



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE
MICROPLÁSTICOS EN PESCADOS QUE SE
CONSUMEN EN LA CIUDAD DE PUEBLA”**

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de:

Licenciatura en Ingeniería Ambiental

Presenta:

Guadalupe Posadas Palma

Director de TESIS:

Dra. Ma. Dolores Castañeda Antonio

Co-Director de TESIS:

Dr. Ignacio Roberto Portillo y Reyes

Puebla, Pue. Enero 2024



BUAP

Oficio No. FIQ/AC/130/2023
Asunto: Registro de Tema de Tesis

C. GUADALUPE POSADAS PALMA
PASANTE DE LA LICENCIATURA EN
INGENIERÍA AMBIENTAL
P R E S E N T E:

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesis de la Licenciatura en Ingeniería Ambiental cuyo título es el siguiente:

“DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN PESCADOS QUE SE CONSUMEN EN LA CIUDAD DE PUEBLA”

Con el siguiente contenido:

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1	ANTECEDENTES
CAPÍTULO 2	METODOLOGÍA
CAPÍTULO 3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFÍA

Directora de Tesis: Dra. Ma. Dolores Castañeda Antonio -Instituto de Ciencias.
Co-Director: D.C. Ignacio Roberto Portillo y Reyes -Facultad de Ciencias Químicas.

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **UNICAMENTE POR UN AÑO**.

Atentamente
"Pensar Bien, Para Vivir Mejor"
H. Puebla de Z., a 3 de julio de 2023

Dra. Valeria Jordana González Coronel
Secretaria Académica

C.c.p. Directora de Tesis: Dra. Ma. Dolores Castañeda Antonio -Instituto de Ciencias.
C.c.p. Co-Director: D.C. Ignacio Roberto Portillo y Reyes -Facultad de Ciencias Químicas.
C.c.p. Archivo.

Facultad
de Ingeniería
Química

Av. San Claudio s/n, Col. San
Manuel, Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C. P. 72590
01 (222) 229 55 00
Exts. 7250 y 7251

Dedicatoria

Para mis padres, que me brindaron todas las herramientas necesarias para poder llegar a esta meta. “Que su amor sea mi base para crecer como un buen ser humano”.

Agradecimientos

A Dios, por haberme guiado y fortalecido en toda mi vida para poder llegar a este momento especial, también, porque me ha hecho un instrumento de cuidado y protección para el medio ambiente.

A mis padres, en primer lugar, por concederme esa semilla de asombro por la naturaleza y posteriormente por darme apoyo incondicional en toda mi formación.

A mi asesora de tesis la Dra. Ma. Dolores Castañeda, por creer en mí, brindarme su ayuda y consejos.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por todas las oportunidades y herramientas, siempre fue un sueño poder estudiar en este lugar.

A todas las personas que fueron parte de mis días en la escuela, que escucharon mis deseos, mis enojos y limpiaron mis lágrimas.

Gracias por ser parte de mi historia.

Índice

0. Introducción.....	1
1. Planteamiento del problema.....	2
2. Justificación.....	4
3. Objetivo general	4
3.1 Objetivos específicos.....	4
4. Hipótesis.....	5
5. Marco teórico.....	5
5.1 Historia del plástico	5
5.2 Tipos de plásticos.....	6
5.3 Tamaño de los plásticos.....	8
5.4 Clasificación de los microplásticos	8
5.5 Generación de los microplásticos.....	9
5.6 Presencia de microplásticos en ecosistemas acuáticos.....	10
5.7 Inclusión del plástico en ciclos biológicos (translocación).....	14
5.8 Afectaciones en la salud humana por los microplásticos.....	15
5.9 Pescados de consumo en Puebla donde se estudió la presencia de microplásticos	19
5.9.1 Tilapia.....	19
5.9.2 Carpa común	20
5.9.3 Trucha	20
5.9.4 Lisa.....	21
5.10 Procedimiento para la correcta manipulación de las muestras	21
5.10.1 Preservación.....	21
5.10.2 Caracterización física de los pescados	22
5.10.3 Digestión de materia Orgánica.....	23
5.11 Técnicas usadas en detección de microplásticos en pescados	23
5.11.1 Caracterización visual.....	23
5.11.2 Método de diferencia de densidades.....	24

5.11.3 Técnica instrumental para la identificación de microplásticos.....	24
5.12 Diseño experimental.....	25
5.12.1 Prueba de Kruskal-Wallis.....	25
5.12.2 Prueba de Dunn.....	25
6. Metodología.....	25
6.1 Recolección de muestras.....	26
6.2 Transporte y preparación de muestras.....	30
6.3 Digestión de las muestras.....	30
6.4 Caracterización visual.....	32
6.5 Identificación de plásticos por el método de diferencia de densidades.....	33
6.6 Técnica Instrumental para la identificación de microplásticos.....	35
7. Resultados.....	37
7.1 Especies de pescados obtenidos.....	37
7.2 Resultados de caracterización visual.....	38
7.3 Resultados del diseño experimental.....	42
7.4 Resultados de la Identificación de plásticos por el método de diferencia de densidades.....	44
7.5 Resultados de la técnica instrumental para la identificación de microplásticos.....	47
8. Discusión.....	54
9. Conclusiones.....	60
10. Referencias.....	63

Índice de Figuras

Figura 1.....	8
Figura 2.....	15
Figura 3.....	22
Figura 4.....	26
Figura 5.....	27
Figura 6.....	27
Figura 7.....	28
Figura 8.....	29
Figura 9.....	30
Figura 10.....	31
Figura 11.....	31
Figura 12.....	32
Figura 13.....	33
Figura 14.....	34
Figura 15.....	35
Figura 16.....	36
Figura 17.....	37
Figura 18.....	40
Figura 19.....	40
Figura 20.....	41
Figura 21.....	43
Figura 22.....	44
Figura 23.....	48
Figura 24.....	48
Figura 25.....	49
Figura 26.....	49
Figura 27.....	50
Figura 28.....	51
Figura 29.....	52
Figura 30.....	53
Figura 31.....	59
Figura 32.....	60

Índice de Tablas

Tabla 1	6
Tabla 2	9
Tabla 3	17
Tabla 4	29
Tabla 5	34
Tabla 6	37
Tabla 7	38
Tabla 8	42
Tabla 9	44
Tabla 10	50
Tabla 11	53

0. Introducción

A través de la historia, se ha logrado apreciar cómo el hombre hace inventos, a beneficio propio y cubriendo necesidades de la vida cotidiana. Tal es el caso de la creación y perfeccionamiento del plástico que se puede encontrar en la mayoría de las cosas que poseen las personas actualmente.

Específicamente en el año de 1907, se patenta el primer plástico completamente sintético por el químico Leo Hendrik Baekeland. Siendo ocupado en las actividades básicas y teniendo un desarrollo paralelo con la electricidad, la industria etc. Y es aplicable en muchas materias hasta la actualidad (Luna Fernández, 2020).

Sin embargo la producción en masa del plástico y de los distintos tipos en los que se presenta, ha generado una problemática de contaminación mundial, donde influye la mala gestión de los residuos, un uso desmedido por la sociedad y una reducida actividad del reciclaje, aunque el plástico tiene la capacidad de incluirse nuevamente en las cadenas de valor, menos del 10 por ciento se puede considerar reciclado, de los siete mil millones de toneladas a nivel mundial que han sido generadas (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2022). En la actualidad, la creación de más plástico es una situación que no para y por otro lado es alarmante el tiempo de su uso, que puede ser de minutos y después desechado.

Si bien el plástico es manufacturado y distribuido en poblaciones, la presencia de este material se ha encontrado en lugares inhóspitos e inesperados. Que con el tiempo se han ido estudiando sus afectaciones generadas y futuras, englobando problemas a los animales marinos, terrestres y aéreos, a los ecosistemas y sobre todo a los seres humanos (Castañeda, 2023).

Finalmente, el aspecto que se debe tomar en cuenta es el daño que puede generar un plástico dependiendo su tamaño, como macroplástico $> 5\text{mm}$, microplásticos (MPs) $\leq 5\text{ mm}$ y nanoplásticos (NP) $\leq 100\text{ nm}$. Esta característica es lo que denota, que los problemas parezcan imperceptibles para las personas, pero bastante perjudiciales.

1. Planteamiento del problema

La producción y uso del plástico masivo en primer lugar fue para cubrir la necesidad de una población que apuntaba a tener una vida acelerada, buscando productos de fácil acceso proporcionando un bienestar inmediato, sin embargo, la alta demanda y la mala gestión de estos, ha ocasionado problemas ambientales y problemas en la salud humana sin precedentes. El uso de plástico puede triplicarse, por el aumento demográfico, esperándose que los mayores aumentos se generen en África subsahariana y Asia (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2022).

Los elementos plásticos llegan al ambiente, principalmente a sistemas fluviales a través de fuentes, por ejemplo: Escorrentía de lodos dispuestos en campos de cultivo, degradación ambiental de la basura plástica, liberación de desechos industriales, vientos, eventos catastróficos, obstrucción por basura en alcantarillado de las ciudades y escorrentía de vertederos a cielo abierto; teniendo un comportamiento que depende de su densidad, forma y tamaño, dando como resultado un tiempo de residencia distinto y de forma diferente llegarán al océano (Sulaiman, 2023). Es así que, al llegar al mar, pueden concentrarse en zonas donde las corrientes oceánicas giratorias tienen su centro, y que constantemente atraen objetos, formando las islas de basura (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de EE.UU. [NOAA], 2022). Estas islas de basura es una evidencia irrefutable de la alta concentración de microplásticos presentes en la Tierra, lamentablemente ahora existen 7 islas.

Si bien el macroplástico por su gran tamaño hace afectaciones a los organismos marinos como el enredo, la inanición, ahogamiento, laceración de los tejidos internos, asfixia, falta de oxígeno y luz, estrés fisiológico y daños toxicológicos (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2021). Este macroplástico, por la incidencia de la luz solar, viento, y la energía mecánica de las olas, tiende a fraccionarse y convertirse en microplásticos y la omnipresencia del mismo, genera severas problemáticas. Aproximadamente el 70% de los MPs se depositan en el fondo marino, 15% están en zonas costeras y 15% flotan en aguas

superficiales. Provocando desequilibrio ecológico, un ejemplo de ello es la reducción de la capacidad del secuestro de carbono en el océano (Yan *et al.*, 2021).

El ser humano y su salud también percibe las consecuencias, ya que el microplástico si es ingerido, puede translocarse a distintos tejidos, desencadenando situaciones perjudiciales, provocadas por los compuestos químicos o por efectos mecánicos, a causa de que son polímeros más una mezcla compleja de aditivos (Quiñones, 2019). Un punto considerable es que solo las partículas $<150 \mu m$ que entran al tracto gastrointestinal, pueden atravesarlo y estar biodisponibles, sin embargo, solo el 0.3% podría ser completamente absorbido. A pesar de que falta más información sobre la correlación entre el consumo de pescados contaminado y la disfunción en el cuerpo humano, ya es aceptada la relación dentro de la comunidad científica que representan un peligro real para la humanidad (Neves *et al.*, 2022).

Ya se pueden nombrar ciertas enfermedades asociadas a la contaminación plástica, por ejemplo, inflamación, genotoxicidad, estrés oxidativo, apoptosis, y necrosis, llevando a otras enfermedades, por ejemplo: cáncer, enfermedad inflamatoria intestinal, diabetes, artritis reumatoide, inflamación crónica, accidentes cerebrovasculares, trastornos del sistema autoinmune, y enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas (Center for International Environmental Law (CIEL), 2019).

Actualmente la inquietud de la presencia de MPs en pescados que se consumen en el estado de Puebla, ha aumentado y aunque el territorio no cuenta con litoral, las personas pueden estar expuestas al consumo del plástico a través de especies marinas que consumen. Por lo cual se analizaron muestras de pescados específicos, tanto de una granja piscícola, un centro recreativo y de rutas comerciales como Tabasco, Campeche y Veracruz. Se buscó la metodología que más se adaptó a las necesidades de la investigación con el material que se encontraba en el laboratorio, logrando evidenciar la presencia del microplástico.

2. Justificación

La presente investigación es considerada una base necesaria para visualizar si se encuentran solamente microplásticos, en el sistema digestivo de los pescados, es decir que posteriormente con técnicas e instrumentos especializados, se pueda detectar MPs o NPs incluso en la piel de los animales, considerando este trabajo el primer eslabón que debe seguir una investigación profunda de la exposición de personas a los MPs y NPs, a través de su dieta, ya que no son las mismas afectaciones en su salud dependiendo el tamaño de los plásticos.

Es así que el trabajo recopiló información necesaria sobre técnicas utilizadas para la detección de microplásticos en el tracto digestivo en pescados de agua dulce y salada. Aun cuando existen plásticos de mayor tamaño que también generan daños, este estudio se basó específicamente en microplásticos, porque los daños pueden ser muy diversos en ecosistemas, fauna y salud humana.

Por ello, se afirma que este estudio contribuye con resultados que evidencien la presencia de microplásticos en pescados que se consumen en el estado de Puebla, muestra valores reales que se pueden tomar como base y precedente para proyectos de monitoreo de especies acuáticas, limpieza de cuencas hidrológicas, educación ambiental con datos duros para la sensibilización de la sociedad sobre el grado de afectación de los microplásticos y que las personas no sean indiferentes a esta problemática, finalmente generar conciencia para el correcto manejo de residuos plásticos y realizar un reusó de ellos.

3. Objetivo general

Evidenciar la presencia de microplásticos en pescados que son base del consumo local en el estado de Puebla.

3.1 Objetivos específicos

- Investigar los conceptos de plásticos, microplásticos y afectaciones en la salud humana a través de la revisión bibliográfica especializada.
- Determinar la presencia de microplásticos en pescados muestreados en diferentes puntos de consumo del estado de Puebla.

- Determinar por correlación de los resultados obtenidos y el lugar de origen del pescado, la presencia mayor o menor de MPs que conllevan a posible riesgo de la salud humana.

4. Hipótesis

Los pescados que se consumen en el estado de Puebla contienen microplásticos, siendo los pescados de agua dulce y de granjas piscícolas son más seguros para consumir, en comparación de los pescados de fuentes de agua salada debido a la contaminación antropogénica a nivel mundial.

5. Marco teórico

5.1 Historia del plástico

A lo largo de la historia, el desarrollo de la manufactura ha buscado satisfacer las necesidades de la población, no obstante, algunos de los inventos o productos que se tienen en la actualidad han sido creados por casualidad o como error, pero que, si no hubiera ocurrido de esa manera, no se tendrían tantos beneficios.

Un inventor británico Alexander Parkes en 1856, presentó la parkesina, esta era moldeable en altas temperaturas y rígida cuando estaba en frío, siendo características muy buenas en ese momento, tiempo después en 1872 existió otro material plástico, a partir de celulosa vegetal específicamente del algodón, presentado por John Wesley Hyatt, llamado celuloide (Luna Fernández, 2020). Finalmente, en 1907, Leo Baekeland solicitó la patente para su fórmula idónea que era mezcla de las sustancias orgánicas fenol y formaldehído, denominado Bakelite y fue el primer plástico comercial completamente sintético (Yanes, 2019).

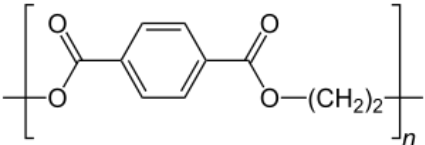
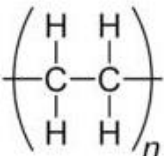
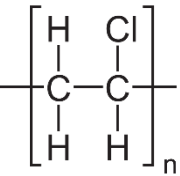
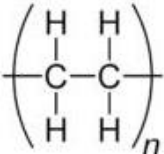
El plástico, al presentarse como una oportunidad de innovación, se implantó como nueva forma de vida, por eso en la actualidad existen distintos tipos de plástico dependiendo de cómo se utilicen dentro de la industria o de los productos que están a disposición de la comunidad, definiéndose como material sintético resultado de una reacción de polimerización teniendo como base a monómeros que son derivados del petróleo.

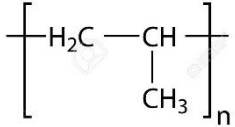
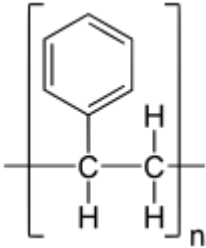
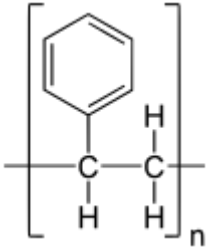
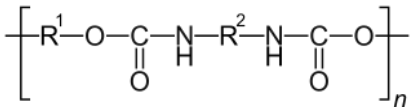
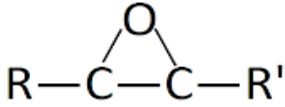
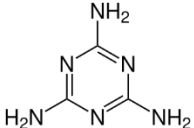
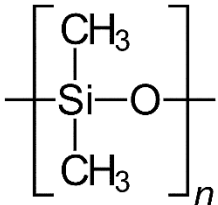
5.2 Tipos de plásticos

Existen dos familias de plásticos, los termoplásticos, que tienen la capacidad de que al calentarse pueden fundirse y endurecerse al enfriarse, esto es factible cuando se necesita, recalentar, moldear y enfriar varias veces al producto. Por otro lado, tenemos a los termoestables, estos experimentan una transformación única cuando se calientan, creando una red tridimensional que ya no permite fundirse nuevamente para darles una forma distinta (Plastics Europe, 2021). Para estos materiales su principal materia prima es de origen fósil como el petróleo y gas. A continuación, se presenta en la Tabla 1, una clasificación específica de los materiales y como se aplican en la vida cotidiana.

Tabla 1

Familias del plástico (Plastics Europe, 2021) y ejemplo de cada uno de ellos (Rodríguez, 2021). Creación propia.

Termoplásticos	Estructura química	Productos
Tereftalato de polietileno (PET)		Botellas de bebidas, paquetes de comida, botes de crema y usos farmacéuticos.
Polietileno de alta densidad (PEAD)		Envases no transparentes, detergentes y envases para aceite para motores.
Policloruro de vinilo (PVC)		Tarjetas de crédito, tuberías, materiales de construcción, revestimiento de cables y marcos de puertas y ventanas.
Polietileno de baja densidad (PEBD)		Bolsas de plástico delgadas.

Polipropileno (PP)		Tapones de botellas, popotes, tupperware, neveras portátiles, piezas de automóvil, alfombras y lonas.
Poliestireno (PS)		Vasos para bebidas calientes, envases de yogures, cubiertos de plástico, rellenos para embalaje, bandejas de comida, aislante, piezas de electrodomésticos y juguetes.
Poliestireno expandido (EPS)		Conocido como unicele, utilizado en empaques, construcción y electrodomésticos.
Termoestables	Estructura química	Productos
Poliuretano (PUR)		Colchones, revestimientos, neumáticos y suelas de zapatos.
Resinas epoxi		Galones, cubetas y tambores (recipientes).
Resina de melamina		Recubrimiento de muebles, pisos y paredes.
Silicona		Aceites y lubricantes, resinas, cosméticos limpiadores, bases de maquillaje e implantes mamarios.

5.3 Tamaño de los plásticos

Hay tres presentaciones de los plásticos, los de gran tamaño que colectivamente se conocen como macroplásticos (tamaño: >5 mm), son perceptibles en los diferentes ambientes, flotando en el agua, estancados o ensuciando lugares. Los microplásticos (tamaño: ≤ 5 mm) que por su diminuto tamaño son difíciles de localizar, pero se encuentran en todo tipo de playas, lugares remotos, profundidades del mar y territorios polares, siendo los microplásticos materia de estudio en esta investigación (Bråte *et al.*, 2017). Y los nanoplásticos (tamaño: $\leq 1\mu\text{m}$ o 1000 nm) (Wu *et al.*, 2023). Estos se producen cuando los microplásticos se desgastan mecánicamente o se degradan; tanto los MPs y NPs proyectan riesgos ambientales y efectos nocivos en la salud humana (Seung *et al.*, 2023). Sin embargo, en los MPs y NPs, varía su definición de tamaño entre estudios.

5.4 Clasificación de los microplásticos

Estas micropartículas se pueden clasificar de diferentes maneras.

Según su origen: Los MPs primarios son partículas fabricadas específicamente en un formato pequeño de microesferas, utilizándolas para dar color o textura en formulaciones comerciales. Por otra parte, los microplásticos secundarios son generados cuando los desechos de plástico grandes se fracturan al estar expuestos al ambiente como olas de mar, luz solar, entre otros (ver Figura 1) (Vázquez, 2019). Según su forma: pueden tener diferentes presentaciones como fragmentos, micro gránulos, fibras, películas y espuma.

