
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL



CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE
INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO
INTEGRAL REGIONAL CIIDIR-IPN UNIDAD
MICOACÁN



EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN EL LAGO DE CHAPALA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
SUSTENTABLE

PRESENTA:

I.B.Q. MIRIAM VALENCIA RAMIREZ

DIRECTORES:

DRA. DIOSELINA ÁLVAREZ BERNAL

M.C. HÉCTOR RENÉ BUELNA OSBEN

JIQUILPAN MICH.

DICIEMBRE 2021



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14
 REP 2017

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de siendo las horas del día del mes de del se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: para examinar la tesis titulada: del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	Valencia	Apellido Materno:	Ramírez	Nombre (s):	Miriam
-------------------	----------	-------------------	---------	-------------	--------

Número de registro:

Aspirante del Programa Académico de Posgrado:

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 24 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo SI NO **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN: *(Por ejemplo, el % de similitud se localiza en metodologías adecuadamente referidas a fuente original)*

El porcentaje encontrado en el documento de tesis del 24% no constituye plagio, debido a que se citaron las fuentes de forma adecuada.

****Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR** **SUSPENDER** **NO APROBAR** la tesis por **UNANIMIDAD** o **MAYORÍA** en virtud de los motivos siguientes:

La tesis se sustenta en una adecuada revisión documental y referenciada de forma adecuada, además, de contar con una sólida experimentación; los resultados que presenta son pioneros en este cuerpo de agua.

COMISIÓN REVISORA DE TESIS

Dra. Dióselina Álvarez Bernal
 Director de Tesis
 Nombre completo y firma

M. en C. Ernesto Oregel Zamudio
 Nombre completo y firma

Dra. María Antonieta Ochoa Ocaña
 Nombre completo y firma

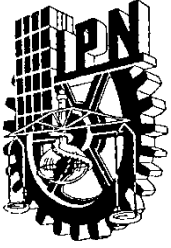
M. en C. Héctor René Buelna Osben
 2° Director de Tesis (en su caso)
 Nombre completo y firma

Dra. Martha Alicia Velázquez Machuca
 Nombre completo y firma



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
Instituto Politécnico Nacional
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
CIIDIR IPN
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Dra. María Valentina Angoa Pérez
 Nombre completo y firma



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, el día 09 del mes de diciembre del año 2021, el que suscribe ING. BIOQUIMICA EN ALIMENTOS: MIRIAM VALENCIA RAMÍREZ alumna del Programa de Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable, con número de registro B190837, adscrita al CIIDIR-IPN Unidad Michoacán, manifiesta que es el autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la Dra. Dioselina Álvarez Bernal y el M. en C. Héctor Rene Buelna Osben, cede los derechos del trabajo titulado: "Evaluación de la presencia de microplásticos en el lago de Chapala", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso de la autora y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones: miriamvalencia618@gmail.com, dalvarezb@ipn.mx y hrbuelna@hotmail.com . Sí el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.

I.B.Q. MIRIAM VALENCIA RAMÍREZ

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar total gratitud, admiración y respeto hacia la Doctora Dioselina Álvarez Bernal, por haberme abierto las puertas en su equipo de trabajo y haberme adoptado como hija académica en la Maestría en Producción Agrícola Sustentable.

Dra. Dioselina, gracias por haberme guiado en todo momento en la realización de esta investigación. Gracias por la confianza que depositó en mí para llevar a cabo este trabajo, que sin duda alguna despierta en mí el deseo de seguir trabajando en él y continuar mi formación académica. Gracias por todos los consejos y el respaldo que me otorgó y me sigue otorgando, no hay palabras para agradecerle lo valioso que significa eso para mí, Gracias por ser un gran ser humano.

A Mónica Ochoa Echegollen, parte del personal técnico del laboratorio, por su paciencia, dedicación y disponibilidad en todo momento.

A mi comité tutorial por sus sugerencias y aportaciones para el desarrollo de este trabajo. Gracias por compartir sus conocimientos conmigo.

A mis hermanos académicos (Alba, Isa y Leo) por su amistad incondicional tanto en el ámbito laboral como en el personal.

Al CIIDIR-IPN, por haberme permitido formar parte de él y haber hecho posible el desarrollo de este trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento de este proyecto, así como al programa de becas BEIFI.

DEDICATORIAS

Quiero dedicar absolutamente este trabajo a Dios que siempre me ha llenado de bendiciones y este Posgrado fue una de ellas. Gracias, señor por ir de la mano conmigo cumpliendo cada uno de mis sueños.

A mi ángel Melania que se encuentra en el cielo, ya que ella estaba muy feliz por la continuación de mis estudios. Gracias por haber sido una segunda madre y por haberme amado incondicionalmente como una hija.

A mi esposo Jesús Ochoa Tejeda, que en todo momento estuvo conmigo a lo largo de esta gran etapa. Gracias Amor por haber hecho la cena cuando me encontraba realizando tareas de la maestría. Gracias por tu amor, lealtad y apoyo en todo momento "Te Amo".

A mis padres y hermana por siempre creer y confiar en mí. Gracias por siempre impulsar mis anhelos tanto académicos como personales.

A mi amiga Ma. Isabel Monares Escalera, que siempre estuvo para mí en los momentos más difíciles. Gracias, amiga por siempre estar.

ÍNDICE GENERAL

RESÚMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
I. MARCO TEÓRICO	5
1.1 Producción de plástico a nivel mundial	5
1.1.2 Producción de plástico en México	6
1.2 Microplásticos y sus generalidades (MPs)	8
1.3 Microplásticos y su clasificación	9
1.4 Composición química de los microplásticos más comunes	11
1.5 Microplásticos: Categorías morfológicas	13
1.6 Microplásticos presentes en cuerpos de agua	14
1.7 Microplásticos: Presencia en plantas de tratamiento de aguas residuales	18
1.8 Efectos de los microplásticos en la biota y los seres humanos	19
1.9 Lago de Chapala	23
1.9.1. Especies de estudio del Lago de Chapala	23
II. ANTECEDENTES	25
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	29
IV. JUSTIFICACIÓN	30
V. HIPÓTESIS	31
VI. OBJETIVOS	32
6.1 Objetivo general	32
6.2 Objetivos específicos	32
VII. MATERIALES Y MÉTODOS	33
7.1 Diagrama metodológico general de Investigación	33
7.2 Zona de estudio	34
7.3 Condiciones del muestreo	35
7.4 Muestreo matrices de estudio	36
7.4.1 Agua	36
7.4.2 Sedimento	36
7.4.2 Peces	36
7.5 Preparación de las muestras	37
7.6 Parámetros fisicoquímicos del agua	38

7.6.1 Obtención de microplásticos en agua	38
7.7. Parámetros fisicoquímicos del sedimento	41
7.7.1 Obtención de microplásticos en sedimento	41
7.8 Parámetros Fisicoquímicos de peces	42
7.8.1 Obtención de Microplásticos en peces	42
7.9 Análisis estadístico	43
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
8.1 Características fisicoquímicas del agua	44
8.2 Microplásticos en el agua	49
8.3 Características fisicoquímicas del sedimento	50
8.4 Microplásticos en el sedimento	52
8.5 Características fisicoquímicas de los peces	55
8.6 Microplásticos en peces	57
8.7 Microplásticos Totales	59
IX. CONCLUSIONES	66
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de microplásticos comúnmente encontrados en cuerpos de agua (adaptado de Crawford y Quinn, 2017).	24
Tabla 2. Antecedentes acerca de los MPs (Panorama general).	36
Tabla 3. Antecedentes en lagos del mundo.	36
Tabla 4. Resultados de variables fisicoquímicas del agua en el laboratorio.	53
Tabla 5. Valores obtenidos en prueba Tukey	57
Tabla 7. Variables fisicoquímicas de los peces.	63
Tabla 8. Datos Biométricos de los peces.	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución global de la producción de plástico.	14
Figura 2. Distribución del plástico en México.	16
Figura 3. Microplásticos presentes en el ecosistema.	17
Figura 4. Degradación del plástico.	18
Figura 5. Vías de degradación de polímeros sintéticos en el medio acuático con procesos de degradación involucrados y pasos intermedios hasta la mineralización completa.	19
Figura 6. Estructura polimérica de los microplásticos más comunes.	20
Figura 7. Representación del coctel químico y la facilidad de transporte de otras sustancias que involucra a las partículas plásticas (MPs).	21
Figura 8. Categorías utilizadas al clasificar microplásticos por su morfología.	22
Figura 9. Especies de estudio: charal (<i>Chirostoma</i> sp.), carpa (<i>Cyprinus carpio</i>) y tilapia (<i>Oreochromis</i> sp.).	33
Figura 10. Diagrama general de metodología.	42
Figura 11. Ilustración del Lago de Chapala.	43
Figura 12. Segmentación del Lago de Chapala en 7 zonas.	44
Figura 13. Muestreo en el Lago de Chapala, octubre del 2020.	46
Figura 14. Obtención en el laboratorio de muestras compuestas.	46
Figura 15. Liofilizado de muestras de las matrices de estudio.	47
Figura 16. Diagrama general de proceso para MPs en muestras de agua.	48
Figura 17. Espectrofotómetro Unity Scientific Infrarrojo con Transformador-CIIDIR.	51
Figura 18. Eutrofización en la zona 7.	56
<i>Figura 19. Microplásticos (MPs) encontrados en el agua del Lago de Chapala.</i>	58
<i>Figura 20. Visualización microscópica de los microplásticos encontrados en el agua.</i>	59
<i>Figura 21. Microplásticos (MPs) encontrados en el agua del Lago de Chapala.</i>	62
<i>Figura 22. Visualización microscópica de los microplásticos encontrados en el sedimento.</i>	62
Figura 23. Mediciones Biométricas de los peces.	64
Figura 24. Microplásticos (MPs) encontrados en especies de estudio del Lago de Chapala.	65
<i>Figura 25. Visualización microscópica de los microplásticos encontrados en peces.</i>	66
Figura 26. Frecuencia del tamaño de Microplásticos de las 3 matrices de estudio.	67
<i>Figura 27. Gráfico de porcentajes colorimétricos de los MPs encontrados con mayor frecuencia en las 3 matrices de estudio.</i>	68
<i>Figura 28. Gráfico de embudo de los MPs por categoría encontrados en las 3 matrices de estudio del Lago de Chapala.</i>	69
<i>Figura 29. Microplásticos de mayor predominio en forma de fibra.</i>	69
<i>Figura 30. Porcentaje de las categorías microplásticas encontradas.</i>	70
<i>Figura 31. Muestreo del Lago de Chapala en octubre del 2020.</i>	71
Figura 32. Mapa de calor de los microplásticos encontrados en el Lago de Chapala.	72

