://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/referencelibrary/pdfs/Davidson\\_Abramowitz\\_Optical\\_Microscopy.pdf](https://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/referencelibrary/pdfs/Davidson_Abramowitz_Optical_Microscopy.pdf)
23. de la Sota, A. (2017). Microplásticos: incidencia, efectos y fuentes de emisión al medio ambiente acuático. In *XXXIV Jornadas Técnicas de AEAS* (pp. 553-562). Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento.
24. Duncan et al. - 2018—The true depth of the Mediterranean plastic proble.pdf. (s/f). Recuperado el 20 de noviembre de 2024, de <https://plasticheal.dk/media/vqlhxezv/1-s2-0-s0025326x18306581main.pdf>
25. Gall, S. C., & Thompson, R. C. (2015). The impact of debris on marine life. *Marine Pollution Bulletin*, 92(1–2), 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.041>

26. Gao, S., Li, Z., & Zhang, S. (2024). Trophic transfer and biomagnification of microplastics through food webs in coastal waters: A new perspective from a mass balance model. *Marine Pollution Bulletin*, 200, 116082. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116082>
27. Godoy-Balcarcel, B., Ponciano-Nuñez, M., & Alpuche-Palma, A. (2021). *Identificación de microplástico en el contenido gastrointestinal de peces comerciales*. 8(3).
28. Gómez, D. A. A., & Mejía, O. B. (2005). *Composición nutricional de la leche de ganado vacuno*.
29. Guo, X., Lin, H., Xu, S., & He, L. (2022). Recent Advances in Spectroscopic Techniques for the Analysis of Microplastics in Food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(5), 1410–1422. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c06085>
30. Haque, F., & Fan, C. (2023). Fate and Impacts of Microplastics in the Environment: Hydrosphere, Pedosphere, and Atmosphere. *Environments*, 10(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/environments10050070>
31. He, D., Luo, Y., Lu, S., Liu, M., Song, Y., & Lei, L. (2018). Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 109, 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.006>
32. Hernández Soriano, A. I., Álvarez Zeferino, J. C., Cruz Salas, A. A., & Vázquez-Morillas, A. (2023). Presencia de microplásticos en productos de cuidado personal y cosméticos. *Actas del X Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos: Hacia la circularidad y el residuo cero. Castelló de la Plana, 20, 21 y 22 de junio de 2023, 2023, ISBN 978-84-09-53123-3*, 50. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9094791>
33. Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science & Technology*, 46(6), 3060–3075. <https://doi.org/10.1021/es2031505>
34. Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). What a waste: a global review of solid waste management.

35. Hurley, R. R., Lusher, A. L., Olsen, M., & Nizzetto, L. (2018). Validation of a Method for Extracting Microplastics from Complex, Organic-Rich, Environmental Matrices. *Environmental Science & Technology*, 52(13), 7409–7417. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01517>
36. Iannacone, J., Principe, F., Minaya, D., Panduro, G., Carhuapoma, M., Alvarino, L., Iannacone, J., Principe, F., Minaya, D., Panduro, G., Carhuapoma, M., & Alvarino, L. (2021). Microplásticos en peces marinos de importancia económica en Lima, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(2). <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i2.20038>
37. Ibrahim, Y. S., Tuan Anuar, S., Azmi, A. A., Wan Mohd Khalik, W. M. A., Lehata, S., Hamzah, S. R., Ismail, D., Ma, Z. F., Dzulkarnaen, A., Zakaria, Z., Mustaffa, N., Tuan Sharif, S. E., & Lee, Y. Y. (2021). Detection of microplastics in human colectomy specimens. *JGH Open*, 5(1), 116–121. <https://doi.org/10.1002/jgh3.12457>
38. Karkanorachaki, K., Kiparissis, S., Kalogerakis, G. C., Yiantzi, E., Psillakis, E., & Kalogerakis, N. (2018). Plastic pellets, meso- and microplastics on the coastline of Northern Crete: Distribution and organic pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 578–589. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.011>
39. Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., & Shruti, V. C. (2020). Branded milks—Are they immune from microplastics contamination? *The Science of the Total Environment*, 714, 136823. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136823>
40. Lehel, J., & Murphy, S. (2021). Microplastics in the Food Chain: Food Safety and Environmental Aspects. En P. de Voogt (Ed.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 259* (pp. 1–49). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/398\\_2021\\_77](https://doi.org/10.1007/398_2021_77)
41. Leslie, H. A., van Velzen, M. J. M., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J., & Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, 163, 107199. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>