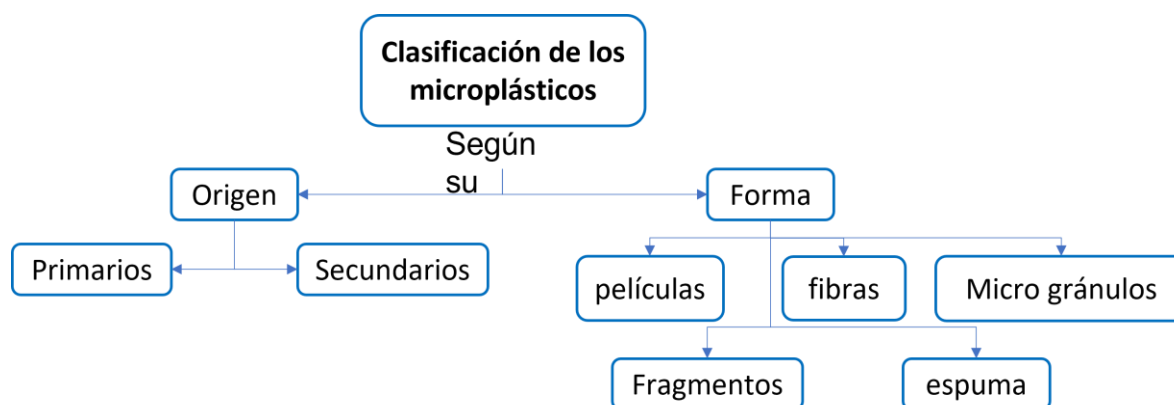


Figura 1. Diagrama de la clasificación de los MPs. Creación propia.

5.5 Generación de los microplásticos

Uno de los desechos de la actividad humana son las micropartículas plásticas, que pueden generarse de diferentes formas algunas de ellas se muestra en la Tabla 2. Recordando que no todas aportan la misma cantidad de MPs al ambiente (Moita y Silva, 2023). Y que al llegar al medio ambiente provocan una ruptura del equilibrio de los ecosistemas.

Tabla 2

Diferentes formas en las que se genera el MPs (Moita y Silva, 2023). Creación propia.

Abrasión de llantas.	Uso de cosméticos y productos de cuidado personal con micro perlas.
Efecto del viento en materiales poliméricos que están expuestos.	Acción mecánica del agua, por el simple hecho de pasar sobre un material plástico.
Lavado de ropa sintética y semi sintética en lavadoras.	Uso de detergentes sintéticos.
Derrames y liberaciones en los sitios de producción del plástico.	Césped artificial.
Mala gestión de residuos plásticos.	Operaciones marítimas.
Fragmentación mecánica de materiales plásticos que generan residuos.	Tratado ineficiente del agua en las PTAR.

Para ilustrar uno de estos casos, se tiene la demanda de alimentos, provocando que los agricultores busquen condiciones más controladas para el crecimiento y rendimiento de los cereales, utilizando invernaderos para mantener estable la temperatura, tuberías de riego y recubrimientos plásticos de semillas, que con el tiempo, cuando ya no son útiles se dejan descomponer en los campos, hasta llegar

a microplásticos, perjudicando a la biota del suelo disminuyendo la diversidad, movimiento y tasa de reproducción, así mismo pueden modificar las propiedades fisicoquímicas del mismo, restringiendo las actividades básicas de las plantas, como el crecimiento de raíces, absorción de nutrientes y productividad de los cultivos (Liuyue *et al.*, 2023).

También en la ciudad de Azogues Ecuador, en la red de agua potable de la zona urbana, se hicieron 60 muestreos en tres lugares diferentes, en la captación, red de distribución y en las redes domiciliarias, siendo un análisis cuantitativo. Como resultado encontrado, fue la mayor concentración de micropartículas en las zonas de redes domiciliarias (84.5 partículas/250 mL), se indica que una de las causas puede ser el desgaste presentado por las tuberías desde el trayecto de salida de la planta de tratamiento hasta llegar al usuario y el tipo de plástico mayormente encontrado fue el PET y el PE, se cree que es por la mayor utilización de materiales de la vida diaria como botellas o empaques de comida. El trabajo relaciona muchos factores, como el desgaste de tuberías, fotodegradación de macro plásticos de uso común, la presencia en agua potable y la forma en la que se presentan los microplásticos, mayormente en fibras y fragmentos (Quinteros Espinoza, 2022).

5.6 Presencia de microplásticos en ecosistemas acuáticos

En México y en otras partes del mundo, se ha estado estudiando recientemente el problema de los microplásticos, haciendo demostraciones de su presencia, en agua, suelo y alimentos que provienen de los océanos, con la finalidad de evidenciar hasta donde pueden encontrarse, informar a la sociedad y buscar soluciones en conjunto con gobiernos, instituciones privadas, públicas y las poblaciones afectadas.

Los plásticos al tener diferente densidad por su formación polimérica y adición de compuestos químicos pueden encontrarse flotando en el agua, o estar en el fondo marino (Aldana, 2022). Existen diversos desequilibrios ecológicos que se han registrado, por ejemplo, cuando el zooplancton se alimenta de fitoplancton lo convierte en heces, pero si los MPs están dentro de un fragmento de heces, la tasa de hundimiento se ralentiza y no favorece la deposición en el fondo del mar, disminuyendo el secuestro de carbono (Yan *et al.*, 2021). Incluso en el Mar Negro

se realizó una investigación de la contaminación por MPs en el entorno pelágico y en una clase de crustáceos llamados copépodos que forman parte del zooplancton, poniendo en riesgo las funciones críticas de estos organismos y se pueden transferir a niveles tróficos más altos (Aytan *et al.*, 2022). Por otra parte, se encontró MPs en 20 de 21 muestras de nieve tomadas de sitios europeos remotos, como los Alpes suizos y poblados de Bremen, esto lleva a pensar que han caído de la atmósfera a la nieve y por lo tanto podría indicar contaminación aérea por MPs (Bergmann *et al.*, 2019).

En Ecuador del 2018 al 2021, se registró de un 100% de pescados estudiados, la especie *Thunnus albaceres* (atún) tuvo 24% de organismos marinos contaminados, seguido de *Opisthonema libertate* (Sardina redonda) con 33%, *Echinometra vanbrunti* (Erizo negro) 23% y la *Sardina Pilchardus* (sardina) con 26%. Siendo abundantes los fragmentos y fibras con el color más sobresaliente en todos los años que fue el azul y finalmente el tamaño de partícula oscilaba de los 0.55 mm a 3 mm (Villamar Lucas, 2022). En Lima Perú, se estudiaron 5 especies de pescados de consumo e importancia económica, (*S. deliciosa*, *I. conceptionis*, *S. gigas*, *M. cephalus* y *S. japonicus*), un dato interesante dado a conocer fue que los microplásticos tenían presencia en el estómago y en las branquias por filtración de agua, también se tomó en cuenta el color de los plásticos que fueron azul, negro y blanco como dominantes en el tracto digestivo y los más abundantes en las branquias fueron azul, negro y fucsia (Iannacone *et al.*, 2021).

Dentro de las inmediaciones de las playas de Punta de Bombón, Islay- Arequipa. Donde se estudiaron 4 tipos de especies de pescado, Cabinza (*Isacia conceptionis*), Lisa (*Mugil cephalus*), Pejerrey (*Odontesthes regia regia*) y Pintadilla (*Cheilodactylus variegatus*), las muestras fueron de 10 pescados por cada especie obtenidos por pescadores artesanales y llevados a laboratorio para su estudio, los resultados obtenidos fueron la presencia de partículas diminutas plásticas en 3 de las 4 especies recolectadas, todos exámenes empiezan por su morfología del animal, seguido de la extracción de tracto intestinal para poderlo tratar y con el método FT-IR obtener el tipo de plástico. Los autores reconocen las fuentes de

contaminación en la playa estudiada, aunque hay brigadas de limpieza solo se enfoca en la zona del malecón dejando lugares más alejados sin el cuidado correspondiente (Castilla y López, 2022).

En el puerto pesquero Anconcito, Santa Elena Ecuador, donde se estudiaron a dos especies de pescados, *S. peruviana* y *L. negropinna* y se determinó que las tallas promedio estuvieron entre 21 y 37 cm respectivamente, también los datos obtenidos demostraron la presencia de plástico en el tejido muscular-epitelial e intestinal, con un porcentaje de aparición del 15% en toda la muestra y por último se registró que los microplásticos eran el 89% de forma de fibra y mayormente de color azul, seguido de negras y rojas (Flores Piguave, 2022).

Se examinaron cinco playas alrededor de la República Mexicana, para buscar parámetros y diversos indicadores y evaluar su calidad, por ejemplo urbanización, conservación, potencial recreativo y gestión de residuos, se arrojó el resultado de la presencia de microplásticos en las 5 playas (La Barra, Playa Grande, Zipolite, San Agustín y La Misión), donde su estudio minucioso detecta los plásticos como fragmentados, concluyendo que estuvieron bajo intemperismo en el mar, la playa con mayores concentraciones fue La Misión con 35-1340 MPs/m² el sábado y 141-1657 MP/m² el domingo, una observación importante que se menciona es la presencia de fracciones blancas, que se relaciona con el desecho de desechables de unicel en todas sus presentaciones que conocemos (Cruz Salas, 2020).

La contaminación de microplásticos en las playas de la Península de Baja California, México, es tan importante que se buscó realizar su caracterización y morfología. Utilizando métodos de separación como la densidad e identificación mediante espectroscopia infrarroja se llegó al resultado de un promedio de 135 partículas/kg de sedimento en las playas muestreadas, resaltando que la fibra fue más abundante en los restos encontrados y que también los polímeros más sobresalientes de la identificación fueron poliacrílico, poliacrilamida, tereftalato de polietileno, poliéster y nailon. Los autores dedujeron como principal aportador de estos micro materiales a descarga de aguas residuales y turismo donde no se tiene una buena gestión de sus residuos (Piñón *et al.*, 2018).

Se presenta el caso de una muestra realizada a 755 pescados de 66 especies diferentes, donde el 20% de estos contenía microplásticos en su tracto digestivo, sin embargo, sobresalió un caso de un huachinango ojo amarillo, esta especie vive a 90 metros de profundidad y fue el animal que contenía 45 piezas de microplástico en su estómago, siendo el animal con más micro partículas dentro de la muestra, dejando en evidencia la presencia del material fragmentado no solo en la superficie, sino en toda la columna de agua. El texto también aborda la problemática que se tiene con el tiburón ballena (*Rhincodon typus*), que al ser un animal filtrador de alimento, es más susceptible a la contaminación, ya que este pez abre su boca e introducen muchos litros de agua, después al sacarla, la va filtrando con sus diminutos dientes, para que solo permanezca su alimento, lamentablemente en este proceso puede quedarse con muchos compuestos contaminantes presentes en la columna de agua, algunos aditivos plásticos como el Polibromodifenil éter (PBDE) ha sido identificado en muestras de piel de esta especie en el Golfo de California (Atlas del plástico, 2020).

Se hizo un muestreo a 6 tilapias (*Oreochromis aureus*) proveniente de la laguna de Catemaco, Veracruz, donde en su primer muestreo se encontró un total de 39 partículas de plástico y en el segundo muestreo no se detectó ninguna, también se rescata del texto, como se hizo la caracterización de las partículas extraídas, siendo fragmentos, fibras, astillas de pintura, pellets, microplástico espumado y películas de plástico, apoyándose del color de cada una de estas (Ruiz Serrano, 2021).

Finalmente, los estudios realizados en el estado de Puebla hablan de la elevada presencia del microplásticos en la zona 3 de la cuenca del Atoyac y los plásticos identificados fueron 25.9% películas, 22.2% fragmentos, 14.8% fibras y 11.1% pellet (Mora *et al.*, 2022). En año 2021 se estudiaron ejemplares de tilapia en la presa de Valsequillo, encontrando que su crecimiento era pobre al vivir en condiciones desfavorables del río y se encontraron MPs de poliéster, poliamida de rayón y algodón; llegando a la conclusión que las fibras encontradas proceden principalmente de las fábricas textiles que descargan sus residuos en esta región (Zambrano, 2021).

El panorama presentado abre una mejor visión de las contribuciones de investigaciones científicas para el caso de estudio que se aplicará en Puebla, para tomarse como apoyo, revisión técnica y finalmente poder dotar de más resultados demostrando también presencia de microplástico en pescados de consumo humano.

5.7 Inclusión del plástico en ciclos biológicos (translocación)

La contaminación por microplásticos es un problema que la población puede considerar como imperceptible, por el tamaño de partículas en el que se presenta, sin embargo, se puede decir que, si una persona desecha una botella de plástico, regresará a ella dentro de sus alimentos. Una idea difícil de procesar, pero conociendo el término de translocación y de la disponibilidad de microplásticos en el ecosistema marino se tiene la seguridad que los humanos pueden llegar a consumir cantidades considerables de estos micro materiales.

Uno de cada cinco pescados que se consumen en México, tiene microplásticos (Castillo, 2022). Aunque la mayor cantidad de este material se encuentra en el tracto digestivo y este se desecha cuando es cocinado el pescado, los plásticos más pequeños (NP), son los que se encuentran dentro del cuerpo del animal el cual es consumido. Estudios han informado sobre la transferencia trófica de contaminantes como se ve en la Figura 2. Y en contaminantes orgánicos persistentes (COP), como en los microplásticos y nanoplásticos en alimentos y mariscos, se ha demostrado la biomagnificación. (European Food Safety Authority, 2016).

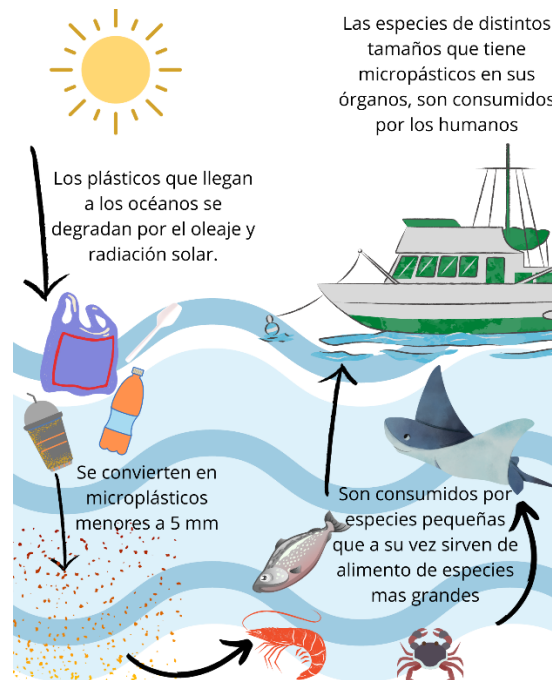


Figura 2. Diagrama de translocación en la cadena trófica de los microplásticos hasta la dieta de las personas. Creación propia.

5.8 Afectaciones en la salud humana por los microplásticos

Los microplásticos pueden encontrarse, en el agua, suelo y aire, por lo cual los humanos pueden ser expuestos a ellos directa o indirectamente, tomando diferentes rutas como son la ingesta, contacto con la piel e inhalación, principalmente las partículas más pequeñas, son más dañinas por el hecho de que pueden llegar hasta las células (Seung *et al.*, 2023). Sin embargo, aún no es concluyente esta correlación, es aquí donde se buscan distintas fuentes de información acerca del su riesgo. En revistas científicas se investigan los comportamientos de MPs en animales, sentando las bases para futuros estudios en otros organismos y evidenciar la traslocación, tal es el caso de un estudio realizado en pescados tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), en busca de los efectos tóxicos de partículas de distintos tamaños (80nm, 800nm, 8µm y 80 µm) de poliestireno, confirmando que las partículas más pequeñas de 80 nm tienden a inducir toxicidad intestinal y hepática (Wu *et al.*, 2023).

Varios estudios afirman que ya existe la presencia de microplásticos en distintas partes del cuerpo humano, por ejemplo, en el corazón, tras un muestreo de 15

pacientes y el uso de microscopía electrónica de barrido, se encontraron nueve tipos de microplásticos y el más grande midió 469 μm de diámetro (Yang *et al.*, 2023). Por otra parte, se desarrolló un método analítico con pirólisis de doble disparo: cromatografía de gases/ espectrometría de masas, para buscar MPs en la sangre humana y se aplicó a 22 voluntarios, encontrándose polímeros de alto volumen de producción, como el tereftalato de polietileno, polietileno y polímeros de estireno, indicando que las partículas pueden ser biodisponibles (Leslie *et al.*, 2022). También se detectó la presencia de microplástico mediante microespectroscopía Raman, en la placenta humana que se realizó a seis pacientes, concluyendo que pueden existir consecuencias en el desarrollo embrionario del feto (Ragusa *et al.*, 2021). Por último, otro estudio determinó micropartículas en tejidos pulmonares humanos, que se obtuvieron por autopsias, en 13 de 20 muestras y todas las fibras poliméricas tenían un tamaño inferior a 5.5 μm (Amato *et al.*, 2021).

Si bien es cierto que la forma, tamaño, química del material y la carga de las partículas son las que presiden las interacciones con los sistemas biológicos (Leslie *et al.*, 2022). También los MPs tienen la característica de que son portadores de microorganismos, metales pesados, distintas sustancias químicas tóxicas (Ragusa *et al.*, 2021). Ya sean contaminantes ambientales y aditivos plásticos (plastificantes, retardantes de llama, colorantes, estabilizadores de calor, catalizadores, lubricantes, antioxidantes y agentes espumantes) (Flaws *et al.*, 2020). Esto significa que no solo por ser polímeros muy pequeños perjudiquen a los seres humanos, si no que se consideran vectores porque tienen una superficie hidrofóbica y los resultados nocivos estarían relacionados con la heterogeneidad de los contaminantes que portan (Amato *et al.*, 2021).

Tal es el caso de los perturbadores endocrinos (PE), que son sustancias químicas no naturales o una mezcla de estas, que interfieren con el funcionamiento de la actividad hormonal. Esto quiere decir que altera el funcionamiento del sistema endocrino humano que se caracteriza por tener una serie de glándulas en todo el cuerpo, que producen varias hormonas con objetivos específicos como la adaptación ambiental, respuestas a estímulos externos, reproducción, maduración,

desarrollo del cuerpo y cerebro. Por lo tanto, los microplásticos pueden portar PE, por los aditivos químicos que se les añade en su elaboración, como se muestra en la Tabla 3. Estos consiguen imitar o inhibir las hormonas naturales y su función en el cuerpo. Y esto puede ser un factor que aumente la probabilidad de contraer o agravar las enfermedades (Flaws *et al.*, 2020).

Tabla 3

Aditivos químicos como perturbadores endocrinos (Flaws et al., 2020). Creación propia.

Sustancias químicas	Aplicaciones	Efectos
Monómero de estireno residual	Plásticos de poliestireno.	Carcinógeno.
Parafinas cloradas de cadena corta (PCCC)	Juguetes.	Alteración endocrina, afectaciones al riñón, hígado y a la glándula toroides.
Bisfenoles	Envases reutilizables de alimentos, latas de alimentos, equipo médico, tuberías, juguetes y ropa para bebés.	Imita o interfiere en los procesos regulados por los estrógenos y andrógenos.
Etoxilatos de Alquifeno	Surfactantes en pinturas de látex, pesticidas, limpiadores industriales, productos de cuidado personal y detergentes.	Bioacumulación en los tejidos, unión a los receptores de estrógeno, interrumpe el desarrollo de la próstata.
Compuestos perfluorados (PFAS)	Ropa resistente al agua, envasados de comida, pinturas, utensilios de cocina, bolsas de palomitas.	Mayor riesgo de cáncer de mama, de riñón, testículos y próstata.

Retardantes de llama bromados (BFR)	Reducen la inflamabilidad y propagación del fuego, se añaden a la espuma y poliestireno.	Alteran el desarrollo reproductivo masculino con la disminución de la concentración de los espermatozoides.
Ftalatos	Plastificantes en resinas sintéticas para que sean flexibles como productos de PVC, médicos y construcción.	Reducen niveles de testosterona e inhibe la acción de la hormona tiroidea y por otra parte disminuye las tasas de embarazo.
Estabilizadores UV	Para proteger productos de la radiación UV dañina, porque absorben el espectro completo de la luz UV.	En peces cebra, eliminan la función tiroidea y disminuyen el ritmo cardiaco.
Metales pesados tóxicos (Plomo y Cadmio)	Pigmentos, estabilizadores y catalizadores, por ejemplo, en: zapatos, alfombras, juguetes, asientos de automóvil y carcasas de aparatos eléctricos.	Se absorbe en el intestino, se unen a las proteínas de la metalotioneína, se acumula en los huesos, hígado y riñón.

Por otra parte, los microplásticos, también pueden portar microorganismos, adsorbiéndolos del entorno circundante, uniéndose a la problemática de que se han encontrado bacterias resistentes a los antibióticos y genes de resistencia a los antimicrobianos, entonces se puede considerar que los microplásticos son acarreadores de contaminantes a través de biopelículas y liberadores de los microorganismos en otros lugares o hasta en los seres humanos (Tuvo *et al.*, 2023).