RESÚMEN

El lago de Chapala es el cuerpo lacustre de mayores dimensiones en nuestro país. Su posición geográfica le hace resaltar aún más su importancia, pues está bien comunicado y cerca de la ciudad de Guadalajara, por lo que su atractivo como centro turístico y fuente de recursos pesqueros hacen de Chapala uno de los más importantes de nuestros lagos. Además, el agua del lago es utilizada en gran parte para la actividad agrícola de la región Ciénega de Chapala. Este lago es alimentado principalmente por los ríos Lerma, Duero y Zula, recibiendo como afluentes diversas descargas de aguas residuales, arrastrando contaminantes de distintos orígenes y composición química, entre ellos los microplásticos. La presencia de microplásticos en cuerpos de agua es alarmante debido a que presentan una alta toxicidad, y al ingresar a organismos vivos llegan a causar: estrés por ingestión, fuga de aditivos y exposición a contaminantes asociados, lo cual puede llevar a una bioacumulación de compuestos con capacidad carcinógena o disruptora endocrina. El objetivo de este trabajo es: Identificar y clasificar los diferentes tipos de microplásticos presentes en el sistema lacustre del lago de Chapala, para lo cual se tuvieron tres matrices de estudio (agua, sedimento y peces). Para en el caso de sedimento y agua, se realizó un muestreo aleatorio con logística de 7 zonas, con 6 puntos de muestreo por cada una de ellas, obteniendo un total de 7 muestras compuestas. Para la recolección de peces se tomaron en cuenta tres especies: charal (*Chirostoma sp.*), carpa (*Cyprinus carpio*) y tilapia (*Oreochromis sp.*). Se determinaron características fisicoquímicas de cada una de las matrices de estudio. Para el análisis de microplásticos se sometieron a sus respectivos procedimientos para ser evaluados microscópicamente, para posteriormente someterlos a sus correspondientes análisis estadísticos. Los microplásticos más predominantes en las matrices analizadas fueron los filamentos y fragmentos.

ABSTRACT

Chapala Lake is the largest lake in our country. Its geographical position makes it stand out even more its importance, since it is well connected and close to the city of Guadalajara, so its attractiveness as a tourist center and source of fishing resources makes Chapala one of the most important of our lakes. In addition, the lake's water is used to a great extent for agricultural activity in the Cienega of Chapala region. This lake is fed mainly by the Lerma, Duero, and Zula rivers, receiving as tributaries various discharges of wastewater, dragging pollution of different origins and chemical composition, including microplastics. The presence of microplastics in water bodies is alarming due to their high toxicity, and when entering living organisms, they cause ingestion stress, leakage of additives and exposure to associated pollutants, which can lead to bioaccumulation of compounds. with carcinogenic or endocrine dysfunctional capacity. The objective of this work is: To demonstrate and evaluate the different types of microplastic present in the lake system of Lake Chapala, for which three study matrices were used (water, sediment, and fish). In the case of sediment and water, a random sampling was carried out with logistics of 7 zones, with 6 sampling points for each one of them, obtaining a total of 7 composite samples. For the collection of fish, three species were considered: Charal (*Chirostoma* sp.), Carpa (*Cyprinus carpio*) and Tilapia (*Oreochromis* sp.). Physicochemical characteristics of each of the study matrices were determined. For the analysis of microplastics, they underwent their respective procedures to be evaluated microscopically, to later submit them to their corresponding statistical analyzes. The most predominant microplastics in the analyzed matrices were filaments and fragments.

INTRODUCCIÓN

El sistema lacustre del lago de Chapala está ubicado en la región occidente de la república mexicana, se caracteriza por ser el lago más grande en nuestro país y el tercero en toda Latinoamérica. Su localización hace que su relevancia incremente, debido a, que se encuentra cerca de la ciudad de Guadalajara, una de las ciudades más grandes e importantes del país, pues suele ser atractiva para el turismo; la fuente de recursos pesqueros hace de Chapala uno de los más valiosos de nuestros lagos (Chávez, 1976). Además, es de gran importancia destacar que el agua del lago es utilizada en gran parte, para la agricultura desarrollada en la región Ciénega de Chapala.

En años recientes se han desarrollado diversos estudios en los cuales se señala la contaminación por microplásticos como tema polémico para la salud ecosistémica y humana. Uno de los primeros trabajos reportados en literatura fue “Lost at Sea: ¿Where Is All the Plastic?” el cual explica qué es lo que sucede cuando el plástico llega al agua (Thompson *et al.*, 2004). A partir de ello se han realizado diversas investigaciones, pero la mayoría enfocadas en la interacción de los microplásticos en océanos, por lo que la información en sistemas de agua dulce como por ejemplo los lagos es muy limitada.

Los lagos forman parte del paisaje global, constituyen parte de uno de nuestros recursos naturales más importantes, además son componentes vitales del ciclo hidrológico; brindan sustento económico para los seres humanos, ya que se pueden realizar actividades económicas como la pesquería. Adicionalmente son el medio de supervivencia de muchos seres vivos por lo que son un gran reservorio para la biodiversidad de especies, además de ofrecer valor paisajístico al ecosistema. Actualmente en los grandes lagos, se almacena un 68% del agua dulce de nuestro planeta. Cabe mencionar que el lago de Chapala se caracteriza por ser un gran lago turbio y somero. Los lagos someros tienen la peculiaridad de ser poco profundos, por lo que la dinámica de resuspensión de sedimentos y liberación de nutrientes es más rápida, por lo que se ven afectaciones en la cadena trófica (De Anda, J., & Maniak, 2007).

El río Lerma es considerado como el principal afluente de contaminación en el lago de Chapala, debido a que todos los desechos que son vertidos en él (englobando desechos de todo el estado de México, Querétaro y Guanajuato), terminan desembocando hacia el lago. En este caso en las ciudades tanto de la república mexicana como de todo el mundo, debido a, que existe un crecimiento demográfico acelerado, la demanda respecto a la actividad industrial incrementa aceleradamente, originando problemas en la calidad del agua por contaminación en cuerpos de agua dulce, en donde los ríos y lagos tienen un papel fundamental, dada su naturaleza física y química (Castelán *et al.*, 2004).

La contaminación microplástica presenta un alto riesgo toxicológico, ya que cuando entran a organismos vivos llegan a causar: estrés por ingestión, fuga de aditivos de estos y exposición a los contaminantes asociados, lo cual puede llevar a una bioacumulación de compuestos, como por ejemplo lo son: los hidrocarburos aromáticos policíclicos, que son altamente carcinógenos y disruptores endocrinos (Mejía & Saenz, 2016). Asimismo, los microplásticos al tener un diminuto tamaño tienen la capacidad de burlar los sistemas de filtración de aguas residuales por lo que sus partículas se pueden encontrar en los ecosistemas existentes.

I. MARCO TEÓRICO

1.1 Producción de plástico a nivel mundial

El plástico se define como aquel material compuesto de polímeros orgánicos sintéticos o semisintéticos derivados del petróleo, que tienen como característica la capacidad de ser moldeables y considerablemente de bajo costo.

A nivel mundial el plástico ha ido en incremento de forma acelerada desde su creación en la década de los años 50. En dicho periodo se registró una producción de 1.7 millones de toneladas; luego tuvo un incremento de 13.6% en promedio anual durante 26 años consecutivos (Pérez, 2014).

En la figura 1, se muestra la demanda de la producción de plástico a nivel mundial, dónde a Latinoamérica le respecta 22%, África 7%, Europa 20%, China 30% y Asia en primer lugar con 51% de la demanda total de producción de plástico.

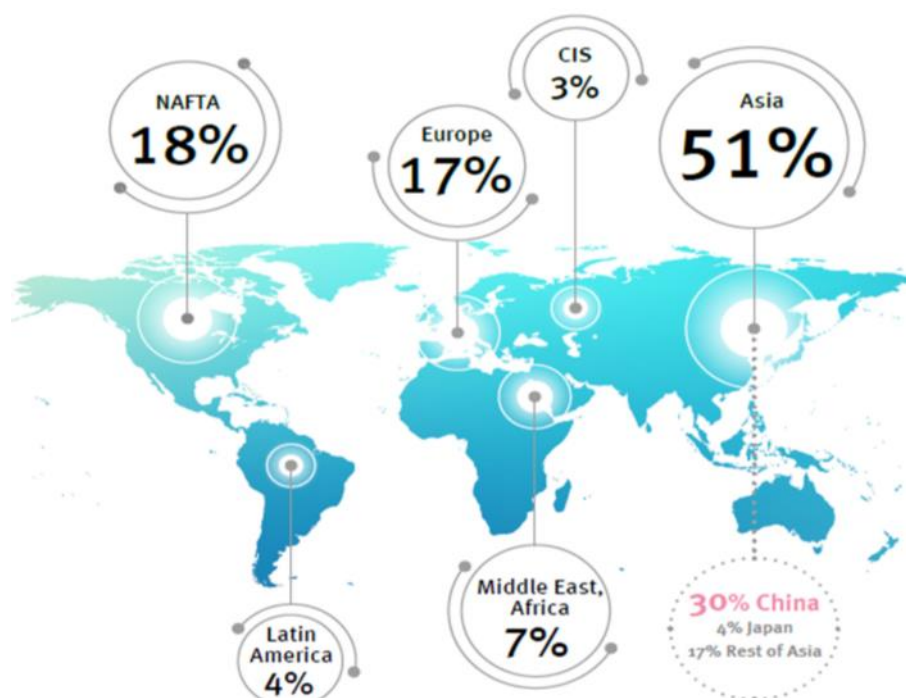


Figura 1. Distribución global de la producción de plástico.