42. Marmara, D., Katsanevakis, S., Brundo, M.-V., Tiralongo, F., Ignoto, S., & Krasakopoulou, E. (2023). Microplastics ingestion by marine fauna with a particular focus on commercial species: A systematic review. *Frontiers in Marine Science*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1240969>
43. Minjares, G., & De Jesus, M. A. R. I. A. (2018). Diagnóstico Socioeconómico Y Estrategias De Desarrollo Del Municipio De Aculco Estado De México, 2010-2015
44. Montero, L., & Barragán, F. M. (2008). El descubrimiento de los plásticos: de solución a problema ambiental. *Letras ConCiencia Tecnológica*, (5), 80-96.
45. Moreno, C. R., Dávila, E. N., & Ruiz, K. M. (2020). Uso del Green Marketing en la producción de lácteos en el municipio de Aculco, estado de México, 2019". *RILCO: Revista de Investigación Latinoamericana en Competitividad Organizacional*, *2*(6), 9.
46. McIlwraith, H. K., Kim, J., Helm, P., Bhavsar, S. P., Metzger, J. S., & Rochman, C. M. (2021). Evidence of Microplastic Translocation in Wild-Caught Fish and Implications for Microplastic Accumulation Dynamics in Food Webs. *Environmental Science & Technology*, *55*(18), 12372–12382. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c02922>
47. Navarro-Espinoza, S., Silva-Campa, E., Acosta-Elías, M., Grijalva-Noriega, F., Navarro-Espinoza, S., Silva-Campa, E., Acosta-Elías, M., & Grijalva-Noriega, F. (2023). Micro(nano)plásticos en el medio ambiente: Una descripción de los efectos potenciales a la salud humana. *Epistemus (Sonora)*, *17*(35), 68–74. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i35.311>
48. Ortega Coronel, F. S., & Solis Siguencia, M. C. (2023). *Determinación de la presencia de microplásticos y plomo en muestras de leche cruda* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25964>
49. Peralta-Peláez, L. A., Peña-Montes, C., Hermida-Castellanos, L., Huerta-Quero, O. de J., Hernández-Álvarez, C., Mejía-Estrella, I. A., & Sulbarán-Rangel, B. (2023). Microplásticos en

- playas de la zona de influencia del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), México. *Hidrobiológica*, 33(2), 231–242. <https://doi.org/10.24275/khdd6042>
50. Pfeiffer, F., & Fischer, E. K. (2020). Various Digestion Protocols Within Microplastic Sample Processing—Evaluating the Resistance of Different Synthetic Polymers and the Efficiency of Biogenic Organic Matter Destruction. *Frontiers in Environmental Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.572424>
51. Piña, P., Cecilia, A., Loayza, R., & Josue, A. (2024). *Análisis del perfil de microplásticos en relación al contenido de grasa presente en leche entera, semidescremada y descremada*.
52. Plaul, F. E., Cecchetto, F., Fernandez, F. E., Gallo, L., Grondona, S., Lourido, M., Ondarza, P. M., Primost, M., Vazquez, N. D., Cappelletti, N., & Miglioranza, K. S. B. (2024). Efectos de microplásticos en vertebrados acuáticos de América Latina y el Caribe. *Revista de Salud Ambiental*, 24(1), Article 1.
53. Prata, J. C., da Costa, J. P., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019). Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 110, 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.029>
54. Ragusa, A., Notarstefano, V., Svelato, A., Belloni, A., Gioacchini, G., Blondeel, C., Zucchelli, E., De Luca, C., D'Avino, S., Gulotta, A., Carnevali, O., & Giorgini, E. (2022). Raman Microspectroscopy Detection and Characterisation of Microplastics in Human Breastmilk. *Polymers*, 14(13), 2700. <https://doi.org/10.3390/polym14132700>
55. Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Papa, F., Rongioletti, M. C. A., Baiocco, F., Draghi, S., D'Amore, E., Rinaldo, D., Matta, M., & Giorgini, E. (2021). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, 146, 106274. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274>