5.9 Pescados de consumo en Puebla donde se estudió la presencia de microplásticos

Se analizaron especies de pescados que se consideraron importantes en la dieta de los Poblanos

5.9.1 Tilapia

Las tilapias (*Oreochromis* spp. y *Tilapia* sp), fueron introducidas al país desde 1964, estos animales son nativos de África, pero en el territorio mexicano les proporcionó las características adecuadas para su procreación, la producción de la tilapia puede tener una alta rentabilidad ya que gracias a los atributos de la especie como su rápido crecimiento, resistencia a enfermedades, elevada productividad, buena tolerancia a diferentes salinidades y la aceptación de varios tipos de alimentos (Instituto Nacional de Pesca, 2018).

El estado de Puebla ocupa el segundo lugar en producción acuícola de estados sin litorales, esto quiere decir que, aunque la República Mexicana cuenta con 17 estados con litorales, los otros estados buscaron la forma de criar tilapias a través de granjas acuícolas. También en México se cultivan ocho tipos de tilapia principalmente: tilapia herbívora, tilapia del Nilo, tilapia Stirling, tilapia blanca, tilapia de Mozambique, tilapia naranja, tilapia mojarra y la tilapia roja de Florida, se consume mayormente la tilapia mojarra que será el pez específico para estudiar (Representación agricultura Puebla, 2016).

Por otra parte, la tilapia mojarra que vive en el mar, se considera consumidora bentónica, eso quiere decir que con ayuda de su boca retráctil se alimentan de pequeños organismos que se entierran en la arena, se adhieren a las superficies como rocas o caminan en el fondo de la columna de agua (Pineda *et al.*, 2016).

Morfología:

- Cuerpo robusto comprimido y discoidal, raramente alargado.
- Boca protráctil con labios gruesos
- Aleta dorsal en forma de cresta con espinas y radios en su parte terminal.
- Aleta caudal redonda y trunca.

- Macho tiene dos orificios en la papila genital: el ano y el orificio urogenital
- Hembra posee tres orificios: el ano, el poro genital y el orificio urinario (Instituto Nacional de Pesca, 2018).

5.9.2 Carpa común

El cultivo de la carpa común (*Cyprinus carpio communis*) y de la carpa dorada (*Carassius auratus*), se remonta a mediados del siglo XIX, traída de Europa, sin embargo, en 1979 llegaron ejemplares de la República Popular China como la carpa brema (*Megalobrama amblycephala*), la carpa negra (*Mylopharyngodon piceus*) y la carpa cabezona (*Hypophthalmichthys nobilis*) y Puebla tiene un número considerable de granjas de autoconsumo llegando a 46 (Instituto Nacional de Pesca, 2018).

El valor de producción la carpa genera 361.2 millones de pesos al sector pesquero y acuícola nacional, este animal es un alimento nutritivo y fresco, encontrándose al alcance de millones de personas (Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, 2018). La carpa de río se alimenta de crustáceos, insectos, moluscos y un tipo de gusano llamado verme.

Morfología

- Cuerpo robusto y comprimido con escamas grandes y gruesas.
- Presentan diversas coloraciones, pasando desde verde olivo, amarillo, gris verdoso, gris oscuro a negro (Instituto Nacional de Pesca, 2018).

5.9.3 Trucha

Pescado que puede tener su hábitat en agua dulce, salobre y marino. Siendo un animal que se adapta a cambios ambientales, según su alimentación su carne puede ser blanca o rosada (Pescadería Coruñesas, s.f.).

El estado de Puebla cuenta con conocidos criaderos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), estas granjas piscícolas, tienen un gran auge turístico y comercial, se encuentran ubicados en San Baltazar Atlimeyaya, utilizando el agua que baja del deshielo del volcán Popocatepetl, que puede tener una temperatura de 13°C (Municipios Puebla, 2018). La alimentación de la trucha de criadero es a base

de harinas vegetales o de pescado, complementos de vitaminas y minerales, aceite de pescado o de soya.

Morfología

Cuerpo de forma alargada, ausencia de dientes hioideos, coloración azul a verde oliva sobre una banda rosada a lo largo de la línea lateral y plateada por debajo de ella.

Lomo, costados, cabeza y aletas cubiertas con pequeños puntos negros (Comité estatal de sanidad e inocuidad de Baja California A.C., s/f).

5.9.4 Lisa

El nombre científico de este pescado es *Mugil cephalus*, puede aceptar niveles altos de salinidad y los ejemplares pueden medir entre 30 y 60 cm de longitud.

Este animal es producido en 17 estados, encabezando la lista Tamaulipas, seguido de Nayarit y Sinaloa; siendo base gastronómica, presentándose en muchos platillos gastronómicos en toda la República Mexicana (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

Morfología

- Cuenta con dos aletas dorsales, aletas pectorales y una caudal.
- Su cabeza verticalmente comprimida.
- El cuerpo es de sección cilíndrica y el dorso de color entre grisáceo y plateado (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

5.10 Procedimiento para la correcta manipulación de las muestras

5.10.1 Preservación

La muestra de pescado debe mantenerse fresca, ya que se busca prolongar el tiempo de conservación del pescado, para reducir la actividad de bacterias y enzimas, como también de procesos físicos y químicos que afectan la calidad y presentación del animal, claro está que, para aprovechar las ventajas del enfriamiento, es fundamental mantener las temperaturas bajas en todo momento de manipulación de los pescados, disección y mantenimiento de intestinos. Se puede

transportar en hieleras que contengan hielo teniendo una temperatura ambiente de 4°C. Por otro lado, si la muestra se tiene en congelamiento, es recomendable su deshielo dentro de una nevera para evitar la rápida descomposición de tejidos.

5.10.2 Caracterización física de los pescados

Las muestras pueden ser clasificadas con un estudio preliminar, según su hábitat, rol trófico, y profundidad y se deben obtener las principales medidas morfométricas de cada uno de los pescados, tales como la longitud total LT (cm), que se muestra en el inciso a) de la Figura 3, y el peso (g) (Iannacone *et al.*, 2021). Al ser una investigación que se basa en el tracto digestivo de los pescados, cuando se hace la disección del sistema digestivo, incluye: estómago, intestino hígado, páncreas y ciegos pilóricos (Astorga *et al.*, 2021). Una disección de un pescado puede realizarse con un corte que empieza en el orificio anal y termina hasta la boca o antes de la cabeza, como se representa en el inciso b) de la Figura 3 (Flores Piguave, 2022).

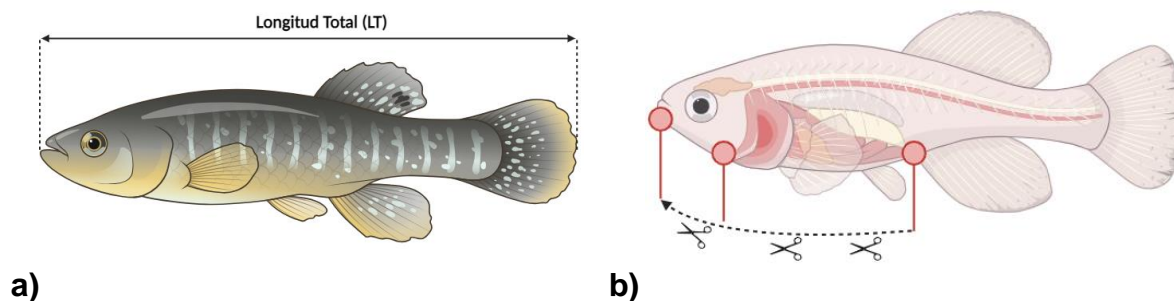


Figura 3. Caracterización física **a)** longitud total de un pescado. **b)** corte de disección. Creación propia.

El desafío que se presenta es poder encontrar a los microplásticos que pueden pasar desapercibidos por que pueden estar enmascarados por materia biológica, biopelículas microbianas y algas (Lusher *et al.*, 2017). Existen diferentes tipos de digestión del tracto digestivo, ya sean alcalinos, ácidos, enzimáticos y oxidativas (Acevedo Quilis, 2020).

5.10.3 Digestión de materia Orgánica

Digestión ácida: Las sustancias químicas ácidas pueden servir para la digestión de material biológico, un ejemplo es el ácido nítrico (HNO_3), que el compuesto con mayor efectividad basado en observaciones, también se sugiere una mezcla de 65% de HNO_3 y 68% ácido perclórico (HClO_4) en una relación de 4:1. Sin embargo aún puede existir el riesgo de destrucción de fibras nylon y fusión de esferas (Lusher *et al.*, 2017). **Digestión oxidante:** Los compuestos químicos como peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y persulfato de potasio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$), son buenas opciones como agentes oxidantes. Por otro lado, algunos estudios han demostrado la formación de espuma de peróxido de hidrógeno que puede intervenir en los resultados (Lusher *et al.*, 2017). **Digestión enzimática:** Se puede considerar una opción creativa y correcta para la eliminación de material en el tracto digestivo, al hidrolizar proteínas y descomponer tejidos blandos, aunque se necesita agregar más de un tipo de enzima para tener un porcentaje mayor de digestión dependiendo la composición química de la muestra, un ejemplo es la digestión con proteinasa-K en una muestra de tracto de tortugas (Lusher *et al.*, 2017). **Digestión alcalina:** forma efectiva para digerir materia orgánica y analizar los microplásticos que pueda contener la muestra, utilizando hidróxido de potasio (KOH), es una propuesta económicamente rentable, hidrolizando los enlaces químicos y desnaturalizando enzimas (Lusher *et al.*, 2017). Utiliza productos químicos accesibles y requiere un procedimiento de muestreo simple. Esta forma de digestión no está sujeta a un número de muestras en específico, pero si hay más muestras disponibles, mejor será la interpretación de los resultados (Lusher y Hernández, 2018). Tomándose la digestión alcalina como proceso idóneo de este trabajo.

5.11 Técnicas usadas en detección de microplásticos en pescados

5.11.1 Caracterización visual

Esta técnica es complementaría a la clasificación con otras más especializadas ya que se utiliza un microscopio estereoscópico para reconocer todas las partículas plásticas que están en el papel filtro después de la filtración, se registra forma como fibra, fragmento y esferas, el número que hay de cada una de ellas y color, sin

embargo, esto puede ser subjetivo. Puede ser que los peces tengan una preferencia de alimentación y eso depende si consumen un MPs de un color en específico (Ory, 2017).

5.11.2 Método de diferencia de densidades

Es un método práctico de separación e identificación de materiales plásticos, con un costo relativamente bajo, el procedimiento implica colocar una solución de agua con alcohol, una solución salina o simplemente agua en un recipiente, y depositar el material hasta que se humedezca completamente, el material más ligero a comparación de la solución o del agua, podrá flotar y el material pesado se hundirá, el funcionamiento del método consiste en que los materiales colocados tengan diferentes densidades entre sí y para acelerar el proceso se puede someter a la centrifugación (Lara Álvarez, 2009).

5.11.3 Técnica instrumental para la identificación de microplásticos

Para la confirmación de los plásticos encontrados puede llevarse a cabo de diferentes maneras, desde métodos sencillos solo para caracterizar si son materiales plásticos o determinación de la naturaleza de las fibras, donde se aplica una tinción y si estas fibras no se manchan se consideran sintéticas, sin embargo, para evitar caer en el error humano de la subjetividad, una prueba definitiva se pueden considerar las opciones de espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR), espectroscopia Raman y cromatografía de gases (European Food Safety Authority, 2016). Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR): Es un método fisicoquímico que busca medir las vibraciones de una molécula excitada que se le está incidiendo una radiación infrarroja con un rango específico de longitud de onda. Las vibraciones que tienen las moléculas pueden estar relacionadas a su simetría (Ercolini, 2014). Espectroscopia Raman: Es una técnica fotónica de alta resolución, esto quiere decir que se basa en la dispersión de la luz cuando se incide un haz de luz en un material inorgánico u orgánico, esta técnica analítica puede tener distintas versiones mejoradas o de mayor alcance como la espectroscopia Raman de superficie mejorada (SERS) y puede aplicarse en varios

campos de estudio, como analizar contaminantes en el suelo entre otros (Preedy y Ross, 2021).

Cromatografía de gases: Es una técnica común que se utiliza para analizar la composición química de los polímeros y aditivos plásticos (Fries *et al.*, 2013). Este método se ha aplicado exitosamente en muestras complejas que tuvieron primero que pasar por un procedimiento de limpieza reduciendo la contaminación orgánica que pudiera presentar (Ribeiro *et al.*, 2020). Se pueden tomar las muestras de diferentes formas, si es fase líquida, con equipo de espacio de cabeza estático, si es gaseosa, por espacio de cabeza con jeringuilla especial para gases, finalmente para sólidos es con una fibra recubierta con una base de extracción (Marrero *et al.*, 2010), esta técnica instrumental se seleccionó para el trabajo.

5.12 Diseño experimental

5.12.1 Prueba de Kruskal-Wallis

Busca en tres o más grupos, si existe una diferencia estadísticamente significativa entre sus medianas. Esta prueba se tomará si los datos no siguen un comportamiento normal (Ortega, 2023). Busca comparar k muestras aleatorias que se obtuvieron de las k posibles poblaciones, es así como en el procedimiento se deben asignar rangos a los datos que se obtuvieron en el experimento (Ramírez y López, 1993).

5.12.2 Prueba de Dunn

Es un análisis post-hoc, esto quiere decir, que es un procedimiento de comparaciones múltiples donde se buscan diferencias entre los tratamientos aplicados a las poblaciones independientes (Ramírez y López, 1993).

6. Metodología

Tras el análisis de procedimientos para la manipulación de las muestras y las técnicas utilizadas en la detección de microplásticos, se estableció un diagrama de flujo con el objetivo de encontrar microplásticos (Figura 4).



Figura 4. Diagrama de flujo del procesamiento que tendrán los pescados recopilados. Creación propia.

6.1 Recolección de muestras

Se seleccionaron 4 lugares de muestreo, con distintas características de alimentación, de turismo, etc. De cada lugar seleccionado se obtuvo un grupo de muestras para su mayor comprensión en los resultados.

El primer muestreo se llevó a cabo en diciembre del 2022, donde se obtuvieron 5 peces lisas (*Mugil cephalus*), en la pescadería “La Almeja”, ubicada en Av. 16 Poniente 301, en el Centro Histórico de Puebla (ver Figura 5), cabe destacar que las pescaderías que se encuentran contiguas al mercado 5 de mayo, son muy concurridas por personas que buscan pescado fresco.

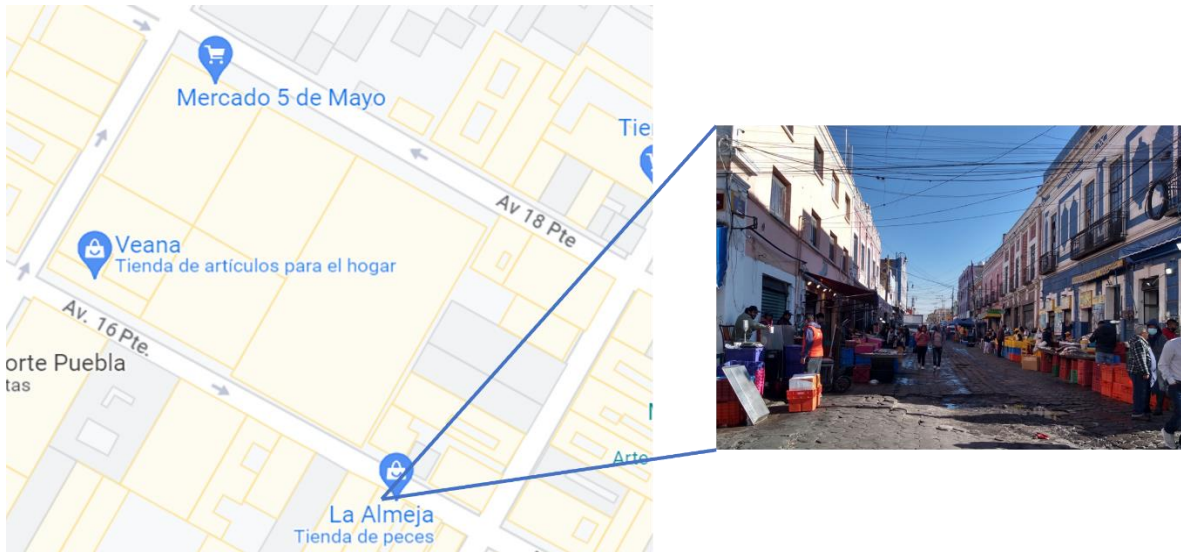


Figura 5. Ubicación de la pescadería donde se obtuvo el primer muestreo.
Creación propia.

El segundo muestreo tuvo locación en San Baltazar Atlimeyaya, específicamente en la granja piscícola XOUILIN (ver Figura 6), que se considera una zona con afluencia turística en Puebla, con un promedio de 5000 visitantes a la semana. En enero del 2023, se obtuvieron 6 truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*).

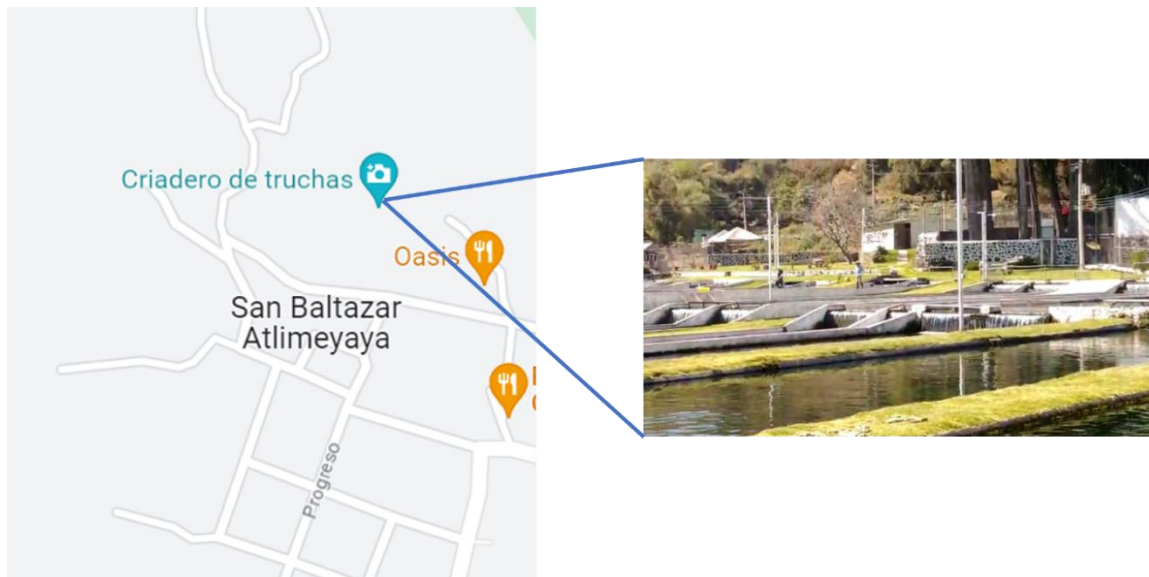


Figura 6. Ubicación de la granja piscícola XOUILIN. Creación propia.

Un tercer muestreo se realizó nuevamente en las inmediaciones del mercado 5 de mayo, en una pescadería llamada “La Parguita Reyna”, con dirección de la Av. 16

Poniente 309 (ver Figura 7). En febrero del 2023, se obtuvieron 1 pescado lisa (*Mugil cephalus*), 11 Carpas de río (*Cyprinus carpio communis*) y 10 Mojarras de mar (tilapia mojarra).

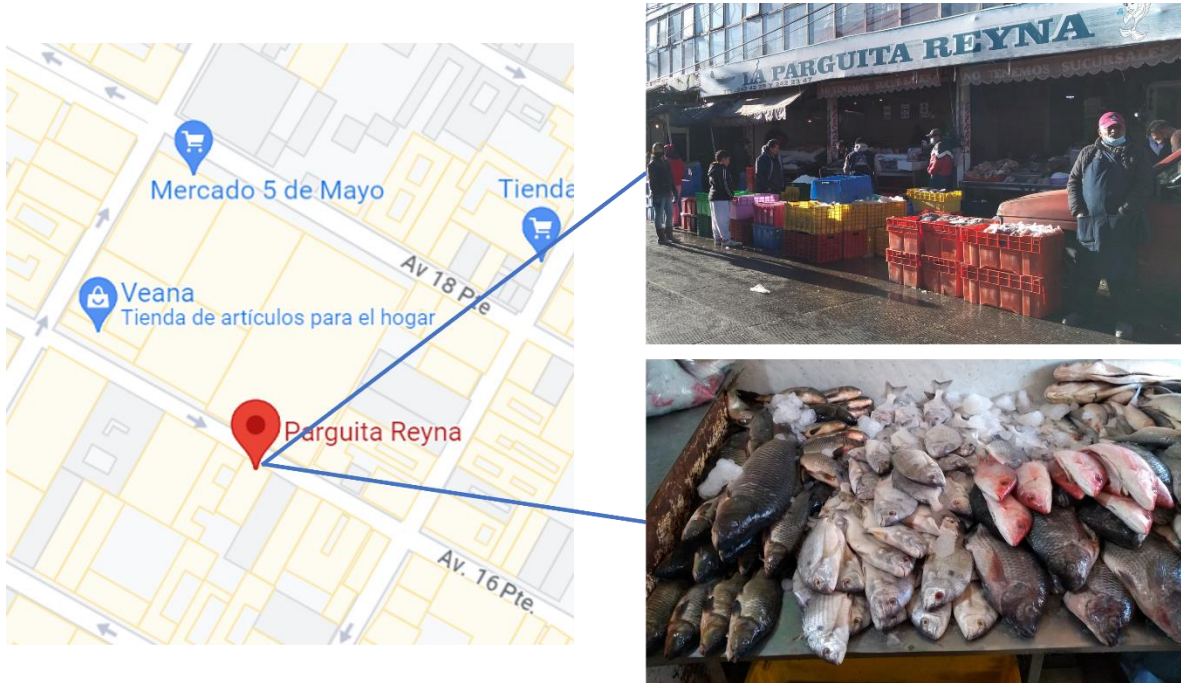


Figura 7. Ubicación de la pescadería donde se obtuvo el tercer muestreo.
Creación propia.