Fuente: Tomado de *PlasticsEurope the facts*, 2019.

El uso de plásticos ha aumentado gradualmente desde mediados del siglo pasado, y los volúmenes de producción anual han sobrepasado los 200 millones de toneladas. Se han encontrado partículas de microplásticos en cuerpos de agua naturales, en ecosistemas marinos e incluso se han reportado en sedimentos, suelos y organismos vivos (De Souza MacHado *et al.*, 2018).

Se estima que en 2015 se produjeron más de 6300 millones de toneladas métricas de desechos plásticos; solamente el 9 % fue reciclado, el 12 % fue incinerado y el 79 % restante está acumulado en el ambiente, lo que representa un gran impacto sobre la biota terrestre y acuática (Flores, 2020).

1.1.2 Producción de plástico en México

En el caso de México la industria del plástico resulta de gran importancia, ya que sirve como un fuerte proveedor de la industria automotriz, dando lugar a un ritmo acelerado de producción masiva de plástico. La industria nacional del plástico ha logrado estimular de manera notable su participación en el comercio. Las exportaciones de plásticos mexicanos incrementaron 9.67% promedio anual en el lapso del 2003-2013, mientras que las importaciones crecieron 6.04% promedio anual. (Pérez, 2014).

En la economía mexicana, la industria del plástico es uno de los sectores más dinámicos, debido a que mantiene una tasa de crecimiento anual superior al 7 por ciento, lo que demuestra su producción consistente en el mercado, para el año 2011 el consumo en el mercado de plásticos en México fue de 5,300,000 toneladas. Los residuos de los envases y embalajes plásticos han presentado el mayor crecimiento en los últimos 15 años, el cual se ilustra en la figura 2; cuadruplicando su porcentaje en volumen de generación (Morales *et al.*, 2014).

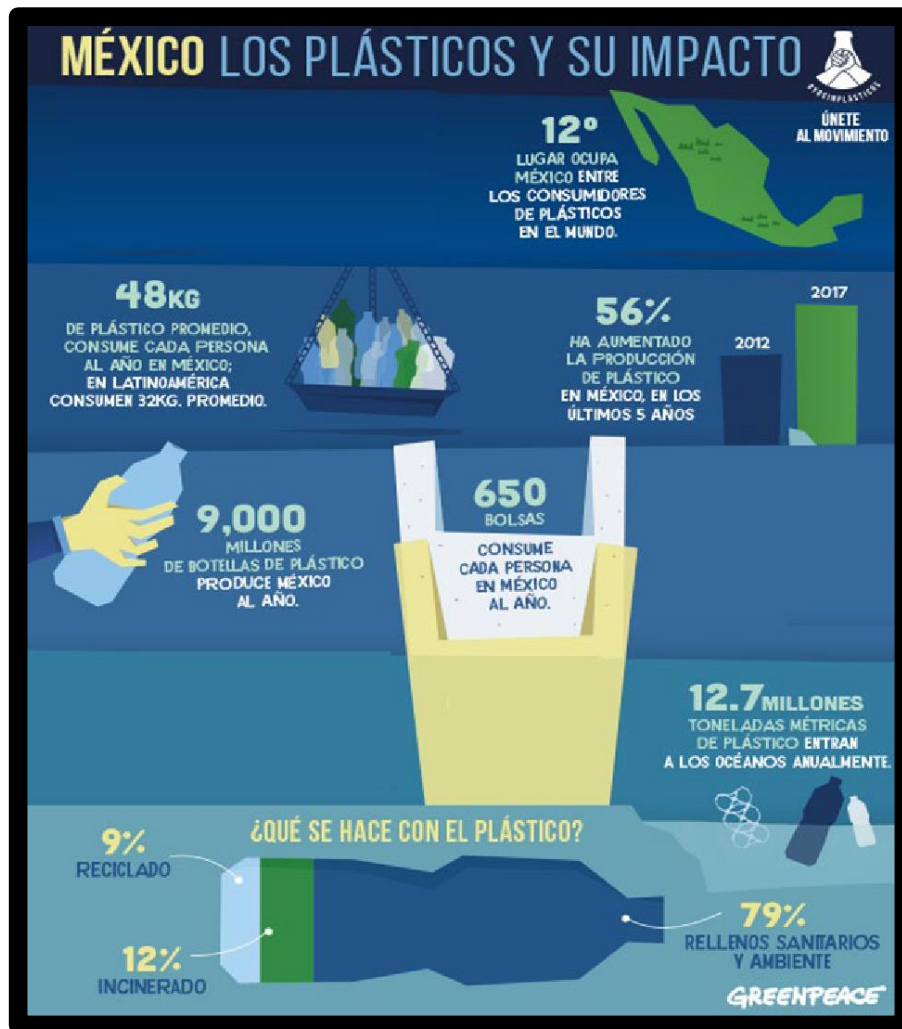


Figura 2. Distribución del plástico en México.

Fuente: GREENPEACE, 2018

Recientemente en México, y en todo el mundo debido a la pandemia por COVID-19, se concilia que el uso del plástico fuera desmedido, por lo que las tasas de producción de plástico se dispararon en su totalidad triplicando su producción normal en México y en el mundo. En nuestro país se han realizado esfuerzos por minimizar su impacto a través de una reducción gradual de la producción de plásticos de primer uso y su consumo en la población. Sin embargo, el impacto de la pandemia ha generado una respuesta adversa, ya que se obtuvo un incremento en el uso generalizado de productos desechables plásticos, como envases de alimentos y dispositivos médicos, caretas, cubrebocas, guantes, trajes de protección, entre otros, tanto de origen hospitalario como doméstico.

1.2 Microplásticos y sus generalidades (MPs)

Los microplásticos han sido definidos como partículas que consisten en una mezcla variada e irregular de materiales de forma mixta denominados fragmentos, fibras / filamentos, perlas / esferas, películas / láminas y gránulos en el rango de 0,1 a 5.000 μm en sus dimensiones máximas (Cabrera, 2019). También se definen como partículas plásticas con un tamaño inferior a 5 milímetros, según la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). Así pues, se evidencia el diminuto tamaño de estas partículas, por lo que no son perceptibles a la vista humana.



Figura 3. Microplásticos presentes en el ecosistema.

Fuente: Tomado de PlasticsEurope

Desde su creación en 1909, el plástico ha representado una de las mayores revoluciones en la industria de materiales sintéticos, debido a su elasticidad, flexibilidad y resistencia a ser degradado, estas características indujeron a que los seres humanos vivan en su totalidad rodeados de productos elaborados de este material, desde cepillos de dientes hasta piscinas, automóviles y grandes aplicaciones en la industria alimentaria. No podemos negar que se ha vuelto un material tan necesario y cotidiano en la vida del ser humano, pero este invento que revolucionó el estilo de vida en todo el mundo es el que está acabando con la misma, empezando desde las pequeñas criaturas (los niveles más bajos de la cadena

trófica) hasta el ser humano (el nivel más alto en la cadena trófica) (Hernández *et al.*, 2019).

En los últimos 75 años la producción de plástico y por consiguiente de microplásticos ha incrementado de 1.5 millones a 322 millones de toneladas por año a nivel mundial (Hernández *et al.*, 2019). Además, se debe tener presente que el material plástico toma tiempo de desintegración (ver figura 4), que oscila desde décadas hasta cientos de años.



Figura 4. Degradación del plástico.

Fuente: Tomado de National Geographic, 2021

Se estima que anualmente se producen alrededor de 300 millones de toneladas de plásticos, y que la mayor parte de ellos terminan en el medio ambiente, causando así daños durante décadas puesto que afecta la biota y además entra en la cadena alimentaria (Bläsing & Amelung, 2018).

1.3 Microplásticos y su clasificación

Para efectos del estudio de los microplásticos y comprensión de estos, se han dividido en dos principales categorías: primarios y secundarios.

Los microplásticos primarios son plásticos casi de tamaño microscópico; estos se pueden encontrar en muchos productos cosméticos y de cuidado personal, como

lociones, jabones, exfoliantes faciales y corporales, incluso hasta en la pasta dental, muchos de estos productos utilizados a diario en todo el mundo.

Los microplásticos secundarios son el resultado de la fragmentación de partículas de plástico más grandes. La fragmentación puede ocurrir durante el uso de materiales como textiles, pintura y neumáticos, o una vez que los plásticos han sido liberados al medio ambiente (Talvitie *et al.*, 2017).

En pocas palabras los microplásticos primarios son los ya emitidos por su origen fabricados de manera intencionada y los secundarios son el resultado de la desintegración de elementos plásticos más grandes (macroplásticos). Se dice que la radiación ultravioleta del sol es el agente inicial del proceso de degradación del plástico produciendo fragmentaciones en el material, el cual se ilustra en la figura 5 (Syberg *et al.*, 2015).