56. Reyna, O. C. (2024). Desarrollo de compuestos de polietileno con propiedad de retardancia a la flama y fotoodegradabilidad.
57. Rural, S. D. (2022). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. *Obtenido de*.
58. Sajjad, M., Huang, Q., Khan, S., Khan, M. A., Liu, Y., Wang, J., Lian, F., Wang, Q., & Guo, G. (2022). Microplastics in the soil environment: A critical review. *Environmental Technology & Innovation*, 27, 102408. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102408>
59. Sheppard, C. J. R. (2020). Chapter Eight—Scanning optical microscopy. En M. Hÿtch & P. W. Hawkes (Eds.), *Advances in Imaging and Electron Physics* (Vol. 213, pp. 227–325). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.aiep.2019.11.001>
60. Sridhar, A., Kannan, D., Kapoor, A., & Prabhakar, S. (2022). Extraction and detection methods of microplastics in food and marine systems: A critical review. *Chemosphere*, 286, 131653. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131653>
61. Tang, K. H. D. (2023). Microplastics in agricultural soils in China: Sources, impacts and solutions. *Environmental Pollution*, 322, 121235. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121235>
62. Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., McGonigle, D., & Russell, A. E. (2004). Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science*, 304(5672), 838–838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
63. Tirkey, A., & Upadhyay, L. S. B. (2021). Microplastics: An overview on separation, identification and characterization of microplastics. *Marine Pollution Bulletin*, 170, 112604. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112604>
64. Tran, T. V., Jalil, A. A., Nguyen, T. M., Nguyen, T. T. T., Nabgan, W., & Nguyen, D. T. C. (2023). A review on the occurrence, analytical methods, and impact of microplastics in the environment. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 102, 104248. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2023.104248>

65. Valarezo, C., Cárdenas, Z., Ponce, V. V., Puetate, I. G., & Atariguana, D. C. (2024). Miel de abeja, estudio para determinar la presencia de polietileno en muestras artesanales e industrializadas: Bee honey, study to determine the presence of polyethylene in artisanal and industrialized samples. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i2.1977>
66. Vázquez-Morillas, A., Salvador, C. M., Fuentes, J. T., Salas, A. A. C., Zeferino, J. C. Á., Araiza, J. P. H. L., & Pérez, M. V. (2023). Inventario nacional de fuentes de contaminación plástica: el caso de México. In *Actas del X Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos: Hacia la circularidad y el residuo cero. Castelló de la Plana, 20, 21 y 22 de junio de 2023* (p. 13). Servei de Comunicació i Publicacions.
67. Wang, F., Gao, J., Zhai, W., Liu, D., Zhou, Z., & Wang, P. (2020). The influence of polyethylene microplastics on pesticide residue and degradation in the aquatic environment. *Journal of Hazardous Materials*, 394, 122517. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122517>
68. Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution*, 178, 483–492. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>
69. Yoshida, S., Hiraga, K., Taniguchi, I., & Oda, K. (2021). Ideonella sakaiensis, PETase, and MHETase: From identification of microbial PET degradation to enzyme characterization. *Methods in Enzymology*, 648, 187–205. <https://doi.org/10.1016/bs.mie.2020.12.007>