Finalmente, el cuarto muestreo se realizó en el atractivo turístico de la Ex hacienda de Chautla, que se encuentra a 500 metros del río Aculco y a 45 km del centro histórico de Puebla (ver Figura 8), presentando la pesca como actividad de recreación, pero todo el pescado que se extrae de la laguna se consume. En febrero del 2023 se tomaron 9 truchas (*Oncorhynchus mykiss*).

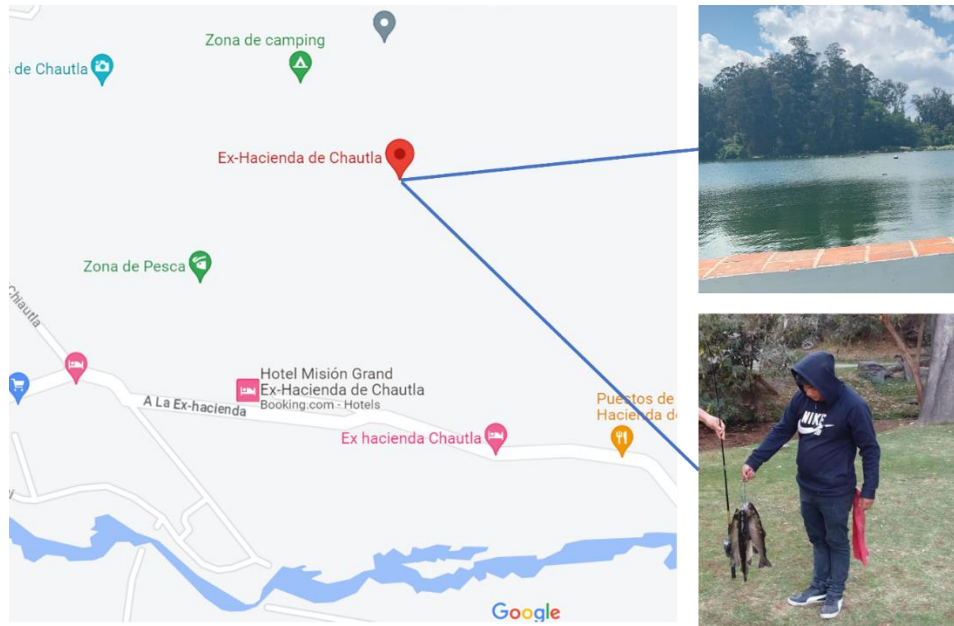


Figura 8. Ubicación de la Ex hacienda de Chautla, donde se obtuvo el cuarto muestreo. Creación propia.

Cabe mencionar que dependiendo los sitios de muestreo es el nombre de grupo que se asignó al conjunto de muestras, como se muestra en la Tabla 4 y así identificar más fácilmente las muestras y posteriormente los resultados sean fáciles de comprender.

Tabla 4

Grupos de pescados. Creación propia.

Lugares de muestreo	Nombre del conjunto de muestras
Pescadería “La Almeja”, ubicada en Av. 16 Poniente 301, en el Centro Histórico de Puebla.	GRUPO 1
Granja piscícola XOUILIN, en San Baltazar Atlimeyaya.	GRUPO 2

Pescadería llamada “La Parguita Reyna”, con dirección de la Av. 16 Poniente 309.	GRUPO 3
Ex hacienda de Chautla.	GRUPO 4

6.2 Transporte y preparación de muestras

Todas las muestras en sus respectivos días de recolección fueron transportadas en una hielera con hielo buscando una temperatura máxima de 4°C (ver Figura 9). Seguido de esto, se realizó un enjuague de cada pescado y después se realizó la caracterización física, donde se recolectó la información de cada individuo como: nombre de la muestra, peso completo (g), longitud total (cm) y observaciones. La balanza que se ocupó fue marca VINSON, clase de exactitud media.



Figura 9. Hielera para transporte y balanza VINSON. Creación propia.

Para la disección de los animales se ocupó una tijera de acero inoxidable de 10 in y para todos los pescados se introdujo la tijera desde el orificio anal y se cortó hasta terminar en la boca, de tal manera que se pudieron sacar en perfecto estado todos los intestinos de los animales y se resguardaron en papel aluminio.

6.3 Digestión de las muestras

El tracto digestivo se cortó aproximadamente cada 2 centímetros y se colocó en viales. A la par se hizo la solución de KOH al 10%, para esto, se pesó y colocó 10 gramos de KOH en un matraz aforado de 100 mililitros como se muestra en la Figura

10, posteriormente se colocó en una proporción de 3:1 de la solución de KOH al 10% en los mismos viales Figura 11.

Los viales se colocaron a 60°C mínimo por 5 días para su digestión.



Figura 10. Solución de KOH al 10%. Creación propia.

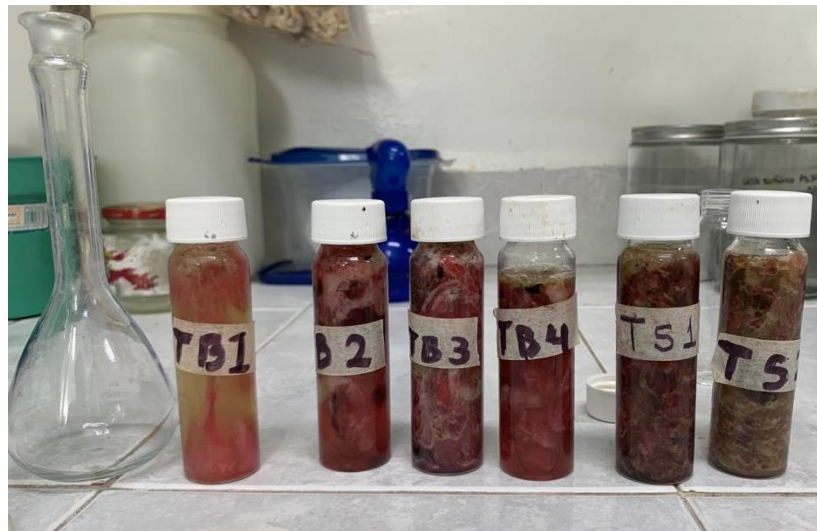


Figura 11. Viales con trato digestivo y solución para su digestión. Creación propia.

Posteriormente se filtraron al vacío las muestras digeridas, a través de un embudo Buchner y un matraz Kitasato como se muestra en la Figura 12 y se colocó un papel filtro el cual se reservó en papel aluminio y nuevamente se colocaron en la estufa a 60°C para quitar el exceso de humedad.

Sin embargo, existieron digestiones incompletas, porque el estómago de algunos peces contenía exceso de algas, trozos de conchas, arena o exceso de grasa. Para esto se hicieron lavados de las piezas grandes y se retiraron.

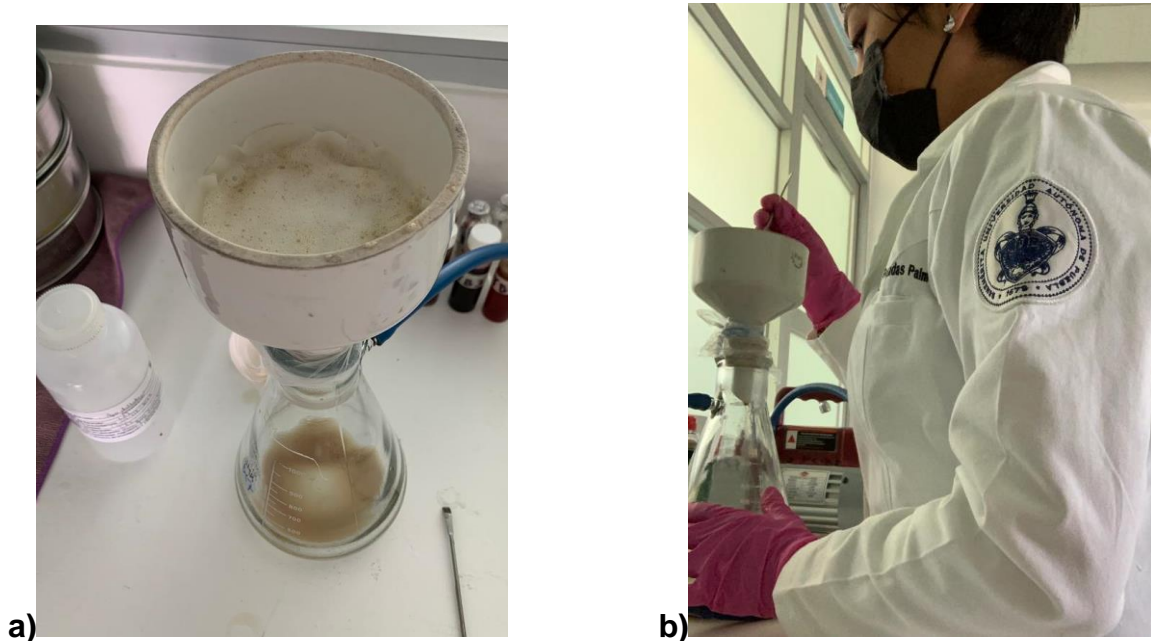


Figura 12. Filtración al vacío de los viales. **a)** embudo Buchner y un matraz Kitasato. **b)** Colocación de muestra en el embudo Buchner. Creación propia.

6.4 Caracterización visual

Se realizó la lectura de sedimento, contenido en cada papel filtro a través del microscopio estereoscópico ZEIGEN (20X Y 40X), la búsqueda de partículas se realizó en zigzag y con ayuda de una hoja milimétrica (ver Figura 13), con el propósito de inspeccionar todo el papel filtro, sin repetir algún espacio o que faltara alguno.

Cuando se encontraban partículas candidatas a ser consideradas plásticos, se tomaba en cuenta algunos factores, como:

*Aplicar presión sobre ellas, ya que en algunos casos se desintegraban dando a entender que eran restos de materia orgánica.

*El color tenía que ser uniforme en todo el microplástico.

*Las fibras se presentaban de forma flexionadas y no completamente rectas.

Es así como se realizó el conteo de partículas, también se detalló el color y forma, seguido de esto, se colocaron las partículas encontradas de cada muestra en tubos de ensayo, junto con un raspado del papel filtro por si existía algún remanente plástico que no se notó en el microscopio.



Figura 13. Microscopio estereoscópico. Creación propia.

6.5 Separación de MPs con el método de diferencia de densidades

Este método busca la separación de los MP dependiendo el tipo de plástico con el que están hechos, ya que cada composición de los polímeros genera una densidad distinta y determina su comportamiento en varios medios acuosos. En la Figura 14 se muestra la conducta de las micropartículas en un líquido más o menos denso que el agua. Y en la Tabla 5 se presentan las densidades de cada plástico.

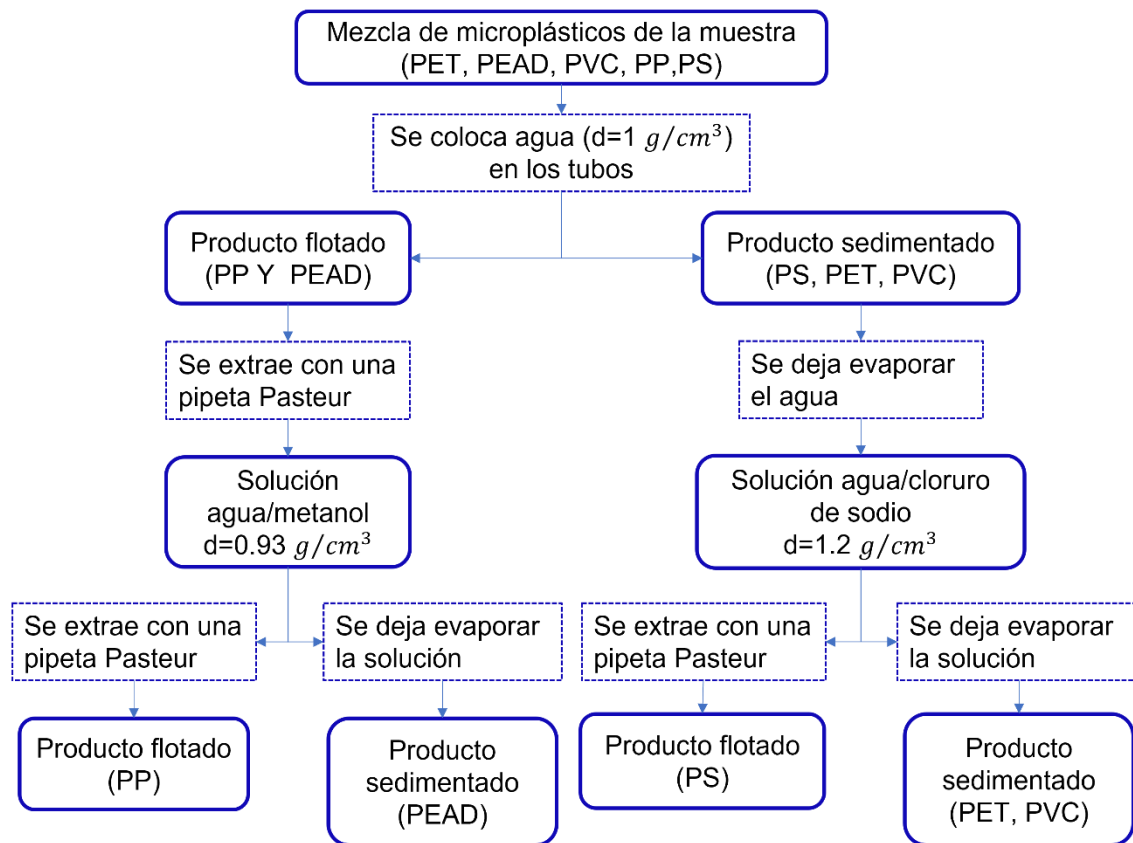


Figura 14. Diagrama de separación de MPs, por diferencia de densidades.

Creación propia.

Tabla 5

Densidades de los plásticos (BASEMAN, 2019). Creación propia.

Plástico	Densidad
PET	1.38 - 1.41 g/cm^3
PEAD	0.94 - 0.98 g/cm^3
PVC	1.38 - 1.41 g/cm^3
PP	0.85 - 0.92 g/cm^3
PS	1.01 - 1.06 g/cm^3

Entonces, al tener los MPs en tubos de ensayo como se describió en el paso anterior, para cada muestra se siguió el procedimiento de la Figura 14, como primer

paso, se añadió 5 ml de agua destilada en cada tubo, para separar el producto flotado se utilizó una pipeta Pasteur y se colocó en un tubo de ensayo distinto, por otra parte, para obtener las partículas sedimentadas se eliminó el líquido restante por evaporación, posteriormente a estos tubos de ensayo se añadió respectivamente las soluciones de metanol (CH_3OH) al 70% y cloruro de sodio (NaCl) al 23% (ver Figura 15). Finalmente, después de añadirlas, se realizó el mismo procedimiento de recuperar el producto con una pipeta Pasteur y evaporación.

Por otra parte, se crearon microplásticos de PET, PEAD, PVC, PP y PS, para aplicar nuevamente el procedimiento, con el fin de evidenciar la separación de todos los plásticos debido a sus distintas densidades.

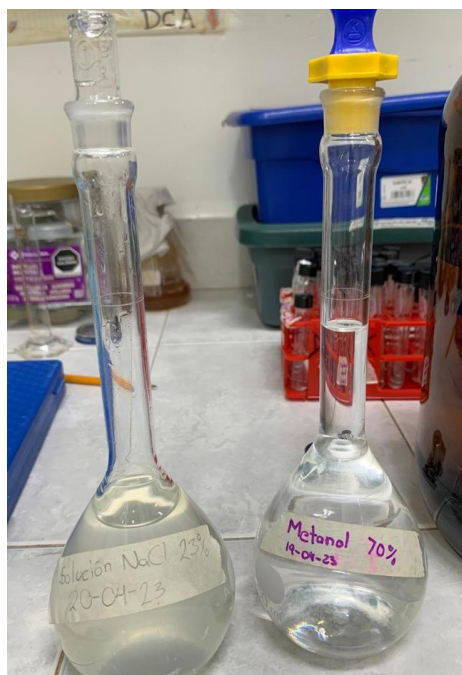


Figura 15. Soluciones con Cloruro de sodio (1.20 g/cm^3) y solución con metanol (0.93 g/cm^3). Creación propia.

6.6 Técnica Instrumental para la identificación de microplásticos

Se analizaron las fracciones de las muestras separadas del paso anterior. Cada sedimento recuperado se disolvió en 1 ml de diclorometano grado HPLC. Por otra parte, se sometieron a estudio muestras de plásticos ya identificados y el perfil

obtenido sirvió de referencia para la identificación de los compuestos presentes en las muestras.

Las muestras se analizaron en un Cromatógrafo de gases (ver Figura 16), con las siguientes características y condiciones. Equipo Agilent Technologies 7890A GC System, equipado con un auto muestreador Agilent 7693 (G4513A), y un detector de masas Agilent Technologies 5975C VL MSD. Los analitos se separaron en una columna ZB-50 (L=30m ID=0.25mm FT=0.25 μ m), que tenía una composición de 50%fenilo y 50% de dimetilpolisiloxano. La rampa de temperatura en el horno inició con 60°C con incremento de 12 °C/min con incremento hasta 194°C manteniéndose por 2 minutos, posterior incremento de 10 °C/min hasta 295°C para mantenerse así por 4 minutos. El volumen de inyección fue de 1 μ L y se utilizó helio 5.0 como gas acarreador.

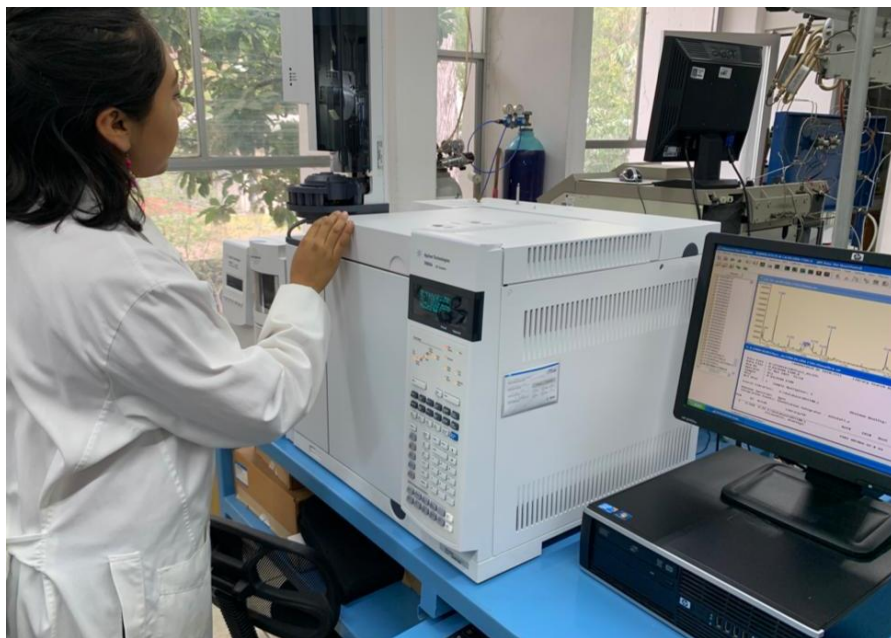


Figura 16. Cromatógrafo de gases en lectura de los viales. Creación propia.

7. Resultados

7.1 Especies de pescados obtenidos

De los 4 muestreos realizados, se obtuvieron 42 ejemplares en total y 4 especies distintas de pescados (ver Figura 17).