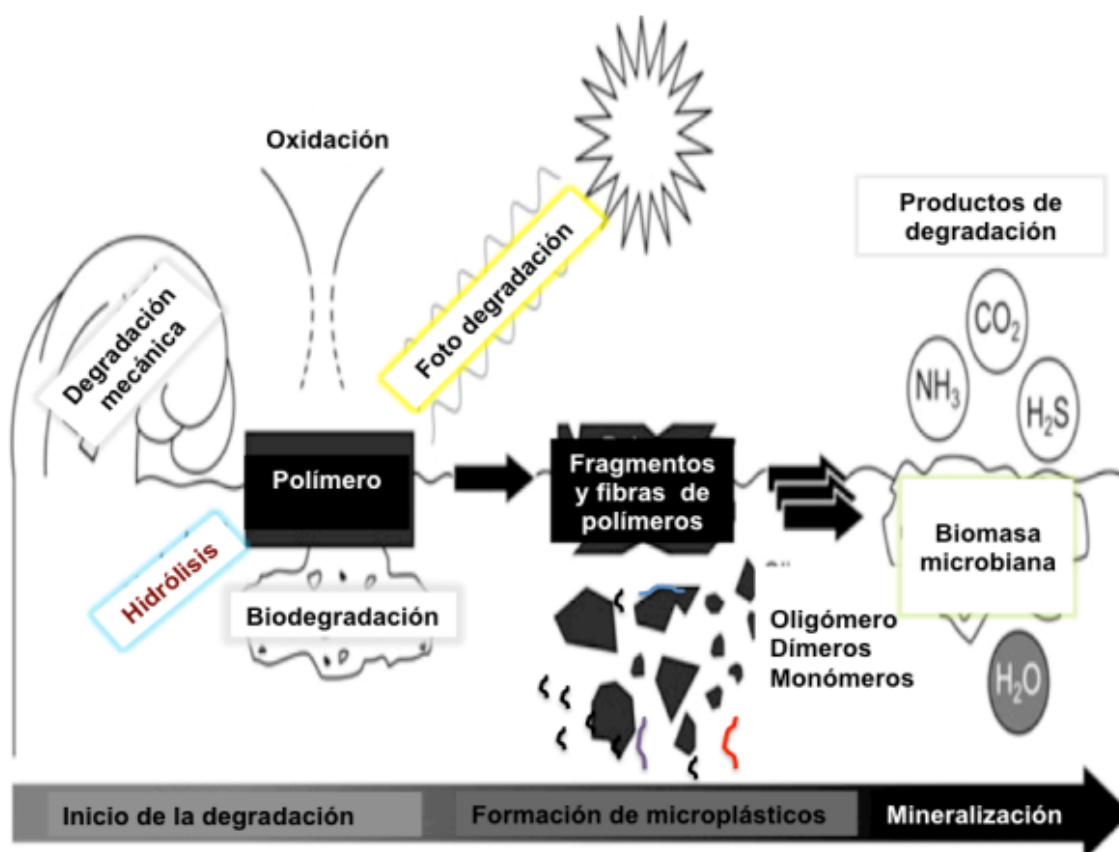


Figura 5. Vías de degradación de polímeros sintéticos en el medio acuático con procesos de degradación involucrados y pasos intermedios hasta la mineralización completa.

Fuente: Tomado de Klein *et al.*, 2018.

1.4 Composición química de los microplásticos más comunes

Los microplásticos se conforman de una gran variedad de compuestos poliméricos (ver figura 6), por ejemplo, los encontrados más comúnmente son el polietileno y polipropileno, que pueden provenir de un sin número de fuentes. En la siguiente figura se muestran algunos compuestos poliméricos más comúnmente utilizados. Los polímeros plásticos presentan una gran estabilidad química en función de la presencia de átomos de oxígeno o de nitrógeno en la cadena, lo que ocasiona la susceptibilidad a la degradación de ácidos, bases o, incluso enzimas microbianas. Los polímeros que contienen sólo átomos de carbono e hidrógeno sin dobles enlaces tienden a presentar una elevada estabilidad.

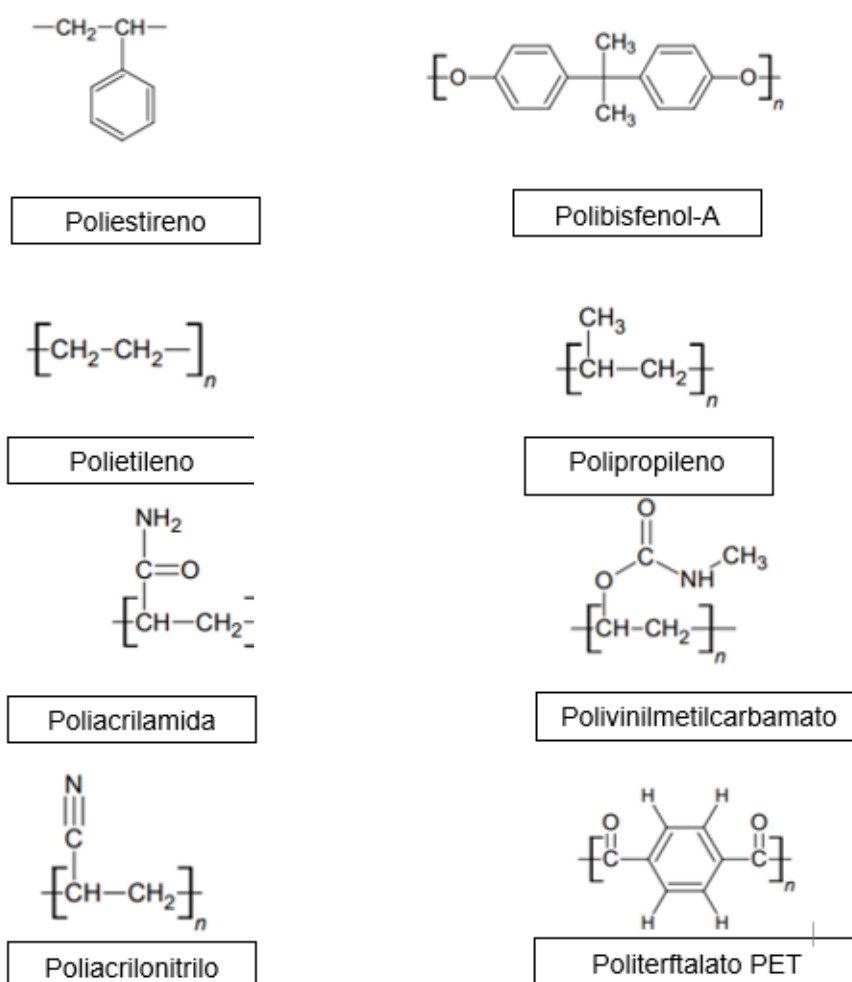


Figura 6. Estructura polimérica de los microplásticos más comunes.

Fuente: Tomado de PlasticsEurope, 2018

Los microplásticos al ser fabricados les son añadidos aditivos en sus polímeros, como plastificantes, retardantes de llama, colorantes, moldeadores, bisfenol-A, entre otros. Algunas de estas sustancias se han reportado como severamente dañinas para la salud humana (Browne *et al.*, 2007). Por tal motivo se dice que los microplásticos son considerados como cóctel químico, ya que desde su creación tienen compuestos químicos tóxicos, pero además una vez expuestos en el medio ambiente se les pueden adherir otros contaminantes emergentes incrementando su riesgo y toxicidad a la salud humana y ecosistémica, los cuales se ilustran en la figura 7.

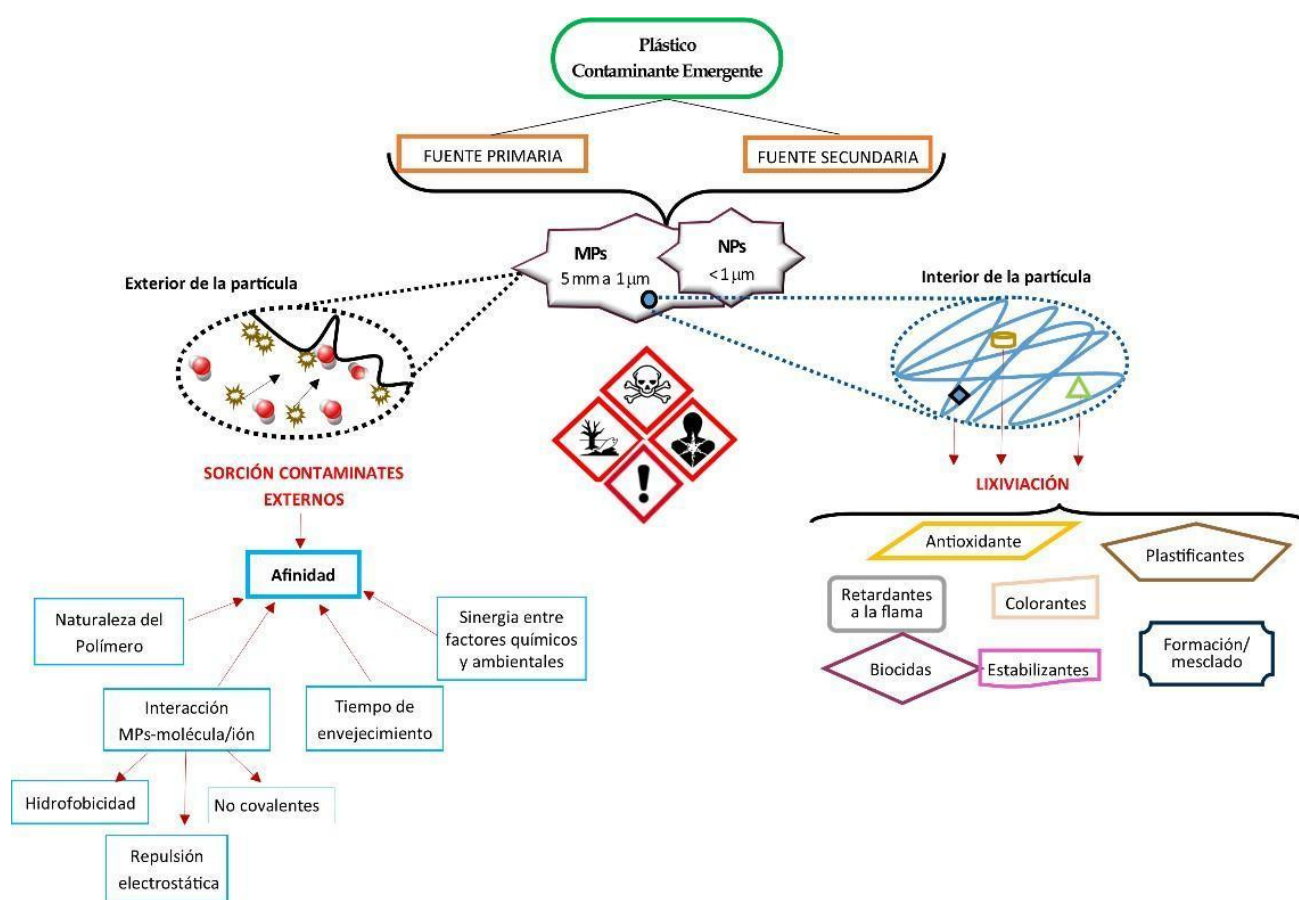


Figura 7. Representación del cóctel químico y la facilidad de transporte de otras sustancias que involucra a las partículas plásticas (MPs).