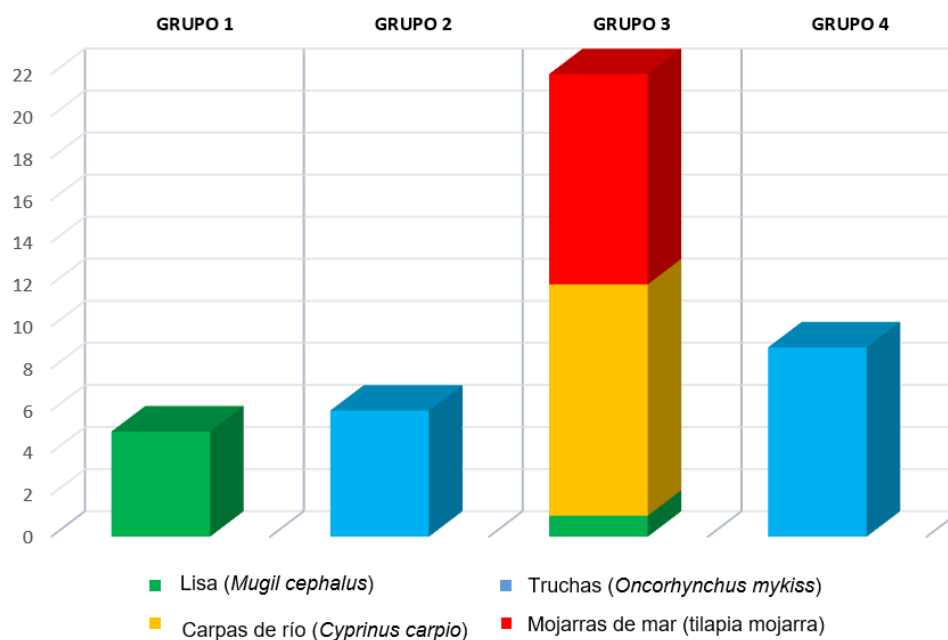





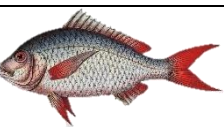

Figura 17. Número de especies por cada grupo de muestras. Creación propia.

Tomándose en cuenta todas las especies muestreadas, el peso tuvo una variación de 239 g y 800 g, por otro lado, la longitud total de los pescados varió entre 24 cm y 46 cm. En la Tabla 6 se presentan las especies por grupos de muestreo, la cantidad de individuos, los rangos de peso (g) y longitud (cm).

Tabla 6

Especies de cada grupo de muestreo, cantidad y rango de su peso y longitud.
Creación propia.

Especies	Figura	Cantidad	Peso (g)	Longitud (cm)
GRUPO 1				
Lisa (<i>Mugil cephalus</i>).		5	281-418	29.2-34

GRUPO 2				
Trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).		6	260-380	26.5-35
GRUPO 3				
Lisa (<i>Mugil cephalus</i>).		1	239	28.5
Carpa de río (<i>Cyprinus carpio communis</i>).		11	301-518	26.5-34
Mojarra de mar (tilapia mojarra).		10	264-384	24-26.5
Grupo 4				
Trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).		9	430-800	36-46

7.2 Resultados de caracterización visual

De los 42 individuos estudiados, a 36 se les detectó por lo menos una pieza de MP en el tracto digestivo, que representan el 85.7% de pescados muestreados (Ver Tabla 7).

Tabla 7

Número de pescados muestreados y número de pescados por lo menos con una pieza de MP. Creación propia.

Grupo	Número de pescados muestreados	Numero de pescados con microplásticos
1	5	5
2	6	6
3	22	17

4	9	8
Total	42	36

Es así que, se encontró una cantidad total de 218 piezas de MPs, el porcentaje de colores fue de 16.1% rojas, 46.3% negras, 19.3% blancas, 3.2% verdes, 12.8% azules y 2.3% rosas, como se ve en la Figura 18. También se observó en distintas muestras, la existencia de remanente de comida del pez, exceso de arena, restos de otros peces y aletas, presencia de escamas, pequeñas algas y algunos caparzones. Por otro lado, los distintos colores de MPs pueden estar relacionados a la confusión que tienen los peces de su alimento natural con partículas de colores semejantes, ya que los peces son depredadores visuales (Ríos, 2022). Aunque las partículas blancas se relacionan con el polietileno, la información puede estar sesgada, por lo cual no debe utilizarse el color para deducir el tipo de plástico (Zhang *et al.*,2020).

Y de las formas de microplásticos 85.8% eran fibras, 6.4% eran fragmentos y 7.8% de esferas como se muestra en la Figura 19. Esta característica está relacionada con la forma inicial de los microplásticos secundarios, su degradación o tiempo de residencia en el entorno, puede servir para inferir su origen y trayectoria, por ejemplo, las fibras, es posible que se relacionen con la creciente producción de fibras sintéticas utilizadas en ropa, alfombras etc. (Zhang *et al.*,2020). En la Figura 20 se presentan los tres tipos de formas de MPs que se encontraron.

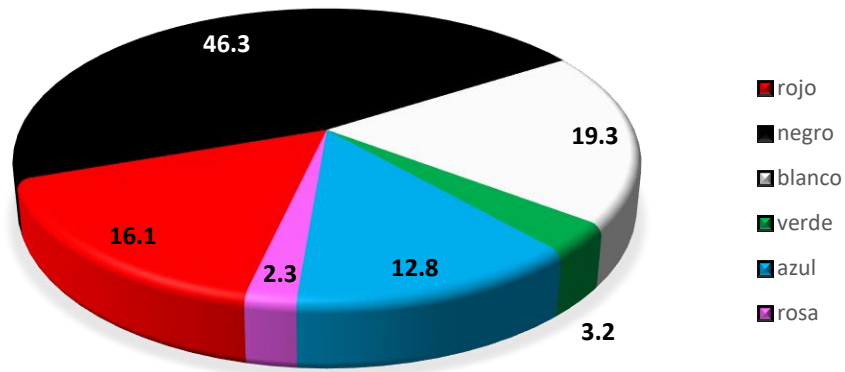


Figura 18. Gráfica de pastel de los porcentajes de colores encontrados en total.
Creación propia.

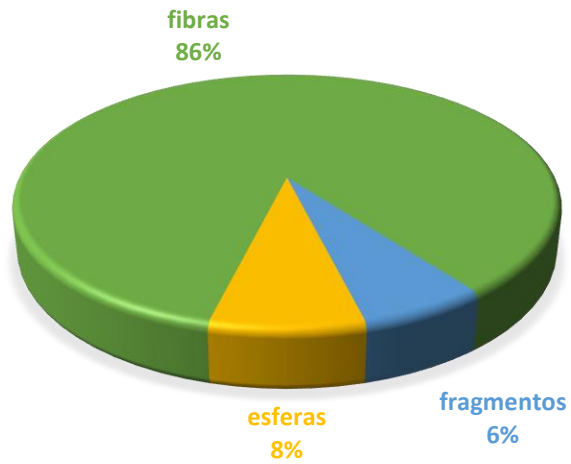


Figura 19. Gráfica de pastel de los porcentajes de formas encontradas en total.
Creación propia.

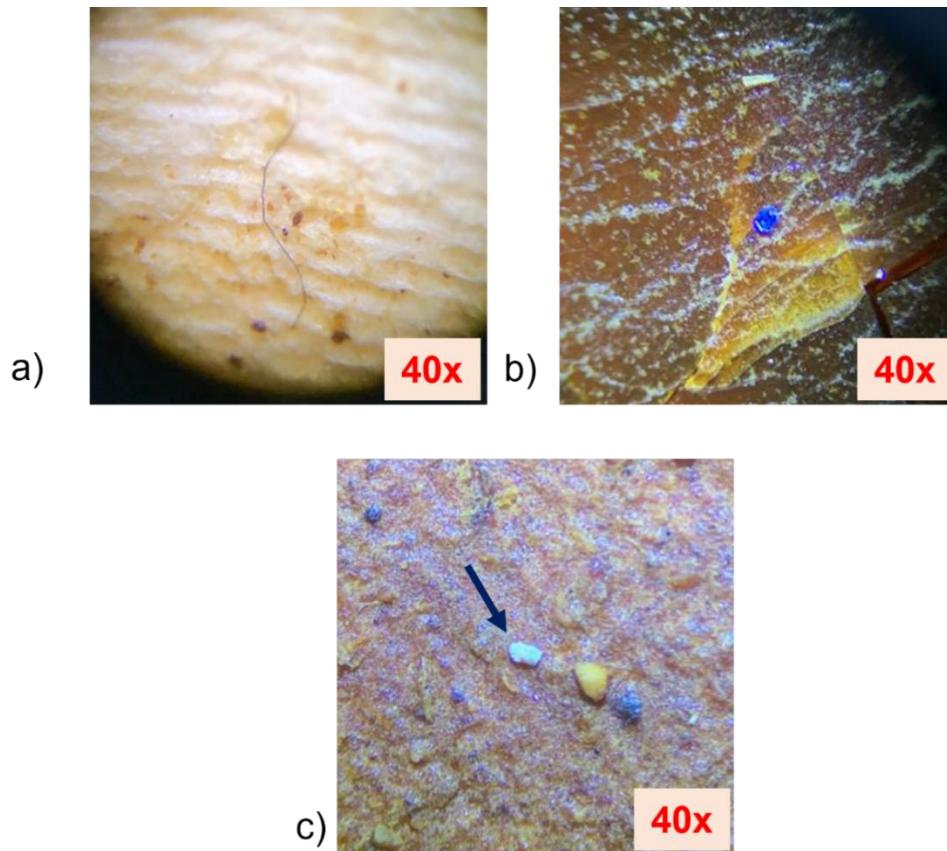


Figura 20. Formas de microplásticos hallados en las muestras. a) Fibra
 b) Fragmento c) Esfera. Creación propia.

Los datos obtenidos de los MPs encontrados también se pueden visualizar con ayuda de la abundancia media (AM) y error estándar (EE) de cada grupo, como se presentan en la Tabla 8. Estas cifras denotan el número promedio de microplásticos que tiene cada pescado examinado y los resultados se expresaron como MPs/individuo. Estos valores fueron obtenidos mediante las siguientes ecuaciones.

$$AM = \frac{\text{Total de MPs}}{n}$$

$$EE = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Donde:

σ = Desviación estandar; n = Total de peces examinados

Tabla 8

Abundancia media de microplásticos por grupo de pescados muestreados. Creación propia.

No. Grupo	Total de MPs/grupo	Abundancia media (\pm EE) (MPs/individuo)
1	109	21.8 (\pm 3.5)
2	20	3.3 (\pm 0.4)
3	52	2.4 (\pm 0.7)
4	37	4.1 (\pm 1.3)
TOTAL	218	5.2 (\pm1.1)

EE= Error estándar

7.3 Resultados del diseño experimental

Las piezas de MPs, se consideraron variables discretas, ya que la cantidad siempre se registró como unidades completas, a su vez, los datos tenían una distribución libre.

Esto fue precedente para que se eligiera la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, que ocupó un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ y que siguió el juego de hipótesis que se presenta a continuación.

$H_0 =$ El número de MP que hay en los pescados es el mismo para los 4 grupos de pescados

$H_1 =$ El número de MP que hay en los pescados es distinto por lo menos en uno de los grupos de pescados

Tras realizar la prueba de Kruskal-Wallis en el programa RStudio, se obtuvo una *chi – cuadrada* = 16.115, grados de libertad $df = 3$ y un $\rho – value = 0.001074$.

Por lo tanto, como $\rho – value < \alpha$, se rechazó la H_0 , dando a entender que se encontraron diferencias significativas en al menos uno de los grupos de pescados.

Posteriormente, para detectar que grupos fueron distintos entre sí, se utilizó una prueba de comparaciones múltiples, con el procedimiento de Dunn (1964)

nuevamente en RStudio y se encontró que los grupos 1 y 3 son diferentes con un nivel de significancia del 5%.

Cabe mencionar que el grupo 1 representa a los 5 peces lisas, obtenidos en una pescadería del centro de la ciudad y por otro lado el grupo 3 fueron pescados provenientes de mar y otros de río, obtenidos en otra pescadería del centro de la ciudad de Puebla.

Para visualizar los datos, se presenta una gráfica de caja y bigotes en la Figura 21.

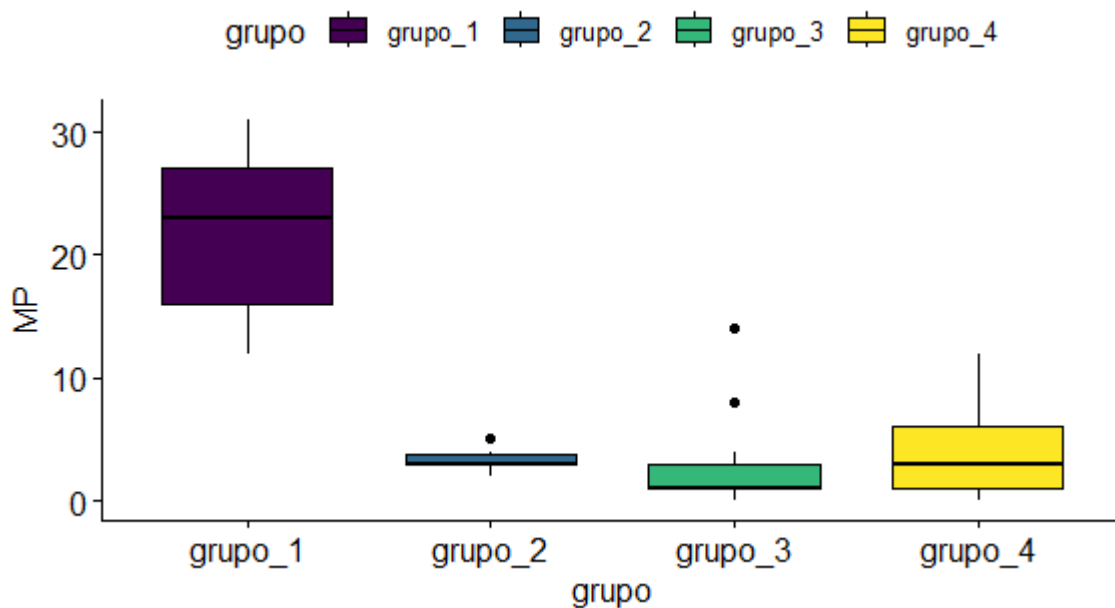


Figura 21. Gráfica de caja y bigotes de los 4 grupos de pescados.

Creación propia.

En la Figura 22, se muestran los datos de cada grupo, en el caso del grupo 2, 3 y 4, su comportamiento es parecido y homogéneo, esto puede inferir que sus hábitats al estar controladas, tienden a un mismo resultado. Por otro lado, los pescados del grupo 1 tuvieron resultados con mayor dispersión, indicando la exposición variada de MPs a la que pueden estar en diferentes lugares del mar.

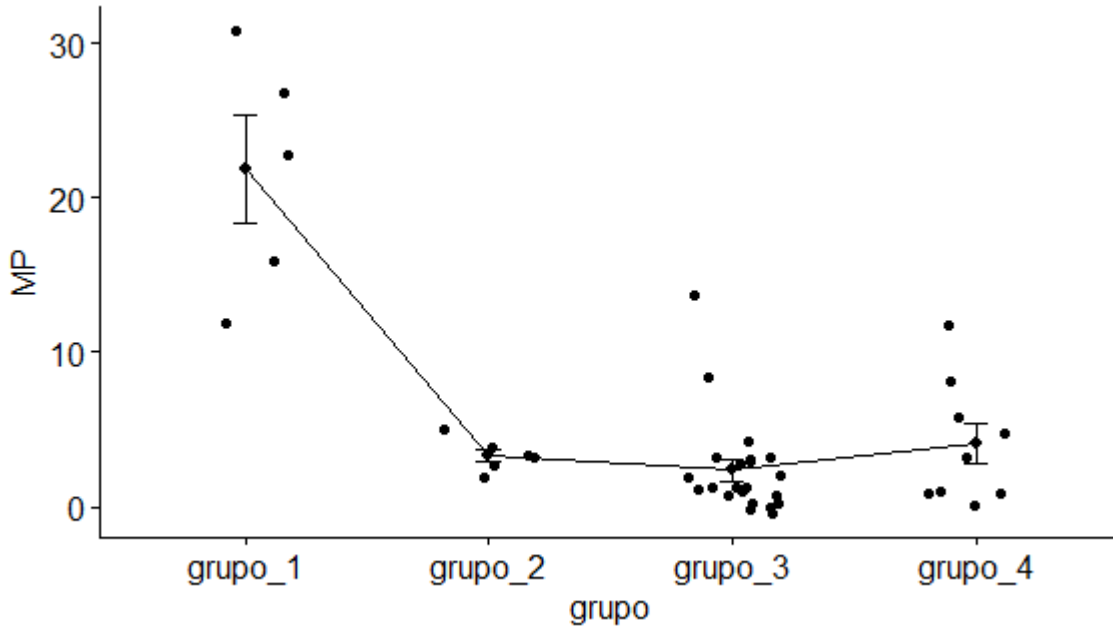


Figura 22. Línea de tendencia de los 4 grupos de pescados. Creación propia.

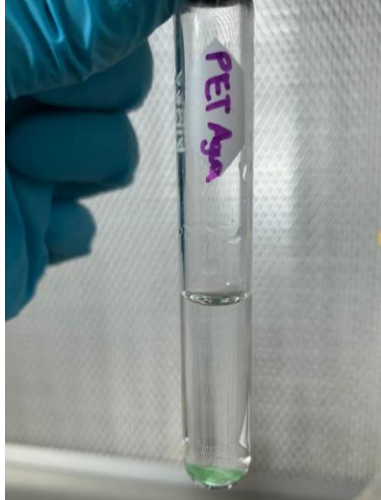



7.4 Resultados de la separación de plásticos por el método de diferencia de densidades





Se crearon microplásticos de PET, PEAD, PVC, PP y PS, que se usaron como referencia para evidenciar su comportamiento en agua, en una solución de metanol y una solución de cloruro de sodio, como se muestra en la Tabla 9 y todos ellos concordaron con lo que se esperaba dependiendo la densidad de los plásticos.

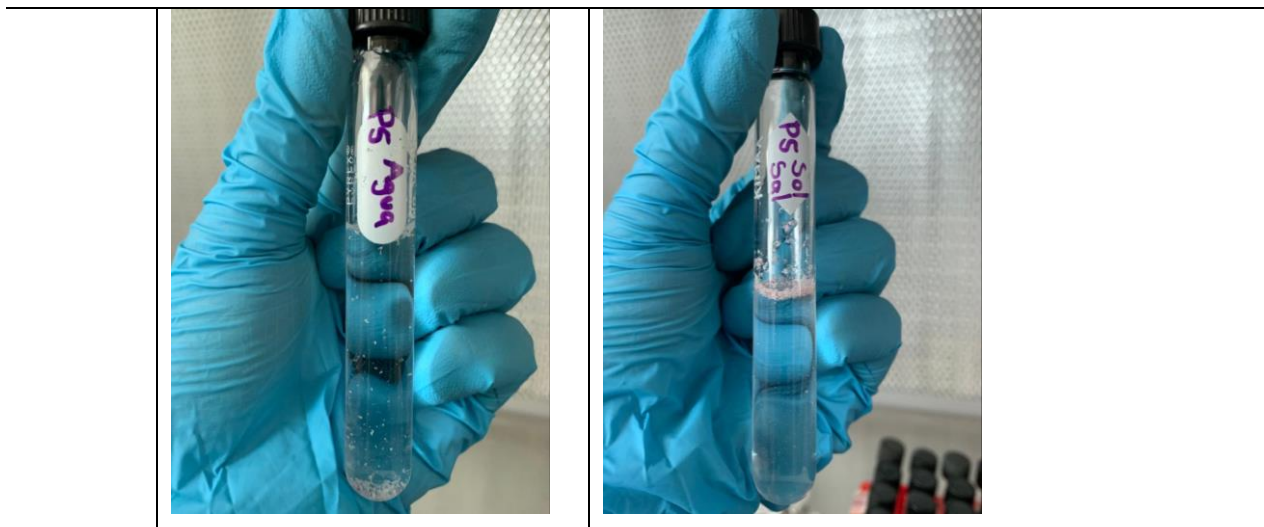
Tabla 9

Comportamiento de los MPs generados. Creación propia.

Tipo de plástico	1° Comportamiento con agua ($d=1 \text{ g/cm}^3$)	2° Comportamiento con líquido de diferente densidad
PET	Las partículas sedimentaron.	Las partículas sedimentaron en una solución de cloruro de sodio al 23%.

		
	Las partículas flotaron.	Las partículas sedimentaron en una solución de metanol al 70%.
PEAD		
PVC	Las partículas sedimentaron.	Las partículas sedimentaron en una solución de cloruro de sodio al 23%.

		
	Las partículas flotaron.	Las partículas flotaron en una solución de metanol al 70%.
PP		
PS	Las partículas sedimentaron.	Las partículas flotaron en una solución de cloruro de sodio al 23%.