Fuente: Castañeta, 2020

1.5 Microplásticos: Categorías morfológicas

Los microplásticos se clasifican en gran parte por sus características morfológicas: tamaño, forma y color. El tamaño es un factor crucial al estudiar los microplásticos, ya que dicta el rango de organismos a los que puede llegar a afectar. La alta relación entre el área superficial y el volumen de partículas pequeñas les proporciona un alto potencial de lixiviación y absorción de productos químicos, ósea que entre mayor es el contenido de microplásticos, mayor es la probabilidad de actuar como vehículos de otros contaminantes tóxicos como metales, plaguicidas o contaminantes orgánicos persistentes. (Cabrera, 2019).

Los microplásticos pueden clasificarse por una característica muy importante como lo es la forma, los investigadores tienden a utilizar cinco categorías principales las cuales se muestran en la figura siguiente:

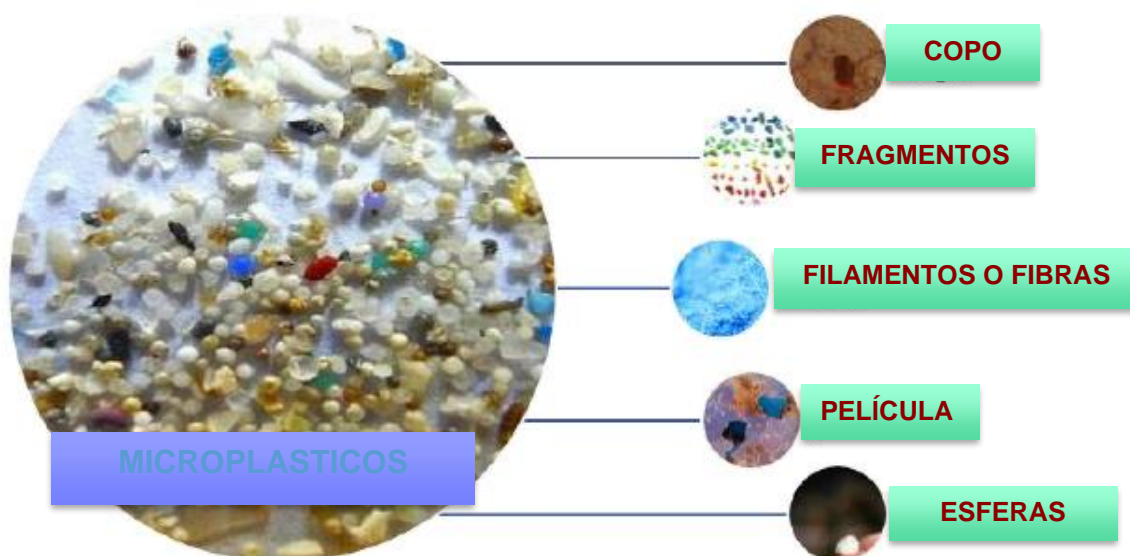


Figura 8. Categorías utilizadas al clasificar microplásticos por su morfología.

Fuente: Crawford y Quinn, 2017

Las fibras son algunos de los tipos más frecuentes de los microplásticos observados en el medio natural. Estas microfibras se fabrican típicamente a partir de materiales sintéticos como el nylon, tereftalato de polietileno (poliéster, PET), o polipropileno (PP); su presencia se atribuye comúnmente a la liberación de fibras sintéticas de

las prendas de lavado, degradación de colillas de cigarrillos que conducen a la liberación de fibras de acetato de celulosa, o la fragmentación de equipo marítimo (por ejemplo, redes y cuerdas utilizadas para la pesca). Debido a sus múltiples fuentes, el tamaño de las fibras microplástica identificado en muestras ambientales es variable pero siempre con longitud en micrómetros (Cole, 2016).

Se dice que naturalmente, los microplásticos clasificados como pellets por su forma cilíndrica u ovoide, son introducidos al medio ambiente generalmente a gran escala por la industria como descendientes abrasivos de la misma o la industria alusiva a la mujer "industria cosmética". Además, los MPS pueden adicionarse al medio de manera provisional, como partículas de plásticos netamente vírgenes. Millones de personas en el mundo utilizan productos exfoliantes corporales y faciales, estos son los principales portadores de contaminación por Poliestireno, los cuales penetran sistemas aledaños de alcantarillado y cuerpos de agua dulce y salada (Rodolfo, 2015).

Por otra parte, los fragmentos microplásticos se forman a través de la descomposición de partículas de plástico más grandes por fotólisis, termooxidación, termodegradación y biodegradación. Las "microperlas" son esferas de plástico contenidas en productos de cuidado personal y pellets de producción que se utilizan para fabricar artículos de plástico. Además, el lavado de textiles sintéticos generalmente produce altas concentraciones de fibras microplásticas en el efluente de las lavadoras domésticas. Los gránulos y fibras de microplásticos ingresan a la infraestructura de aguas residuales domésticas, pero es posible que no sean capturados por las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) debido a su pequeño tamaño (McCormick *et al.*, 2016).

1.6 Microplásticos presentes en cuerpos de agua

En los últimos años se ha generado en literatura una gran variedad de tipos de microplásticos existentes en el ecosistema. A continuación, se muestra la tabla1, la cual señala los tipos de microplásticos más comúnmente encontrados en cuerpos de agua:

Tabla 1. Tipos de microplásticos comúnmente encontrados en cuerpos de agua (adaptado de Crawford y Quinn, 2017).

TIPO	Densidad g/m³	Uso /Aplicación
Poliéster (PES)	1,40	Fibras textiles.
Tereftalato de polietileno (PET)	1,37	Microesferas para cosméticos, fibras textiles, botellas, fibras de llantas.
Polietileno (PE)	0,91-0,96	Amplia gama de usos de bajo costo, incluyendo bolsas de supermercado, botellas de plástico, microesferas para cosméticos.
Policloruro de vinilo (PVC)	1,38	Tubos de fontanería, cortinas de baño, prendas de vestir, bolsos, tejidos impregnados, recubrimientos de suelos.
Polietileno de baja densidad (LDPE)	0,91-0,93	Bolsas, envolturas para alimentos, materiales textiles, cortinas, manteles, cubiertas para construcción, aislantes de cables, botellas.
Polipropileno (PP)	0,83-0,85	Microesferas para cosméticos, fibras para cuerdas, artículos textiles, tubos, películas para embalaje de alimentos, utensilios domésticos pequeños y piezas de automóviles.

Poliestireno (PS)	1,05	Espumas, recipientes de alimentos, vajillas de plástico, vasos desechables, platos, cubiertos, utensilios domésticos, tanques, jarras, materiales de construcción (aislamiento).
Poliamidas (PA)(nylon)	1,07-1,16	Fibras textiles, cerdas de cepillo de dientes, cuerda de neumáticos, hilos, fabricación de películas para el envasado de alimentos y cubiertas de cables eléctricos.
Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)	1,06-1,08	Estuches de equipos electrónicos (por ejemplo, monitores de computadora, impresoras, teclados), tubería de drenaje, parachoques automotriz.
Policarbonato (PC)	1,20-1,22	Discos compactos, gafas, escudos antidisturbios, ventanas de seguridad, semáforos, lentes y materiales de construcción.
Poliuretano (PU)	1,10-1,20	Fibras textiles para cinturones, sostenes, pantalones, trajes de baño, almohadas. Elastómeros, fibras o recubrimientos, fabricación de espumas que se emplean como relleno en colchones o cojines.
Etileno-ácido acrílico (EAA)	0,96	EAA es bien conocido por su aplicación en el revestimiento, adherentes y resinas.

<p align="center">Polietileno de alta densidad (HDPE)</p>	<p align="center">0,94</p>	<p>Botellas, tapas, tuberías, sillas, utensilios domésticos, conductos y hojas.</p>
--	----------------------------	---

Uno de los tipos de microplásticos encontrados en aguas residuales, por ejemplo, son las microperlas, en donde la industria utiliza estos términos “microperlas” para describir los microplásticos presentes, como ingredientes en productos de cuidado personal y cosméticos; también se les puede llamar microesferas. Alrededor del 90% de las microperlas utilizadas en los cosméticos son compuestos de polietileno (PE), pero también pueden estar hechos de polipropileno (PP), tereftalato de PE (PET), metacrilato de polimetilo tardío (PMMA) y nylon. Estas microesferas o microperlas se transportan a las plantas tratadoras de aguas residuales. Sin embargo, existe un alto rango de probabilidad que una proporción sustancial pase a través del sistema y entre al medio acuático (Cabrera, 2019).

Vivimos en un mundo rodeado por una infinidad de productos y objetos conformados por plástico que nos brindan bienes y servicios.

En el medio marino, los plásticos en general se rompen de una manera lenta y gradualmente en fragmentos más pequeños como resultado de varios procesos tanto físicos como químicos, y eventualmente se convierten en partículas de tamaño diminuto, conocidas como microplásticos. Debido a que resultan de la fragmentación de plásticos más grandes, estas partículas a menudo se denominan microplásticos secundarios para distinguirlos de los fabricados específicamente para tener un tamaño microscópico (o menor) que se denominan microplásticos primarios (Ferreira *et al.*, 2015). Como se presentó en la tabla 1., algunos microplásticos se hundirán en el medio acuático y otros permanecerán flotantes en la superficie por algún tiempo interactuando con el ecosistema en general.