7.5 Resultados de la técnica instrumental para la identificación de microplásticos

En el cromatógrafo de gases se realizaron lecturas de PET (Figura 23), PEAD (Figura 24), PVC (Figura 25), PP (Figura 26) y PS (Figura 27), con el fin de obtener perfiles cromatográficos de su composición polimérica de cada uno, sirviendo estos como referencia a la identificación del tipo de plástico que pudiera estar presente en cada muestra de estudio, sin embargo, a la mayoría de las piezas plásticas durante su fabricación se les adicionan plastificantes que pueden generar una lubricación interna en las cadenas de los polímeros para mejorar su uso o procesamiento (Moita y Silva, 2023), mismos que también se encontraron en su análisis como se muestran en la Tabla 10.

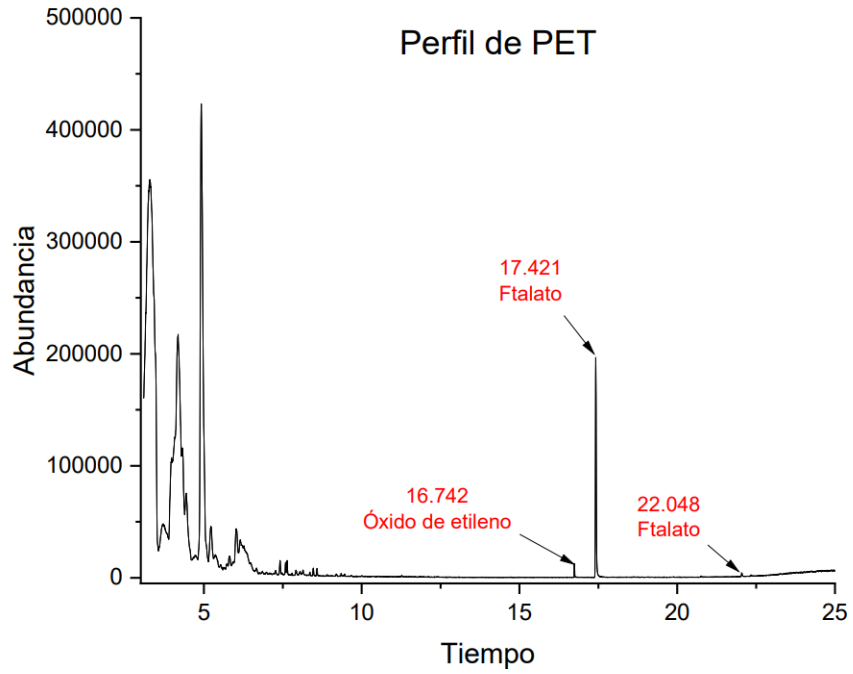


Figura 23. Cromatograma obtenido de la lectura de PET. Creación propia.

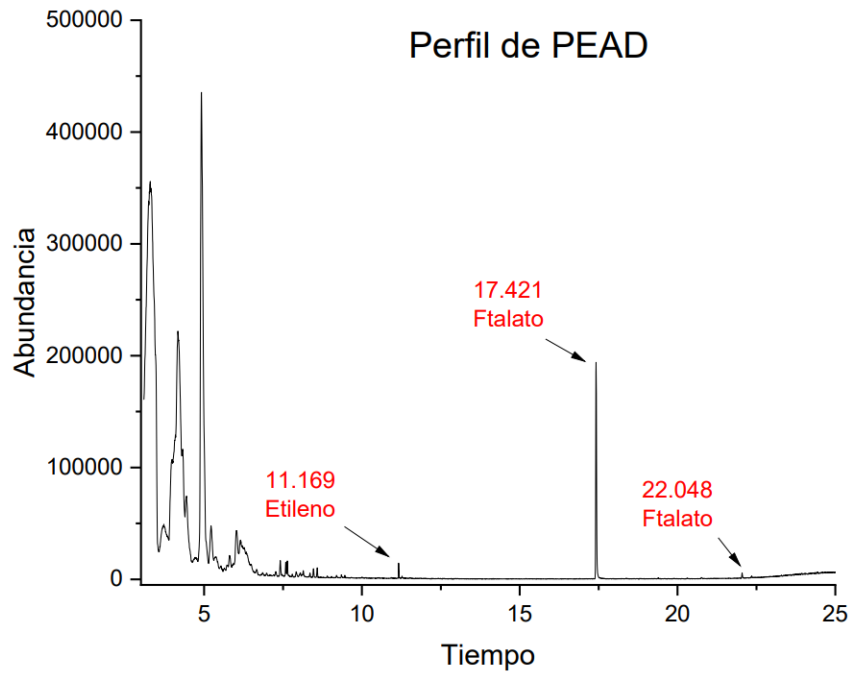


Figura 24. Cromatograma obtenido de la lectura de PEAD. Creación propia.

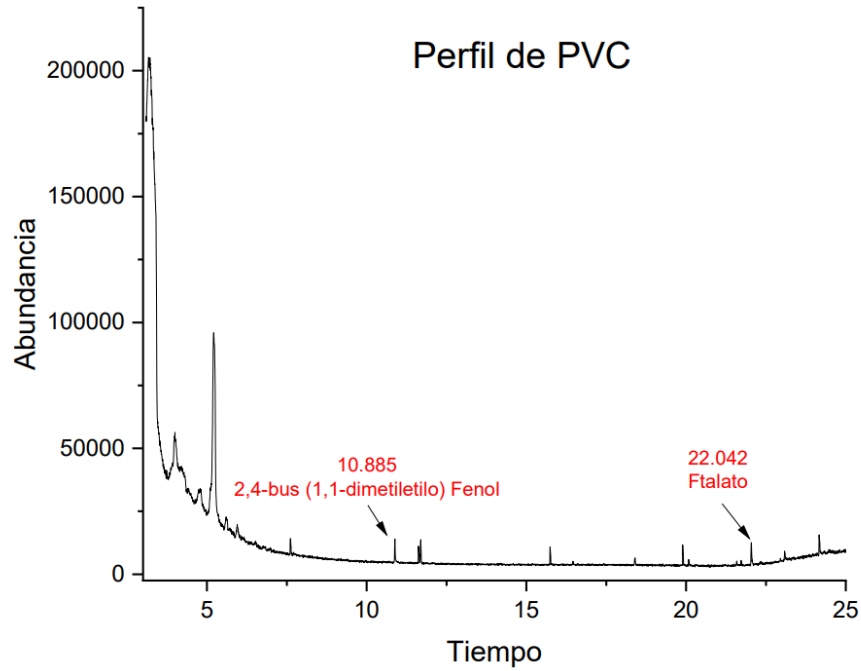


Figura 25. Cromatograma obtenido de la lectura de PVC. Creación propia.

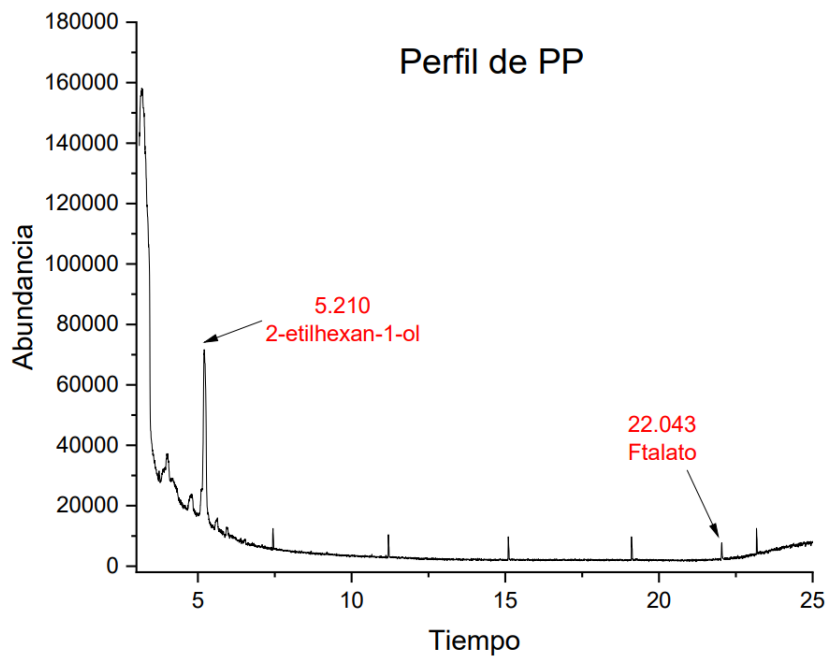


Figura 26. Cromatograma obtenido de la lectura de PP. Creación propia.

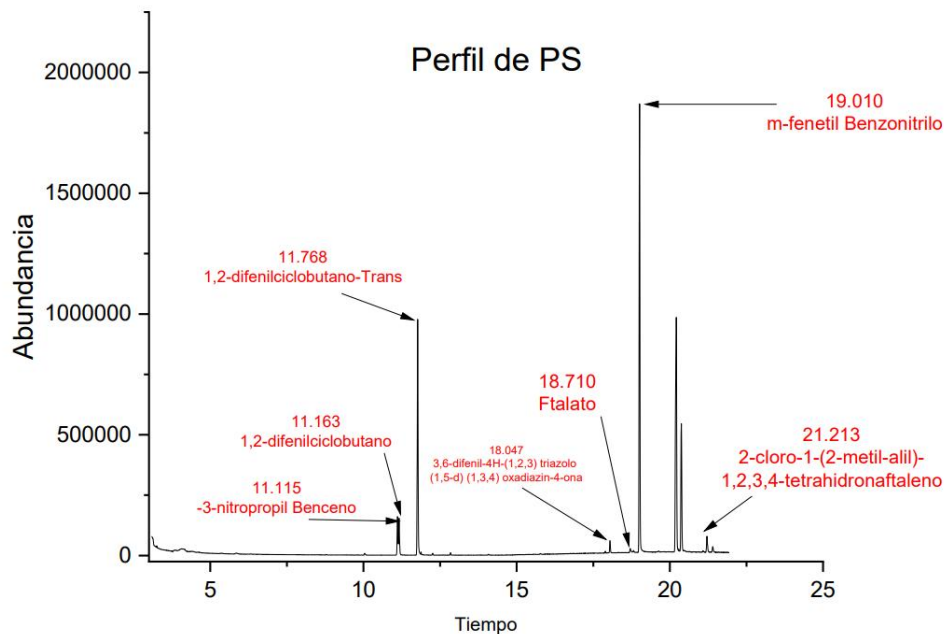


Figura 27. Cromatograma obtenido de la lectura de PS. Creación propia.

Tabla 10

Compuestos químicos de los plásticos de referencia. Creación propia.

Tipo de plástico	Compuestos químicos indicadores del tipo de plástico	Compuestos químicos plastificantes	Referencias
Tereftalato de polietileno (PET)	-Óxido de etileno	-Ftalato de butil hexilo. -Éster mono (2-etilhexílico) del ácido 1,2-bendenodicarboxílico.	(Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades,2020).
Polietileno de alta densidad (PEAD)	-Etileno	-Ftalato de butil hexilo. -Éster mono (2-etilhexílico) del ácido 1,2-bendenodicarboxílico.	(Kim, 2023)
Policloruro de vinilo (PVC)	2,4-bus (1,1-dimetiletilo) Fenol	Éster mono (2-etilhexílico) del ácido 1,2-bendenodicarboxílico.	(Kim, 2023)
Polipropileno (PP)	2-etilhexan-1-ol	Ácido ftálico, éster 2-hexílico.	(Kim, 2023)
Poliestireno (PS)	-3-nitropropil Benceno -1,2-difenilciclobutano -1,2-difenilciclobutano-Trans -3,6-difenil-4H-(1,2,3) triazolo (1,5-d) (1,3,4) oxadiazin-4-ona - m-fenetil Benzonitrilo - 2-cloro-1-(2-metil-alil)-1,2,3,4-tetrahidronaftaleno	Éster mono (2-etilhexílico) del ácido 1,2-bendenodicarboxílico.	(Kim, 2023)

Seguido de esto, se analizaron las fracciones de las muestras, aun cuando en la caracterización visual no se contabilizaron MP, al hacer el raspado del papel filtro hacia los tubos de ensayo, se infiere que pudieron desprenderse fragmentos plásticos mucho más pequeños que la técnica instrumental si pudo detectar.

Los resultados se compararon con los compuestos químicos de los plásticos de referencia de la Tabla 10, donde se clasificaron algunos plásticos como PET, PP y compuestos químicos plastificantes. Por otro lado, en las muestras se encontraron nuevos compuestos químicos identificados como aditivos (ver Figura 28 y 29), esto nos podría indicar que los MPs que estaban en los sistemas digestivos de los pescados, son de diversas fuentes, con agregaciones de colorantes, catalizadores, lubricantes, antioxidantes, agentes espumantes, etc.

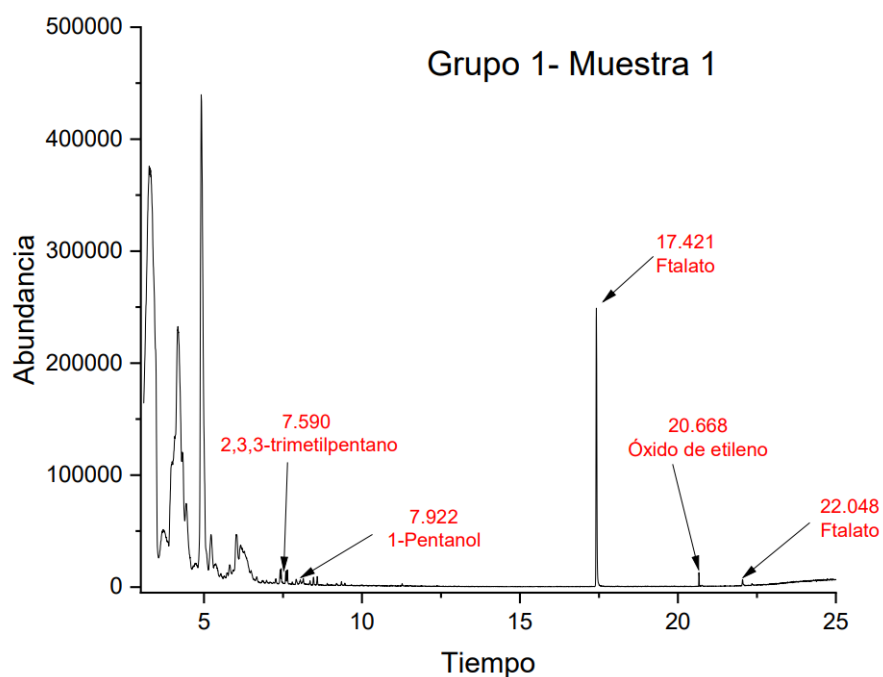


Figura 28. Cromatograma obtenido de la lectura de la muestra 1. Creación propia.

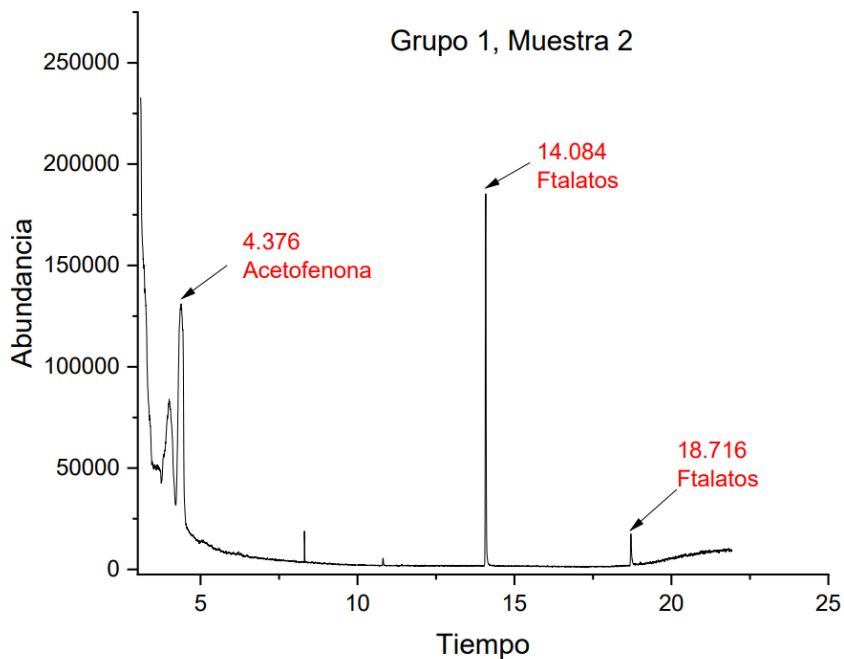


Figura 29. Cromatograma obtenido de la lectura de la muestra 2. Creación propia.

En la Figura 30, se encuentra la gráfica que muestra a los 4 grupos y que tiene los porcentajes de los plásticos identificados, compuestos químicos plastificantes (Ácido ftálico) y compuestos nuevos identificados como aditivos. Se puede observar que en todos los grupos hubo piezas plásticas de PET y solo en el grupo 3 hubo PP.

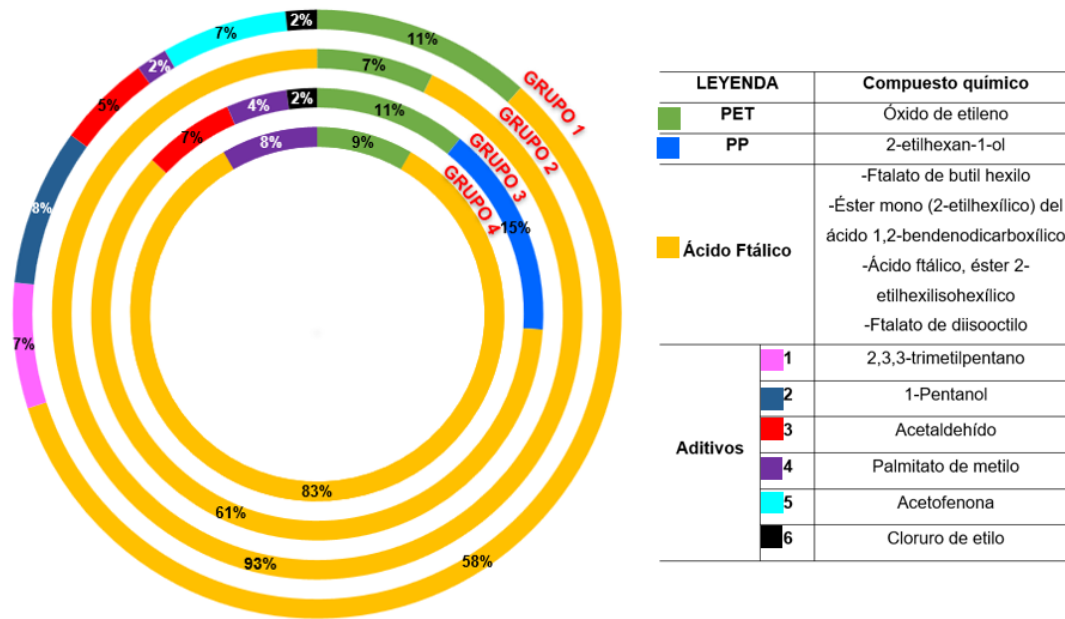


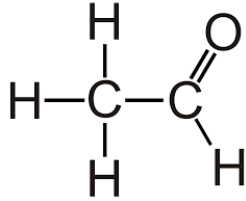
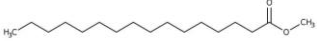
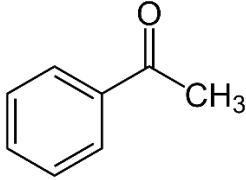
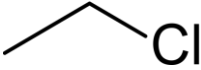
Figura 30. Gráfica, que representa los compuestos químicos mayoritarios en cada grupo. Creación propia.

Los compuestos químicos que se identificaron como aditivos tienen varios usos y distinta toxicidad que se toma en cuenta para conocer el grado en el que puede causar una lesión (ATSDR, 2019) como se ve en la Tabla 11.

Tabla 11

Compuestos químicos identificados como aditivos (Kim, 2023). Creación propia.

Nombre	Estructura química	Uso	Toxicidad	Efectos a la salud
2,3,3-trimetilpentano	<chem>CC(C)(C)C(C)C</chem>	Es un hidrocarburo e isómero del octano que se puede encontrar en la gasolina.	DNEL 2.035 mg/m^3 Por inhalación	Causa daño pulmonar y depresión del sistema nervioso central.
1-Pentanol	<chem>CCCCCO</chem>	Disolvente (resinas, aditivos del petróleo, aromas sintéticos), lubricante, plastificante, inhibidor de corrosión y antioxidante.	Organismo: perro LDLo 1800 mg/kg Oral	Nauseas, mareo, Dolor de garganta y cabeza.

Acetaldehído		Se utiliza en la producción de resinas de acetato de vinilo, perfumes, resinas de poliéster, colorantes básicos y disolvente de caucho.	Organismo: rata LD50 661 mg/kg oral	Se prevé que sea carcinógeno, por estudios en animales de experimentación.
Palmitato de metilo		Para fabricar detergentes, emulsionantes, estabilizadores, resinas, plastificantes y lubricantes.	Organismo: rata LD50 > 2000 mg/kg oral	No tiene efectos a la salud.
Acetofenona		Para fragancia de jabones, aromatizante en alimentos y disolvente para plásticos y resinas.	Organismo: rata LD50 815 mg/kg oral	Efectos en el sistema nervioso central y deterioro a la función reproductiva.
Cloruro de etilo		Subproducto de la producción de cloruro de vinilo.	Organismo: rata LC50 152 g/m ³ inhalación	Daño hepático y renal, disminución a respuestas defensivas contra enfermedades.

8. Discusión

Este trabajo es el estudio de la presencia de microplásticos en pescados que se consumen en Puebla, porque estos animales son base en la dieta de la comunidad y que están al alcance de millones de personas (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, 2018), aun cuando el estado no cuenta con litoral, puede recaer la problemática plástica; de igual forma, aunque los pescados de criadero o de zonas turísticas, tienen sus ecosistemas controlados, perciben las consecuencias de la mala gestión del plástico.

Del total de las especies de pescados obtenidos, la variación de peso fue de 239 g y 800 g. Normalmente el peso de las lisas (*Mugil cephalus*) puede llegar máximo a 2 kilos (Hernández Aliaga, 2020), para las truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), su peso oscila entre los 500 g y 6 kilos (EsAcui, 2021), las carpas de río (*Cyprinus carpio communis*) son de medio kilo aproximadamente (Instituto Nacional de Pesca, 2018) y de las mojarra de mar (tilapia mojarra) su peso de cosecha va entre 300 g

y 500 g (Instituto Nacional de Pesca, 2018), en síntesis, los valores están acorde a los resultados registrados. Y en cuanto a la variación de la talla de los pescados, fue de 24 cm a 46 cm, comúnmente la longitud de las lisas puede llegar hasta 45 centímetros (Hernández Aliaga, 2020), para las truchas arcoíris, va entre los 20 y 40 centímetros (EsAcui, 2021), para las carpas de río su talla mínima es de 18 centímetros (Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, 2010) y de las mojarras de mar su longitud total es entre 20 y 25 centímetros (Secretaría de desarrollo agropecuario, forestal y pesca, 2021) y de igual forma, todas las tallas de los pescados estudiados se consideran dentro de los parámetros estándar que se refieren en la bibliografía, por lo que no hay una evidencia de afectación en su desarrollo.

El número de pescados estudiados fue de 42 individuos y después de la caracterización visual, a 36 pescados se les detectó por lo menos un microplástico, que representa el 85.7% del total, sin embargo, hay grandes diferencias entre otros trabajos, tal es el caso de la investigación en el giro central del Pacífico Norte, que aproximadamente un 35% de los pescados estudiados ingirieron plástico (Börger *et al.*, 2010), por otro lado, los pescados obtenidos del Mar Rojo de Arabia Saudita solo el 14.6% tenían MP (Baalkhuyur *et al.*, 2018), a diferencia de los pescados de importancia económica en Lima Perú, el 100% de los individuos estudiados estaban contaminados por microplástico (Iannacone *et al.*, 2021). Aun cuando todos los pescados provienen del océano, se puede inferir que hay una exposición diferente de microplásticos en cada zona oceánica, dicho de otro modo, la distancia que hay desde la costa a un punto del mar y la profundidad del agua, pueden ser factores para que cambie la concentración de MPs.

En el trabajo, se encontró un total de 218 microplásticos, donde el color que tuvo mayor predominancia fue el negro, con un porcentaje de 46.3%, de la misma forma en un estudio realizado a tortugas verdes en el estado de Quintana Roo, los residuos sólidos plásticos que se encontraron en sus esófagos, un 50% eran color oscuro (Maldonado *et al.*, 2022), sin embargo en comparación con el estudio de la ingestión de plásticos en el centro-oriente del mar Tիրրրո (Italia), la tonalidad

predominante fue el azul (Scacco *et al.*, 2022). La propiedad del color puede estar relacionado a las estrategias de alimentación de cada especie de pescado y la confusión con su alimento que se presenta con la misma cualidad (Zhang *et al.*, 2020).

Por otra parte, las formas de los MPs que se encontraron en el trabajo fueron de tres tipos y la más abundante fue la fibra con un 85.8%, esto se relaciona con la excesiva producción de las fibras sintéticas textiles que son una de las causas de la generación de microplásticos en forma de fibras (Vivas *et al.*, 2023), en conjunto con el uso, desgaste y pérdida de los dispositivos físicos para la captura y recolección de organismos marinos y de agua dulce, mejor conocidos como artes de pesca (He *et al.*, 2022).

La abundancia media total tuvo un valor de 5.2 (± 1.1) MPs/individuo, siendo similar al promedio de MP en organismos marinos encontrados en México que fue de 4.5 MPs/individuo (Acosta *et al.*, 2022), aunque hay discrepancia con el estudio realizado a 26 especies obtenidas en el Mar Rojo, donde su valor fue de 14,4 (± 0.3) MPs/individuo (Baalkhuyur *et al.*, 2018), también existe una diferencia con el trabajo de investigación donde se realizó el estudio de peces planctívoros en el giro central del Pacífico Norte, donde se encontraron 2.1 piezas de MPs por pescado (Börger *et al.*, 2010). Los resultados son muy variados entre cada trabajo, por tal motivo, se debe tomar en cuenta la amplia gama de especies y sus características diferentes como tamaño, taxonomía y hábitat, aun siendo pescados obtenidos en el océano.

Específicamente en el grupo 2, que fueron 6 truchas arcoíris de criadero, tuvo una abundancia media de 3.3 (± 0.4) MPs/individuo, esto puede deberse a que el alimento y accesorios de pesca para peces puede ser una fuente de contaminación de microplásticos (Muhib y Rahman, 2023), paralelamente con el transporte atmosférico de microplásticos que está ocurriendo alrededor del mundo (Bergmann *et al.*, 2019), donde la nieve del volcán Popocatépetl y su deshielo sean unos de los afectados, que posteriormente perjudique a la granja piscícola donde se obtuvieron las muestras de pescados.

El resultado del diseño experimental muestra que los grupos 1 y 3 tuvieron una diferencia significativa, si observamos sus características, el primer grupo son pescados pelágicos obtenidos del océano y el tercer grupo es una mezcla entre pescados provenientes de río y otros de mar, denotando que todos los puntos de extracción de pescados, tienen concentraciones distintas de microplásticos, por ejemplo, cuando a las corrientes termohalinas generan puntos críticos de microplásticos en el océano, donde existirá una mayor concentración de estos (Kane *et al.*, 2020). Esto puede atestiguar, el porqué de los distintos resultados de las abundancias medias que hay de las investigaciones de pescados en varias partes del mundo. Otro punto que se suma a esta idea, es la Figura 22, que demuestra la dispersión de la cantidad de microplásticos por cada pescado estudiado, precisamente en el grupo 1 que todos los pescados provienen del mar.

Se observó en el método de diferencia de densidades, la separación de cada tipo de plástico, como lo refiere la bibliografía (BASEMAN, 2019). También, un trabajo realizado en las playas Azul en Michoacán y Copalita en Oaxaca, también utilizó el mismo procedimiento de separación y clasificación (Sánchez *et al.*, 2016). Este método es económico y de fácil acceso, sin embargo, debe considerarse solo complementario en los trabajos, porque si se obtienen plásticos del ambiente, estos pueden tener sustancias químicas u organismos adsorbidos que pueden cambiar su densidad y por ende se comportarán de forma errónea

La técnica instrumental utilizada fue la cromatografía de gases, donde las muestras del grupo 1, indican que hay plástico PET, ácido ftálico y 5 tipos de aditivos, que suelen tener los polímeros para modificar color, mejorar las propiedades mecánicas, dar resistencia al calor, mejorar su rendimiento, etc. (Fries *et al.*, 2013). El grupo 2 que proviene de una granja piscícola, muestra solo PET y ácido ftálico, que puede interpretarse que la contaminación de plásticos es a través de los instrumentos que usan en la pesca de los animales y transporte atmosférico de microplásticos de PET, el grupo 3 si presentó dos tipos de plásticos, PET y PP, ácido ftálico y 3 tipos de aditivos como acetaldehído, palmitato de metilo y cloruro de etilo, finalmente en el grupo 4 se encontró PET, ácido ftálico y solo el aditivo de palmitato de metilo que

se ocupa para fabricar emulsiones y estabilizadores. Los compuestos químicos pueden considerarse indicadores, como el caso de estudio de grasa en una ballena de aleta, donde se sugiere que si se encuentran ftalatos es una señal indirecta de microplásticos en una ballena (Blesseling *et al.*, 2015), por lo tanto, si se observan las características del grupo 1 y 3, estos tienen la mayor cantidad de aditivos, indicando que los microplásticos que estaban disponibles en el océano, eran de variadas fuentes antropogénicas y estos compuestos son capaces de tener efectos nocivos sobre la salud, como la alteración del sistema endocrino y aunque varían las cantidades de aditivos que se añaden a los plásticos, pueden constituir hasta el 70% del producto (Flaws *et al.*, 2020). Ahora bien, si se encontraron 5 tipos de aditivos en las muestras, se puede decir que la carne de los pescados estuvo expuesta a estos perturbadores endocrinos aun cuando los MPs hayan sido extraídos del aparato digestivo, ya que los compuestos químicos pueden lixiviarse.

Tanto la caracterización visual, como la técnica instrumental, son herramientas que van de la mano, para poder identificar las características de cada muestra, entender la dinámica de los microplásticos en el ambiente, de tal forma que podemos dar un veredicto sobre como la contaminación antropogénica ha afectado en un ámbito esencial de la vida que es la alimentación. Aun cuando no se ve la contaminación de las partículas plásticas a simple vista, está la omnipresencia de MP en el océano que se ha extendido hasta los pescados (Ding *et al.*, 2023).

Como se muestra en el diagrama de Sankey de la Figura 31, se relacionan todos los datos de la caracterización visual, donde la suma del número de MP por grupo da un total de 218 piezas, que es el valor registrado anteriormente, viéndose la predominancia de fibras en los tres grupos y que son mayormente de color negro.

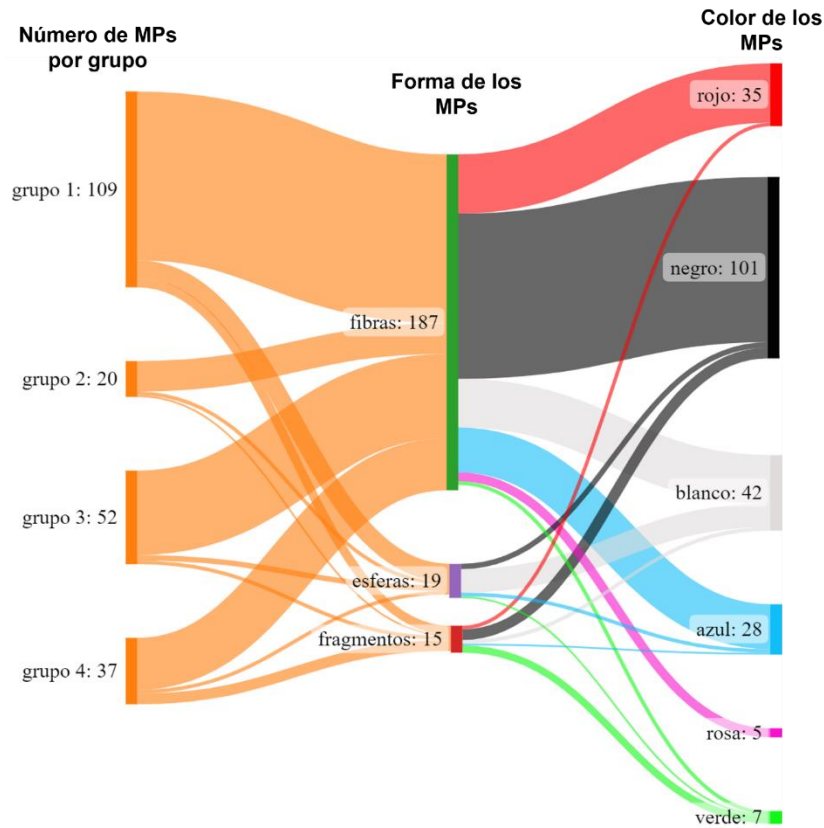
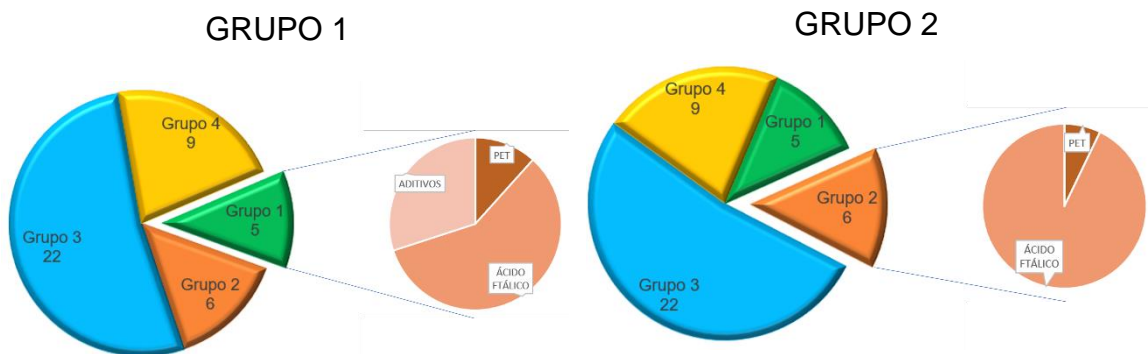


Figura 31. Diagrama de Sankey de los datos de caracterización visual. Creación propia.

En el siguiente gráfico, en primer lugar, menciona el número de peces que se estudiaron por grupo, posteriormente se añade una gráfica de tipos de plásticos, ftalatos y aditivos que se encontraron en cada una de ellas (ver Figura 32).



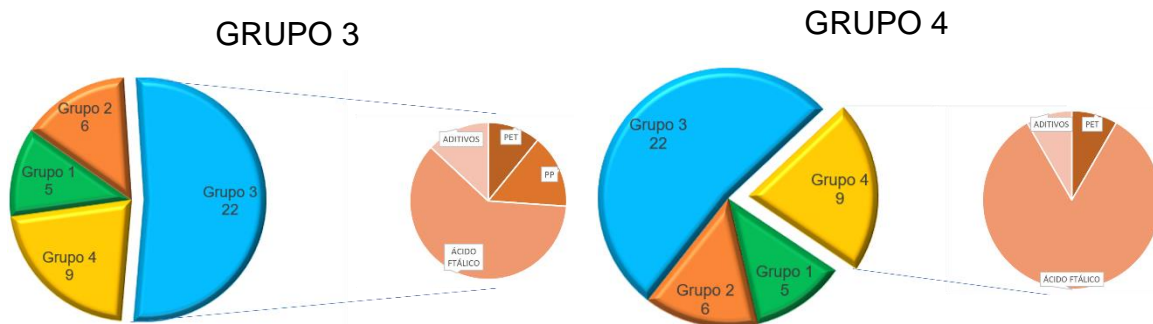


Figura 32. Graficas de los resultados de la técnica instrumental por grupo.
Creación propia.

La hipótesis que se presentó en un principio menciona que los pescados consumidos en Puebla tienen microplásticos, esto puede consolidarse tras todo el análisis realizado, posteriormente habla que los pescados de agua dulce y de granjas piscícolas son más seguros para consumir, en comparación de los pescados de fuentes de agua salada, sin embargo, solo es menor la probabilidad de riesgo por estar expuestos a menos partículas plásticas en sus entornos controlados, aunque esto no exime de que contaminen con aditivos, plastificantes, o bacterias dañinas a la carne de los pescados que finalmente comerán las personas.

9. Conclusiones

La presencia de microplásticos en todos los ecosistemas del planeta, indica la contaminación antropogénica que se disparó desde la década de los 40 y que sigue hasta nuestros días (Luna Fernández, 2020), encontrándose fragmentos plásticos en las cumbres más altas, como en las profundas fosas marinas (Luqman *et al.*, 2023). Y la parte crucial es que puede haber una internalización celular, esto quiere decir que las micropartículas pueden trasladarse a los tejidos, provocando efectos toxicológicos en el medio ambiente y la salud humana (Ramsperger *et al.*, 2020).

Se han hecho estudios para conocer las vías de exposición de MPs en las personas, una de ellas es la ingesta de microplásticos a través de sus alimentos (Quiñones, 2019). Por lo cual este trabajo resultó un eslabón más para concebir la idea de la

ingestión plástica a través de la dieta de los habitantes del estado de Puebla, evidenciando a presencia de MPs tras obtener resultados numéricos y fotográficos.

Todo esto se logró al cumplir con los tres objetivos específicos que se establecieron, por ejemplo, en el marco teórico se encuentran los conceptos base para conocer a los plásticos, microplásticos y sus afectaciones, posteriormente en la metodología se estableció y siguió el diagrama de flujo adecuado para estudiar a las muestras obtenidas y determinar la presencia de MPs. Por último, se determinó la correlación de los resultados obtenidos y el lugar de origen del pescado. De acuerdo con los valores obtenidos de la caracterización visual y de la técnica instrumental, todos los ecosistemas de donde se extrajeron los pescados tienen microplásticos, sin embargo, hay menor probabilidad de exposición en pescados que tienen hábitats controladas, tal es el caso, de pescados de agua dulce y de la granja piscícola, proponiendo que pueden ser más seguros que los pescados obtenidos del océano, afirmando la hipótesis.

Si bien, aunque el sistema digestivo no se cocina o consume junto con la carne del pescado, la inadecuada limpieza del animal, la mala gestión de los restos de comida y el desprendimiento de compuestos químicos dañinos que traen los plásticos, existirá el problema, hasta llegar al cuerpo humano y lo pueda perjudicar.

Considerando los resultados obtenidos, se deben adaptar nuevas soluciones, por ejemplo, establecer de manera completa la economía circular de los plásticos, que se basa en un modelo cerrado que promueve la reutilización, genera valor de los residuos e impide enviar plásticos recuperables a los vertederos (Plastics Europe, 2020) y para lograr esto, se debe empezar una ola de educación ambiental en todos los niveles educativos, tomando en cuenta datos duros de las investigaciones referentes a los microplásticos, con la característica de que las personas sientan la problemática en su entorno próximo, tal es el caso de la ciudadanía Poblana que a través de esta tesis puede percibir las consecuencias tangibles y cercanas.

Otra alternativa es identificar los plásticos de único uso y como se podrían sustituir, ahondar en el tema de los accesorios de comida rápida y establecer sistemas en centros comerciales donde los restaurantes ofrezcan sus alimentos en platos que

puedan regresarse al establecimiento y así no caer en plásticos que se usarán solamente algunos minutos. De igual forma poner en marcha los proyectos de recolección de residuos divididos por categorías para su reciclaje, ya que las instituciones como escuelas, oficinas y conjunto de viviendas, no tienen un control sobre la separación de los materiales que impiden que los desechos entren nuevamente a las cadenas de valor.

Finalmente, cada persona debe de adoptar acciones que reduzcan su huella plástica, cumpliendo con los sistemas de gestión ambiental impuestos en los lugares a los que asiste, utilizar sus propios recipientes para sus alimentos, hacer compras inteligentes de ropa y si esto se magnifica con los 6.5 millones de habitantes en el estado, impactará de forma positiva en el ambiente.