1.7 Microplásticos: Presencia en plantas de tratamiento de aguas residuales

Las actividades humanas son directamente responsables de las actividades acuáticas y terrestres. En los últimos años, la investigación existente sobre esta temática ha sido realizada para evaluar las diferentes fuentes de microplásticos y su impacto en el medio ambiente. Históricamente, los investigadores se han centrado principalmente en examinar efectos de la contaminación plástica derivada de la basura en general, plástico, vertido de residuos y gestión inadecuada de vertederos (Corradini *et al.*, 2019).

En los últimos años las plantas tratadoras de aguas residuales han tenido como objetivo tratar y mejorar la calidad de los efluentes que van en dirección hacia el cauce de los cuerpos de agua. A pesar de ello, sus tecnologías no han sido de gran ayuda al momento de retener los microplásticos, debido a que no han sido diseñadas para este propósito, por lo que se han convertido en una fuente puntual de microplásticos hacia todo tipo de ecosistemas acuáticos. Aunque en teoría los pretratamientos de las plantas tratadoras de agua residual deberían funcionar como barreras y retener los microplásticos, estas plantas al tratar grandes caudales de agua no logran retirar los microplásticos de los efluentes de descarga (Talvitie *et al.*, 2017).

La disposición de microplásticos en lo que respecta a las aguas residuales han sido estudiadas por varios investigadores alrededor del mundo, los cuales han llegado a la conclusión común de que, en general, las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) están eliminando de manera eficiente los microplásticos de las aguas residuales (esto únicamente en países de la unión europea). Esta conclusión es ideal para los ambientes acuáticos donde eventualmente terminan las aguas residuales, lamentablemente en nuestro país las plantas de tratamientos de agua residuales (PTAR) son de mala calidad que ocurre todo lo adverso a esto, ya que deberían eliminar de manera efectiva casi el 99% de los microplásticos de las aguas residuales. En estos países los microplásticos (MPS) son acumulados en los lodos producidos en las (PTAR) y la problemática radica en que los lodos son utilizados

como fertilizantes en campos agrícolas, por lo que esta problemática no queda descartada en estos países (Corradini *et al.*, 2019).

1.8 Efectos de los microplásticos en la biota y los seres humanos

El único origen de la contaminación del agua y medio ambiente por microplásticos es la actividad humana. Por tal manera los seres humanos debieran conocer el impacto que los microplásticos tienen en la biota y en los seres humanos.

Los microplásticos presentan una alta toxicidad, ya que cuando entran a los organismos vivos llegan a causar: estrés por ingestión, adherencia y fuga de compuestos químicos (aumentando su toxicidad) y exposición a los contaminantes asociados, lo cual puede llevar a una bioacumulación de compuestos como son los hidrocarburos aromáticos policíclicos que son carcinógenos o agentes endocrinógenos (Anderson *et al.*, 2016; Castañeta *et al.*, 2020).

El vínculo entre los microplásticos en la salud ecosistémica y la salud humana, no han sido en su totalidad direccionadas, pero cabe mencionar que son protagónicos de mucha disputa y conveniencia social. En el año 2016, se hace mención sobre la evidente carencia de investigación sobre los microplásticos originados desde residuos ya sean marinos o terrestres y su introducción de éstos a la cadena trófica. Lo anterior mencionado, se traduce a que simplemente no es entendido por los seres humanos el gran impacto y auge de los microplásticos, procediendo a grandes incógnitas sin ser resueltas aún en la actualidad (Sarria & Gallo., 2016).

Los microplásticos representan una amenaza potencial para la biota del suelo si la contaminación pudiese causar cambios en el hábitat del suelo. Cálculos empíricos sugieren que aproximadamente el 32% de todo el plástico producido es ambientalmente disponible en los sistemas continentales, y ciertos autores argumentan que los suelos pueden almacenar más masa microplástica que las cuencas oceánicas. Se ha reportado la existencia de microplásticos en suelos naturales de zonas no urbanas, incluyendo las zonas montañosas y habitadas con un nivel básico hasta el 0,002% del peso seco del suelo. En la actualidad no es

posible determinar con precisión el destino de este contaminante en suelos (De Souza *et al.*, 2018).

Es evidente el daño latente que han causado estos tipos de contaminantes plásticos a nivel mundial, actualmente catalogada como contaminación emergente. En los últimos años se han documentado aproximadamente más de 630 especies marinas afectadas por partículas de plástico, como, por ejemplo: tortugas, peces, cetáceos, aves, moluscos, crustáceos etc., incluso cuando estas especies ingieren partículas plásticas, regularmente se presenta un bloqueo en el tracto digestivo o perforación de este. Existe gran evidencia sobre un sin número de especies de tortugas marinas que ingieren plástico confundiendo con su alimento, lo que por consiguiente daña su sistema digestivo ocasionando la muerte. En el año 2018 se tiene documentado un total de 80 bolsas plásticas en el estómago de una ballena de la especie marina *Globicephala macrorhynchus*, lo cual culminó con su muerte (Jaime & Hernández., 2018).

Un amplio rango de biota de ecosistemas pelágicos y bentónicos ingiere, potencialmente, microplásticos. Algunos estudios que han investigado el color y el tamaño de los microplásticos en relación con su confusión con presas han encontrado que los microplásticos de ciertos colores, son en algunos casos, más fácilmente confundidos con presas por parte de los organismos planctónicos. Dado que hay gran variedad de microplásticos cuya densidad se mantiene flotando cerca de la superficie, estos se encuentran disponibles para un amplio rango de organismos que interaccionan con o forman parte del plancton, como son las larvas de importantes especies de interés comercial (Rojo & Nieto., 2017).

Debido a los aditivos químicos que contienen los microplásticos para mejorar su calidad en cuanto a coloración y textura, aparte de su propia toxicidad terminan absorbiendo otros contaminantes aumentando su toxicidad inicial, agravando aún más sus niveles toxicológicos en el medio.

Varios estudios han demostrado que los organismos marinos pueden tomar microplásticos a menudo con grandes consecuencias ya que pueden acumularse en los tejidos, sirven como vehículos para el transporte de patógenos, absorben y

acumulan contaminantes tóxicos. Los microplásticos tienen el potencial de causar muchos efectos adversos como cáncer, disminución de la actividad reproductiva, disminución respuesta inmune y malformación en animales y humanos.(Moreno & Núñez, 2012).

Su difícil reciclaje y su baja capacidad de degradación tienen como consecuencia una acumulación de estos en el medio ambiente, lo que ha sido reconocido como un problema medioambiental emergente. Países con destacada actividad en Salud Pública, como EUA, Canadá, Australia o Japón, también consideran los microplásticos como un riesgo emergente. Sus respectivas agencias o ministerios con competencias medioambientales han publicado informes y guías al respecto, donde se destaca el impacto presente y futuro (Pastor & Agulló., 2019).

En el caso del Poliestireno conocido como cristal o vidrio plástico, se cuestiona su uso en elementos que entran en contacto con productos de consumo humano, al estar hecho de benceno, un conocido cancerígeno, y de estireno, un conocido neurotóxico y posible cancerígeno. El proceso de manufactura del Poliestireno no es 100% eficiente, por lo que contiene residuos de estireno (Sarria & Corredor, 2016).

Además de ello, deplorablemente están cada vez más presentes en nuestra vida cotidiana, por ejemplo, Hernández y colaboradores en su publicación del año 2019; mencionan que investigaciones recientes habían reportado la presencia de microplásticos en insectos como los mosquitos. Del mismo modo, otro trabajo llevado a cabo en el año 2021 por Ragusa y colaboradores demostró la existencia de microplásticos en placenta humana. Esto deja claro el grado de perturbación que se tiene en los niveles de la cadena trófica, debido a los microplásticos.

Actualmente en la sociedad, la mayoría de los productos utilizados cotidianamente contienen sustancias con potenciales disruptores endocrinos, como, por ejemplo: insecticidas, productos cosméticos, latas, y por supuesto un sin número de variedades de plástico, siendo esta última la más carente en investigación. Además, la relación en cuanto a la dosis y respuesta no es muy conocida aún, debido a que tienen la característica de no presentar relación unívoca dosis-respuesta, una sola

causa puede generar una sola respuesta, o viceversa, una sola causa puede desarrollar respuestas diversas. Mencionadas consecuencias, además, pueden aparecer tras periodos latentes en bajas concentraciones por varios años.

Moreno & Núñez en su trabajo llevado a cabo en el año 2012, señalan que generalmente los efectos producidos por sustancias disruptoras endocrinas son los siguientes:

- Niveles hormonales en sangre anormales
- Reducción de la fertilidad
- Alteración del comportamiento sexual
- Modificación del sistema inmunológico
- Masculinización de hembras
- Feminización de machos (reducción del tamaño de testículos y pene) (Moreno & Núñez., 2012).

En el año 2015 se plantea como supuesto que los microplásticos sean causal de reacciones alérgicas, cáncer y enfermedades cardiacas en los seres humanos (GESAMP, 2015).

En los últimos años se ha reportado la presencia de este tipo de contaminación emergente en muestras de aire, suelos y agua. Además, existen investigaciones que manifiestan la existencia de microplásticos en alimentos, en particular en mariscos, sal marina y agua potable; también se han detectado en el tracto gastrointestinal de animales marinos y de igual manera en el de seres humanos (Ragusa *et al.*, 2021).

Podría decirse que aun actualmente la exposición a microplásticos dada por ingestión en seres humanos, la investigación es limitada, solo existen estudios en animales, en donde se sugiere que los microplásticos pueden ser acumulados y causar toxicidad por partículas al inducir una respuesta inmune del animal. Además, se tiene como hipótesis la posibilidad de que las biopelículas que crecen en los

microplásticos puedan ser una fuente de patógenos microbianos, por lo tanto, aunque existen posibles peligros químicos y microbianos de partículas asociadas con los microplásticos, es necesario evaluar primero los niveles de exposición actuales, incluso a través del agua potable que bebemos día con día (Koelmans *et al.*, 2019).