10. Referencias

1. Acevedo-Quilis, S. (2020). Metodologías de extracción de microplásticos en tractos gastrointestinales de *Scyliorhinus canicula* (Linnaeus, 1758). Revisión bibliográfica [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Valencia]. Archivo Digital. <http://hdl.handle.net/20.500.12466/1135>
2. Acosta, G., Carrillo, D. y Caballero, A. (2022). Contaminación por microplásticos. *Ciencia*, 73(2), 14-21. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73_2/PDF/Ciencia_73-2.pdf
3. Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de EE.UU. [NOAA]. (2022, 3 de octubre). Garbage Patches. <https://marinedebris.noaa.gov/info/patch.html>
4. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2020). Óxido de Etileno. ATSDR. https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts137.html
5. Aldana-Aranda, D. (2022). Contaminación por microplásticos. *Ciencia*, 73(2), 6-7. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73_2/PDF/Ciencia_73-2.pdf
6. Amato, L., Carvalho, R., Ribeiro, G., dos Santos, L., Augusto, R. & Mauad, T. (2021). Presence of airborne microplastics in human lung tissue. *Journal of Hazardous Material*, 416, 126124. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126124>
7. Astorga-Pérez, A., Ulate, Karol. y Abarca, L. (2021). Presencia de microplásticos en especies marinas del Parque Nacional Marino las Baulas. *Tecnología en Marcha* Vol. 35 (N.º 2), 27-38. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i2.5466>
8. Atlas del plástico. (2020). Pez grande come plástico pequeño. Fundación Heinrich Böll. <https://www.boell.de/es/temas/medio-ambiente/atlas-del-plastico>

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://mx.boell.org/sites/default/files/2021-04/WEB_Atlas_plasticos_Mexico_04.pdf

9. ATSDR. (2019). *Curso de toxicología para comunidades*. Agencia para sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/toxicology_curriculum/modules/1/es_lecturenotes.html#print
10. Aytan, U., Esensoy, B. & Senturk, Y. (2022). Microplastic ingestión and egestion by copepods in the Black Sea. *Science of The Total Environment*, 806(4). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150921>
11. Baalkhuyur, F., Bin Dohasish, EJA., Elhalwagy, M., Alikunhi, N., AlSuwailem, A., Røstad, A., Coker, D., Berumen, M. y Duarte, M. (2018). Microplastic in the gastrointestinal tract of fishes along the Saudi Arabian Red Sea coast. *Marine Pollution Bulletin*, 131(Part A), 407-415. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.04.040>
12. BASEMAN, Microplastics Analyses in European Waters (2019). *Standardised protocol for monitoring microplastics in seawater*. JPI OCEANS. https://www.researchgate.net/publication/330931801_Standardised_protocol_for_monitoring_microplastics_in_seawater
13. Bergmann, M., Mützel, S., Primpke, S., Tekman, M., Trachsel, J. y Gerdt, G. (2019). White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic. *Science*, 5(8), 1-10. DOI: 10.1126/sciadv.aax1157
14. Blesseling, E., Foekema, E., Van Franeker, J., Leopold, M., Kühn, S., Bravo, E., Heße, E., Mielke, L., IJzer, J., Kamminga, P. y Koelmans, A. (2015). Microplastic in a micro filter feeder: Humpback whale *Megaptera novaeangliae*. *Marine Pollution Bulletin*, 95(1), 248-252. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.007>
15. Börger, C., Lattin, G., Moore, S. y Moore, C. (2010). Plastic ingestión by planktivorous fishes in the North Pacific Central. *Marine Pollution Bulletin*, 60(12). 2275-2278. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.08.007>

16. Bråte, I., Huwer, B., Tomás, K. & Eidsvoll, D. (2017). *Micro y macroplástico en especies marinas de aguas nórdicas*. Nordisk Ministerråd. <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1141513/FULLTEXT02.pdf>
17. Castañeda, M. (2023). *Plásticos y microplásticos, llegaron para quedarse en el agua*. Síntesis. <https://sintesis.com.mx/puebla/2023/11/24/plasticos-y-microplasticos/>
18. Castilla, Arely. y López, M. (2022). Contaminación por microplásticos en cuatro especies de peces en playas de Punta de Bombón, Islay-Arequipa [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Archivo Digital. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/98549>
19. Castillo, G. (2022). Microplásticos, hasta en peces para consumo. 24 Horas. <https://pressreader.bibliotecabuap.elogim.com/search?query=microplasticos>
20. Center for International Environmental Law (2019). el plástico es una crisis mundial de salud que pasa desapercibida a la vista de todo el mundo. Chrome extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/<https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2019/03/Plastic-Health-Spanish.pdf>
21. Comisión Nacional de Acuacultura y pesca (2018). Carpa, producto acuícola nutritivo al alcance de millones de consumidores. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conapesca/articulos/la-carpa-producto-acuicola-nutritivo-al-alcance-de-millones-de-consumidores?idiom=es>
22. Comité Estatal de sanidad e inocuidad de Baja California A.C. (s.f.). Ficha técnica sanitaria de Especies de cultivo en el estado, Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). CESAIBC. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/http://www.cesaibc.org/sitio/archivos/FICHA%20TEC.%20SANITARIA%20DE%20TRUCHA_070616204409.pdf
23. Cruz-Salas, A. (2020). Evaluación de la calidad ambiental y su relación con la presencia de microplásticos en cinco playas mexicanas [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana]. Archivo digital. chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/6843/Evaluacion_de_la_calidad_ambiental_Cruz_Salas_A_2020.pdf?sequence=1

24. Ding, J., Ju, P., Ran, Q., Li, J., Jiang, F., Cao, W., Zhang, J. y Sun, C. (2023). Elder fish means more microplastics? Alaska pollock microplastic story in the Bering Sea. *Science Advances*, 9(27). DOI: 10.1126/sciadv.adf5897
25. Ercolini, D. (2014). Métodos de Identificación | Introducción. *Enciclopedia de microbiología de alimentos*, 2, 241-247. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00408-0>
26. EsAcui. (2021). *TRUCHA ARCOIRIS Oncorhynchus mykiss*. Secretaría General de Pesca. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Gobierno de España. https://www.mapa.gob.es/es/pesca/temas/acuicultura/trucha-arcoiris_tcm30-628444.pdf
27. European Food Safety Authority (2016) Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) 14 (6). doi: 10.2903/j.efsa.2016.4501
28. Flaws, J., Damdimopoulou, P., Patisaul, H., Gore, A., Raetzman, L. y Vandenberg, L. (2020). *Plásticos, salud y Perturbadores endocrinos*. ENDOCRINE SOCIETY Hormone Science to Health.
29. Flores-Piguave, J. (2022). Estudio de microplásticos en el tracto digestivo y en tejidos de *Selene peruviana* y *Lepophidium negropinna* que desembarcan en el puerto pesquero Anconcito – Santa Elena, Ecuador [Tesis de pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Archivo digital. <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/handle/46000/8842>
30. Fries, E., Dekiff, J., Willmeyer, J., Nuelle, M., Elbert, M. y Remy, D. (2013). Identification of polymer types and additives in marine microplastic particles using pyrolysis-GC/MS and scanning electron microscopy. *Environmental Science Processes y Impacts*, 15, 1949-1956. DOI: 10.1039/c3em00214d

31. Fries, E., Dekiff, J., Willmeyer, J., Nuelle, Marie-Theres., Elbert, M. y Remy, D. (2013). Identification of polymer types and additives in marine microplastic particles using pyrolysis-GC/MS and scanning electron microscopy. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 15(10), 1949-1956.
32. He, P., Chopin, F., Suuronen, P., Ferro, R.S.T. y Lansely, J. (2022). Clasificación y definición ilustrada de los artes de pesca. *Documento Técnico de Pesca y Acuicultura de la FAO*, 672. Roma FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4966es>
33. Hernandez, A. (2020). LISA. Club de pesca deportiva STELLA MARIS. <https://stellamaris.cl/peces/pez-lisa/>
34. Iannacone, J., Principe, F., Minaya, D., Panduro, G., Carhuapoma, M. y Alvarino, L. (2021). Microplásticos en peces marinos de importancia económica en Lima, Perú. *Rev Inv Vet Perú* 2021; 32(2), 1-15. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v32i2.20038>
35. Instituto Nacional de Pesca (2018). Acuicultura Carpa Común. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuicultura-carpa-comun>
36. Instituto Nacional de Pesca (2018). Acuicultura Tilapia. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuicultura-tilapia>
37. Kane, I., Clare, M., Miramontes, E., Wogelius, R., Rothwell, J., Garreau, P. y Pohl, F. (2020). Seafloor microplastic hotspots controlled by Deep-sea circulation. *Science*, 368(6495), 1140-1145. DOI: 10.1126/science.aba5899
38. Kim, S., Chen, J., Cheng, T., Gindulyte, A., He, J., He, S., Li, Q., A Shoemaker, B., Thiessen, P., Yu, B., Zaslavsky, L., Zhang, J., E Bolton, E. (2023). Actualización de PubChem. *Investigación de ácidos nucleicos*, 51(D1), D1373–D1380. <https://doi.org/10.1093/nar/gkac956>
39. Lara-Álvarez, L. (2009). Métodos para la separación del PVC contaminante en el reciclado del PET [Tesis de pregrado, Centro de Investigación de Química Aplicada]. Archivo digital. chrome-

- extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/402/1/Lidia%20Lara%20Alvarez.pdf
40. Leslie, H., JM van, M., Brandsma, S., Vethaak, A., García, J. & Lamoree, M. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, 163, 107400. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>
41. Liuyue, H., Zhonbin, L. y Zhenci, X. (2023). Soil microplastics pollution in agricultura. *Science*, 379(6632), 547. DOI:10.1126/science.adf6098
42. Luna, F. A. (2020). *La era del plástico, Una nueva amenaza para la conservación de la naturaleza.* GUADALMAZÁN. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=QjvqDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4&dq=historia+del+plastico+2020&ots=i5du3sg6Bj&sig=5_tswBNfEzUL-fwf2HnfYrf98lc#v=onepage&q=historia%20del%20plastico%202020&f=false
43. Luqman, M., Shahid, T., Awan, MUF., Kashif, SUR., Arooj, F. y Awan, AR. (2023). Quantification and characterization of microplastics (MPs) pollution in peri-urban agricultural lands of Lahore, Pakistan. *PLoS ONE* 18(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0291760>
44. Lusher, A. y Hernandez, G. (2018). Microplastic Extraction from Marine Vertebrate Digestive Tracts, Regurgitates and Scats: A Protocol for Researchers from All Experience Levels, *Bio-protocol* 8 (22): e3087. DOI: 10.21769/BioProtoc.3087.
45. Lusher, A., Welden, N., Sobral, P. y Cole, M. (2017) Sampling, insulating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates. *Royal Society of chemical*, 9, 1346-1360. DOI: 10.1039/c6ay02415g
46. Maldonado, S., Aldana, A. y Labrada. M. (2022). Contaminación por microplásticos. *Ciencia*, 73(2), 22-27. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73_2/PDF/Ciencia_73-2.pdf

47. Marrero, D., González, V. y Vicente, R. (2010). Determinación de n-hexane en el ingrediente activo D-004 por CG-EM. *CENIC Ciencias Químicas*, 41 (No. Especial), 1-6. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181620500057>
48. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. (2010). *CARPA*. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación (MAPA). https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/carpa_tcm30-102426.pdf
49. Moita, J. M. y Silva, E. A. (2023). Sources of Microplastic Generation in the Environment. *International Journal of Environmental Research And Public Health*, 20(13), 6202. <https://doi.org/10.3390/ijerph20136202>
50. Mora, A., García, M., Sánchez, M., Gloria, L., Cervantes, P. y Mahlkecht, J. (2022). Revisión bibliográfica del estado ambiental actual de las implicaciones para la salud humana en uno de los ríos más contaminados de México: el río Atoyac, Puebla. *Science of The Total Environment*, 782, 1-45. https://www.researchgate.net/publication/358020826_Revision_bibliografica_del_estado_ambiental_actual_y_de_las_implicaciones_para_la_salud_humana_de_uno_de_los_rios_mas_contaminados_de_Mexico_El_rio_Atoyac_Puebla
51. Muhib, I. y Rahman, M. (2023). Microplastics contamination in fish feeds: Characterization and potential exposure risk assessment for cultivated fish of Bangladesh. *Heliyon*, 9(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19789>
52. Municipios Puebla (2018). Atlimeyaya... el paraíso de la Trucha Arcoíris. Municipios. <https://municipiospuebla.mx/nota/2018-11-13/tianguismanalco/atlimeyaya%E2%80%A6-el-para%C3%ADso-de-la-trucha-arco%C3%ADris>
53. Neves, C., Gaylarde, C., Baptista, J., Vieira, K., Pierri, B., Waite, C., Scott, D. y Fonseca, E. (2022). The transfer and resulting negative effects of nano- and micro-plastics through the aquatic trophic web—A discreet threat to human health. *Chinese Roots Global Impact*, 1 (100080), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2022.100080>

54. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2022). Perspectiva mundial de los plásticos: Escenarios políticos hasta 2060. https://www.oecd-ilibrary.org/sites/aa1edf33en/1/3/2/1/index.html?itemId=/content/publication/aa1edf33en&_csp_=ca738cf5d4f327be3b6fec4af9ce5d12&itemIGO=oecd&itemContentType=book#section-d1e2250
55. Ortega, C. (2023). *Prueba de Kruskal-Wallis: Qué es, ventajas y cómo de realiza*. QuestionPro. <https://www.questionpro.com/blog/es/prueba-de-kruskal-wallis/>
56. Ory, A., Sobral, P., Ferreira, J. y Thiel, M. (2017). Amberstripe scad *Decapterus muroadsi* (Carangidae) fish ingest blue microplastic resembling their copepod prey along the coast of Rapa Nui (Easter Island) in the South Pacific subtropical gyre. *Science of the Total Environment*, 586, 430-437. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.175>
57. Parada, L. (2019). *Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk*. Pubs por RStudio. <https://rpubs.com/F3rnando/507482>
58. Pescadería Coruñesas (s.f.). Trucha. <https://www.pescaderiascorunesas.es/pescados/trucha>
59. Pineda-Peralta, A., Ramos, J., Castillo, M. y Arreguín, F. (2016). Cambios en la dieta de dos especies de mojarras (Gerreidae) en la Laguna de Términos, Campeche, México. *Revista de biología marina y oceanografía*, 51 (2). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572016000200015>
60. Piñón-Colin, T., Rodríguez, R., Pastrana, M., Rogel, E., y Toyohiko, F. (2018). Microplastics on sandy beaches of the Baja California Peninsula, Mexico. *ScienceDirect*, 131(Pt A):63-71. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.03.055
61. Plastics Europe (2020). La economía circular de los plásticos: Una visión europea. Plastics Europe Productores de Materias Plásticas. <https://plasticseurope.org/es/knowledge-hub/la-economia-circular-de-los-plasticos-una-vision-europea/>

62. Plastics Europe (2021). Plásticos: Materiales impulsados por la innovación. Plastics Europe, Productores de Materias Plásticas, 05. chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2021/11/ES_Plastics_the_facts-WEB-2020_May21_final_updatedJuly2021.pdf
63. Preedy, V. y Ross, R. (2021). *Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention*. ELSEVIER. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-05075-6>
64. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2021). De la contaminación a la solución. Una evaluación global de la basura marina y la contaminación por plásticos. Síntesis. Nairobi.
65. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2022). Nuestro planeta se está ahogando con el plástico. Visual Feature. <https://www.unep.org/interactives/beat-plastic-pollution/>
66. Quinteros-Espinoza, K. (2022). Detección de microplásticulas de plástico e el sistema de potabilización de agua “Mahuarca# de la ciudad de Azogues, Ecuador [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Archivo digital. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23401>
67. Quiñones, L. (2019). Los microplásticos en el pescado y los mariscos, ¿deberíamos preocuparnos? Organización de las Naciones Unidas. <https://news.un.org/es/story/2019/07/1460041>
68. Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Papa, F., Antonio, M., 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>
69. Ramírez, G. y López, T. (1993). *Métodos estadísticos no paramétricos: aplicación del paquete estadístico spss en la solución de problemas*. México: Universidad Autónoma de Chapingo
70. Ramsperger, A., Narayana, V., Gross, W., Mohanraj, J., Thelakkat, M., Greiner, A., Schmalz, H., Kress, H. Laforsch, C. (2020). Environmental

exposure enhances the internalization of microplastic particles into cells. *Science Advances*, 6(50). DOI: 10.1126/sciadv.abd1211

71. Representación agricultura Puebla (2016). Puebla, segundo lugar nacional en producción de tilapia. Gobierno de México, <https://www.gob.mx/agricultura%7Cpuebla/articulos/puebla-segundo-lugar-nacional-en-produccion-de-tilapia>
72. Ribeiro, F., Okoffo, E., O'Brien, J., Fraissinet-Tachet, S., O'Brien, S., Gallen, M., Samanipour, S., Kaserzon, S., Muller, J., Galloway, T. y Thomas, K. (2020) Quantitative analysis of Selected Plastics in High-Commercial-Value Australian Seafood by Pyrolysis Gas Chromatography Mas Spectometry. *Environmental Science y Tecnology*. 54, 9408-9417. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.est.0c02337>
73. Ríos, M. (2022). El papel del color en la ingesta de fragmentos de microplásticos por el pez cebra (*Danio rerio*). *Revista internacional de contaminación ambiental*, 38, 551-560. <https://doi.org/10.20937/RICA.54523>
74. Rodríguez, P. (2021). *Tipos de plástico: Clasificación y reciclaje*. DKV. <https://dkv.es/corporativo/blog-360/medioambiente/reciclaje/tipos-de-plasticos-clasificacion-reciclaje>
75. Ruiz-Serrano, J. (2021). Evidenciación de la presencia de microplásticos en agua, sedimento y tracto digestivo de tilapia (*Oreochromis aureus*) proveniente de la laguna de Catemaco, Veracruz [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico Superior de san Andrés Tuxtla]. Archivo digital. <https://rinacional.tecnm.mx/handle/TecNM/1210>
76. Sánchez, M., Rangel, N., Beltrán, M., Vázquez, A. y Álvarez, J. (2016). Separación y caracterización de microplásticos en playas mexicanas. *Los residuos sólidos como fuente de materia y energía*, 9(13), 27-33.
77. Scacco, U., Mancini, E., Marcucci, F. y Tiralongo, F. (2022). Microplastics in the Deep: Comparing Dietary and Plastic Ingestion Data between Two Mediterranean Bathyal Opportunistic Feeder Species, *Galeus melastomus*, *Rafinesque*, 1810 and *Coelorinchus caelorhincus* (Risso, 1810), through

Stomach Content Analysis. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10 (624). <https://doi.org/10.3390/jmse10050624>

78. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2021). Lisa, especie que alimenta a México. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/lisa-especie-que-alimenta-a-mexico>
79. Secretaría de desarrollo agropecuario, forestal y pesca. (2021). CAMPO TABASCO. <https://campotabasco.gob.mx/?pesquero=mojarra>
80. Seung, W., Jinhee, C. & Kwon, Y. (2023). Recent progress and future directions of the research on nanoplastic-induced neurotoxicity. *Neural Regeneration Research*, 19(2), 331-335. DOI: 10.4103/1673-5374.379016
81. Sulaiman B, Woodward J, Shiels HA, Riverine microplastics and their interaction with freshwater fish, *Water Biology and Security* (2023), doi: <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2023.100192>.
82. Tuvo, B., Scarpaci, M., Bracaloni, S., Esposito, E., Costa, A.L., Ioppolo, M., & Casini, B. (2023). Microplastics and Antibiotic Resistance: The Magnitude of the Problem and the Emerging Role of Hospital Wastewater. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 20(5868). <https://doi.org/10.3390/ijerph20105868>
83. Vázquez, R. G. (2019). Los microplásticos textiles (o la increíble historia de cómo tu suéter termina en el salero). *Novedades científicas*, 70 (1). https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/70_1/PDF/Microplasticos.pdf
84. Villamar-Lucas, J. (2022). Análisis de la presencia de microplástico en diferentes organismos marinos del Ecuador 2018- 2022 [Tesis de pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Archivo Digital. <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/handle/46000/8865>
85. Vivas, S., Gamboa, D. y Duque, G. (2023). Ecología trófica y consumo incidental de microplásticos en peces (*Sciaenidae*) y su relación con la dinámica ambiental en la bahía de Tumaco, Pacífico colombiano. *Revista de*

- la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 47(184), 571-590. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1893>
86. Wu, D., Lu, X., Dong, L., Tian, J., Deng, J., Wei, L., Wen, H., Zhong, S. & Jiang, M. (2023). Nano polystyrene microplastics could accumulate in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Negatively impacts on the liver and intestinal health through water exposure. *Journal of environmental Sciences*, 137, 604-614. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.02.018>
87. Yan, B., Liu, Q., Li, J., Wang, C., Li, Y., Zhang, C. (2021). Microplastic Pollution in Marine Environment: Occurrence, Fate, and Effects (With a Specific Focus on Biogeochemical Carbon and Nitrogen Cycles). In: Muthu, S.S. (eds) *Microplastic Pollution. Sustainable Textiles: Production, Processing, Manufacturing & Chemistry*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0297-9_4
88. Yanes, J. (2019). *La baquelita, el primer plástico sintético que transformó el mundo*. OpenMind BBVA. <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/innovacion/la-baquelita-el-primer-plastico-sintetico-que-transformo-el-mundo/>
89. Yang, Y., Xie, E., Du, Z., Peng, Z., Han, Z., Li, L., Zhao, R., Qin, Y., Xue, M., Li, F., Kun Hua. & Yang, X. (2023). Detection of Various Microplastics in Patients Undergoing Cardiac Surgery. *Environmental Science & Technology*, 57(30), 10911-10918. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c07179>
90. Zambrano, J. (2021, marzo 18). Detectan microplásticos en el Atoyac. *MILENIO*. <https://www.milenio.com/politica/comunidad/detectan-microplasticos-que-transportan-contaminantes-en-el-atoyac>
91. Zhang, Y., Kang, S., Allen, S., Allen, D., Gao, T. & Sillanpää, M. (2020). Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives. *Earth-Science Reviews*, 203. 103118. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103118>