1.9 Lago de Chapala

El lago de Chapala se encuentra localizado entre los estados de Jalisco y Michoacán, en el centro occidente de México. Los municipios ribereños al lago son: La Barca, Jamay, Ocotlán, Poncitlán, Chapala, Jocotepec, Tuxcueca, Tizapán el Alto del Estado de Jalisco, y Cojumatlán de Régules, Venustiano Carranza y Briseñas del Estado de Michoacán (Lastiri *et al.*, 2016). Se caracteriza por ser el lago más grande en nuestro país y el tercero en toda Latinoamérica (Chávez, 1976).

El 02 de febrero del año 2009 se le otorgó el nombramiento como humedal de importancia internacional, sitio RAMSAR. Dicha categoría radica en que alberga especies endémicas de peces, y es un regulador ambiental para la región, además de ser fuente de alimento y trabajo para cientos de familias aledañas al lago. Asimismo, es el principal portador de agua a la Zona Metropolitana de Guadalajara (Moreno & García, 2017).

La fauna del Lago está compuesta por 39 especies, de las cuales 15 son comerciales, siendo de interés para esta investigación las siguientes especies: charal (*Chirostoma sp.*), carpa (*Cyprinus carpio*) y tilapia (*Oreochromis sp.*). Además, en el lago de Chapala existen diversas aves tanto residentes como migratorias durante todo el año, las cuales aumentan significativamente durante el invierno. También le destaca que mantiene poblaciones aproximadas de más de 20.000 habitantes (Cotler & Gutiérrez, 2005).

1.9.1. Especies de estudio del Lago de Chapala

Para efectos de estudio de esta investigación se tomaron en cuenta tres especies de peces: charal (*Chirostoma sp.*), carpa (*Cyprinus carpio*) y tilapia (*Oreochromis sp.*), las cuales son las de mayor consumo e impacto económico en la región.

Los charales (*Chirostoma sp.*) ocupan un 11% de la economía pesquera en el lago, mientras que la carpa (*Cyprinus carpio*) ocupa un 34% y la tilapia (*Oreochromis sp.*) un mayor rango con un 54%. La carpa y la tilapia son especies introducidas, mientras que el charal conforma al grupo de especies nativas que han caracterizado a la biodiversidad del lago, las cuales pueden ser visualizadas en la Figura 9 (Pedroza & Catalán, 2017).

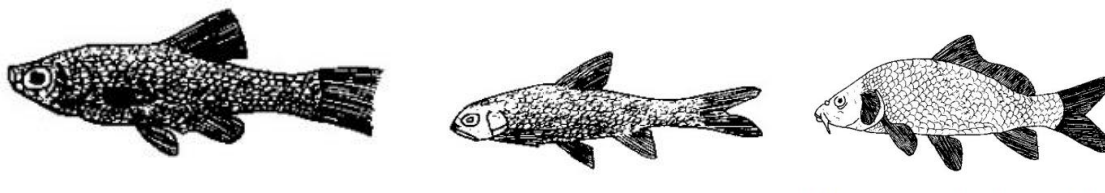


Figura 9. Especies de estudio: charal (*Chirostoma sp.*), carpa (*Cyprinus carpio*) y tilapia (*Oreochromis sp.*).

La tilapia (*Oreochromis sp.*) es caracterizada por tener hábitos alimenticios que van desde vegetación macroscópica hasta algas y bacterias, tendiendo hacia el consumo de zooplancton. Las tilapias son peces dotados de branqui-espinas con los cuales los peces pueden filtrar el agua para obtener su alimentación consistiendo en algas y otros organismos acuáticos microscópicos (Saavedra, 2006).

La carpa (*Cyprinus carpio*) es una especie omnívora, caracterizada por el consumo de una gran variedad de alimentos entre los que se encuentran insectos, zoo y fitoplancton, moluscos, rotíferos y larvas (Castellanos, 2018).

Los charales (*Chirostoma sp.*) son especies pequeñas de peces que se pueden considerar carnívoros primarios zooplanctófagos, es decir, se alimentan de zooplancton o algas microscópicas (Duvan, 2018).

II. ANTECEDENTES

Los seres humanos nos hemos y encontramos en una era en donde la mayoría de los productos son de vida útil muy corta, la mayoría de productos se desechan y terminan acumulándose, lo que trae como consecuencia su aparición en ecosistemas terrestres y acuáticos, parte de ello se debe a que nos encontramos en una “era de plástico”, en donde se ha producido un manejo inadecuado de desechos, un uso desmesurado e insostenible de plástico y todo esto ha perturbado los ecosistemas (Dong *et al.*, 2021).

Se ha descubierto contaminación microplástica en sistemas de agua dulce, como por ejemplo en el continente asiático, americano y europeo, por lo que su dispersión se ve ampliamente distribuida a nivel mundial. Estudios realizados, datan que los organismos ingieren MPS a través de cada uno de los niveles de la cadena trófica y por consiguiente terminan ingiriendo los seres humanos (Eerkes *et al.*, 2015).

Uno de los primeros trabajos realizados fue “Lost at Sea: ¿Where Is All the Plastic?” el cual fue publicado en el año 2004. Desencadenado de ello se han realizado diversos trabajos sobre este tema, pero la mayoría enfocados en la dinámica de los microplásticos en los océanos, por lo que la información en relación con sistemas de agua dulce como los lagos y los ríos es muy limitada.

Algunas investigaciones en el extranjero han medido la concentración de microplásticos y la composición del ensamblaje bacteriano en superficies naturales y los microplásticos presentes en agua de ríos en puntos donde se encuentran sitios de desagüe de PTAR (Plantas Tratadoras de Aguas Residuales). Los gránulos, fibras y fragmentos son los tipos de microplásticos dominantes, y los polímeros se identificaron como polipropileno, polietileno y poliestireno. (McCormick *et al.*, 2016).

Algunas otras investigaciones someten a estudio playas de Latinoamérica para analizar la contaminación microplástica presentes en ellas, donde por metro cuadrado se manifiestan alrededor de 500 fragmentos microplásticos (Purca *et al.*, 2017).

Otros trabajos evidencian que la práctica de lodos de aguas residuales, utilizada convencionalmente en suelos agrícolas como fertilizantes, es una fuente puntual de contaminación microplástica. Los microplásticos encontrados en este tipo de trabajos son las fibras o filamentos, las cuáles comúnmente proceden de material textil del lavado doméstico (Corradini, *et al.*, 2019).

Algunos de los pocos trabajos realizados en México constan en evaluar playas y el agua superficial de sus bahías, en donde se hace referencia a que las playas de México tienen una concentración de partículas microplásticas que oscila entre 2-10 partículas por kg de arena y respecto al agua se encuentran en mayor proporción residuos de PET (Tereftalato de Polietileno), provenientes de fragmentos y filamentos.

Existe un trabajo realizado recientemente y reconocido a nivel mundial, el cual presenta la primera evidencia de microplásticos en un lago de agua dulce del Ártico, de los cuales el 90% eran filamentos o fibras y se muestra la versatilidad de los microplásticos en el océano (Pleiter *et al.*, 2020). Estudios realizados en el Océano Pacífico han informado que más del 90% de los remolques contenían microplásticos, con observaciones similares en otros lugares. Un estudio recientemente publicado estimó que más de 5 billones de piezas de plástico están flotando actualmente en los océanos (Syberg *et al.*, 2015).

A continuación, se muestra una tabla nro. 2 y tabla nro. 3, donde se pueden sintetizar algunos antecedentes que dieron sustento a este trabajo de investigación.

Tabla 2. Antecedentes acerca de los MPs (Panorama general).

A NIVEL MUNDIAL			
*McCormick, et al.	“Microplastics in surface waters of urban rivers: concentration, sources and associated bacterial assemblages”	2016	Microplásticos: Filamentos en suelos Agrícolas de Chile.
*Corradini, et al.	“Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal”	2019	Microplásticos: Filamentos en Rios de E.U.A.; dónde existía MPs como sustrato los ensamblajes bacterianos tenían menor riqueza y diversidad.
*Henostroza, et al.	“Microplastic in four sandy beaches from Peruvian coast”	2017	Microplásticos: 522 Fragmentos por metro cuadrado, encontrados en playas de Perú.
*Yousef, et al.	“Fibers spreading worldwide: Microplastics and other anthropogenic litter in an Arctic freshwater lake”	2020	Primera evidencia de microplásticos (90% filamentos) en un lago de agua dulce del Ártico.
MÉXICO			
*Feliciano, et al.	“Presencia de microplásticos en playas de México”	2019	Por kg de arena en playas de Sinaloa oscilan alrededor de 2-10 partículas MPs entre fragmentos y filamentos.

Tabla 3. Antecedentes en lagos del mundo.

Año	País	Lago	Superficie (Km ²)	Criterio (µm)	Abundancia (partícula/K m ²)	Dominancia
2012	Suiza	Léman	580	>333	48,146	Fragmento
2013	USA	Superior	82,000	>333	5,391	Microesfera
		Huron	60,000	>333	2,779	Microesfera
		Erie	25,700	>333	105,503	Microesfera
2014	Mongolia	Hovsgol	2,760	>333	20,264	Fragmento

2016	Italia	Bolsena	114	>330	2.68-3.36 (partículas/m ³)	Fragmento
		Chiusi	3.9	>330	0.82-4.42 (partículas/m ³)	Fibra
2016	China	Taihu	2,000	>333	0.01×10 ⁶ - 6.8×10 ⁶	Fibra
2016	USA	Michigan	58,030	>333	17,000	Fragmento
2018	China	Dongting	2,500	>50	1,191.7 (partículas/m ³)	Fibra
		Hong	413	>50	2,282.5 (partículas/m ³)	Fibra
2018	Guatemala	Atilán	130	>330	128,763	Fragmento

Fuente: Tomado de De Tejada, 2019.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día, el agua, sedimento y peces del lago de Chapala están considerablemente degradados por la acumulación de diversas variedades de contaminantes emergentes, destacando entre ellos los microplásticos. Estos se encuentran presentes en una multitud de productos de higiene como cremas exfoliantes, pasta dental, jabones, en las fibras sintéticas de la ropa, entre otros. Debido a su diminuto tamaño son demasiado difíciles para ser eliminados por los sistemas de filtración de aguas residuales y por consiguiente terminan en todo tipo de cuerpo de agua, donde son ingeridos por peces y otras especies que residen en el lago de Chapala.

El lago cuenta con una gran diversidad de especies acuáticas, por lo que se convierte en una letal amenaza para ellas y por consiguiente para el consumo humano, por lo que trabajar con este tipo de contaminación es un reto para la tecnología actual. La presencia de microplásticos, perturba la cadena alimenticia natural al destruir el hábitat donde viven las especies acuáticas, causando una considerable disminución de estas. Además, tienen la capacidad de añadirse a otras sustancias tóxicas incrementando sus efectos adversos como por ejemplo la liberación de bisfenol, ftalatos, bifenilos policlorados entre otros.

IV. JUSTIFICACIÓN

El lago de Chapala juega un papel muy importante debido a que no solo es el cuerpo lacustre más grande de México, sino también en cuanto al rol económico del mismo, pues está bien comunicado y muy cerca de Guadalajara, una de las ciudades más grandes de la República, por lo cual su atractivo como centro turístico nacional y extranjero le hace crecer en su importancia, además tienen una considerable fuente de recursos pesqueros que hacen de Chapala uno de los más importantes de México. Sin embargo, por este motivo debería tenerse una correcta gestión del recurso hídrico para asegurar la conservación, calidad y mejor aprovechamiento del lago.

La contaminación de los recursos hídricos y la degradación de los ecosistemas acuáticos han sido un problema en constante crecimiento. Consecuencia de ello se ha visto reflejado comprometida la calidad del agua principalmente debido al vertimiento de aguas residuales y la mala gestión de los residuos sólidos, de dónde provienen principalmente todo tipo de microplástico presentes en el ecosistema.

Este trabajo de investigación busca identificar las partículas de microplásticos presentes en agua, sedimento y peces del Lago de Chapala; para de esta manera poder dar a conocer la situación actual de la contaminación microplástica y, por lo tanto, esto permitirá en un futuro, por ejemplo, proponer alguna solución o biorremediación a este problema.

V. HIPÓTESIS

El Lago de Chapala presenta microplásticos de diversas categorías, los cuales están vinculados con la actividad doméstica, comercial e industrial de la región Lerma-Chapala.

VI. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Identificar y clasificar los diferentes tipos de microplásticos presentes en las matrices de estudio del lago de Chapala.

6.2 Objetivos específicos

- 1) Identificar microplásticos en cada una de las zonas de muestreo y matrices (agua, sedimento y peces) del Lago de Chapala.
- 2) Clasificar microplásticos en cada una de las zonas de muestreo y matrices (agua, sedimento y peces) del Lago de Chapala.
- 3) Determinar el porcentaje de microplásticos en cada matriz del Lago.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Diagrama metodológico general de Investigación

El esquema general metodológico para esta investigación se presenta en la figura 10.

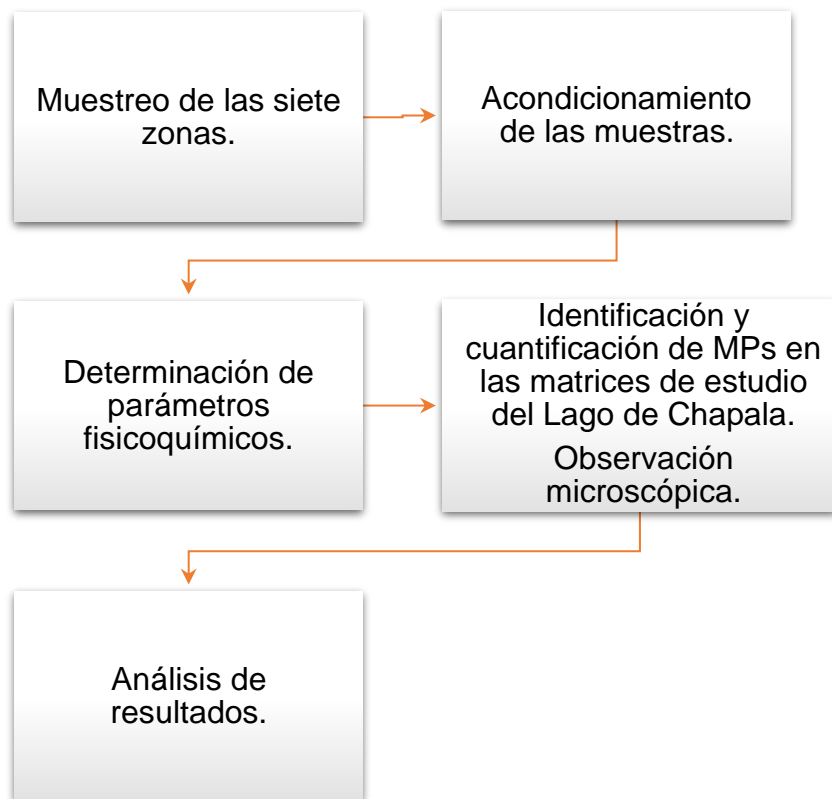


Figura 10. Diagrama general de metodología.

7.2 Zona de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Lago de Chapala, situado en la meseta central de México entre los estados de Jalisco y Michoacán con la siguiente ubicación: (20°19'48" N; 103°25'34" O), a una altura de 1520 msnm. (Pedroza & Catalán., 2017).

Su clima es templado con lluvias en verano, precipitación pluvial anual de 80 mm, y temperaturas que varían de 10.4 a 25.4 °C (Gutiérrez & Chavolla, 2018).

La superficie media del lago es de 1.112 km², con una profundidad máxima de 7-8 metros y una profundidad media de 4.5 metros.

El lago es localizado al oriente del estado de Jalisco y al noroeste del estado de Michoacán, tiene una superficie máxima de 114,659 ha, donde Jalisco ocupa un 86% y Michoacán el 14%, sus dimensiones extremas son de 79 km de este a oeste y 28 km de Norte a sur, las cuales se muestran en la Figura 11. (CEA Jalisco).



Figura 11. Ilustración del Lago de Chapala.

Fuente: CEA Jalisco 2020

7.3 Condiciones del muestreo

Para lo que respecta a la matriz del agua y sedimento se realizó una logística de investigación, la cual constó en la segmentación del lago en un total de 7 zonas (ver figura 12), cada una de ellas con 6 puntos de muestreo, es decir, que al final se recolectaron un total de 42 muestras.



Figura 12. Segmentación del Lago de Chapala en 7 zonas.

Fuente: Modificado de INEGI, 2020

Para la tercera matriz que respecta a los peces, se recolectaron las tres especies más representativas del lago de Chapala:

- Carpa (*Cyprinus carpio*)
- Tilapia (*Oreochromis sp.*)
- Charal (*Chirostoma sp.*)

Obteniendo 7 muestras de peces por cada especie, teniendo un total de 21 muestras para analizar.

Mencionadas especies se obtuvieron de los siguientes sitios de pesca:

- Tuxcueca
- Petatlán

-
- Ajijic
 - Mezcala
 - Chapala

7.4 Muestreo matrices de estudio

7.4.1 Agua

El muestreo se llevó a cabo a finales del mes de octubre del año 2020, correspondiente a la temporalidad de secas. Mencionado muestreo se realizó con la ayuda de una red de manta tipo Trawl, compuesta de 35 cm de alto y 15 cm de ancho. Para evitar errores en la medición la red fue lavada con agua del lago antes de la recolección para impedir el ingreso de algún otro tipo de residuos. Se obtuvo aproximadamente un litro de muestra de agua por punto de muestreo, posteriormente, se guardó en frascos ámbar de vidrio, rotulados con los datos correspondientes y se procedió al resguardo de estos en hieleras.

Para el análisis fisicoquímico “in situ”, realizado a las muestras de agua colectadas en las siete zonas de muestreo alrededor del lago en octubre del 2020; fueron medidos con ayuda del dispositivo impermeable: Multiparamétrico portátil YSY-Professional Plus (Ver Anexo Figura).

7.4.2 Sedimento

El muestreo se llevó a cabo a finales del mes de octubre del año 2020, correspondiente a la temporalidad de secas. Mencionado muestreo se realizó con la ayuda de una draga tipo Ekman para sedimentos blandos. Se obtuvo aproximadamente ½ kg de sedimento de la capa superficial por punto de muestreo, posteriormente, se guardó en frascos ámbar de vidrio, rotulados con datos los correspondientes y se procedió al resguardo de estos en hieleras.

7.4.2 Peces

Para la tercera matriz que respecta a los peces, el muestreo se llevó a cabo a finales del mes de febrero del año 2021, correspondiente a la temporalidad de secas. Se recolectaron las tres especies más representativas del lago de Chapala.

Mencionado muestreo se realizó con la ayuda del M.C. Héctor René Buelna Osben, el cual tiene gran experiencia en el adecuado manejo de la pesca en el lago.



Figura 13. Muestreo en el Lago de Chapala, octubre del 2020.

Fuente: Miriam Valencia

7.5 Preparación de las muestras

La preparación de las muestras se llevó a cabo en los laboratorios del CIIDIR IPN Unidad Michoacán, en donde para la matriz agua y sedimento, de las 42 muestras recolectadas en el Lago de Chapala, se procedió en laboratorio (ver figura 14) la obtención de un total 7 muestras compuestas para trabajar en sus posteriores análisis, las cuales se conservaron en frascos de vidrio color ámbar a una temperatura de refrigeración de 4° Centígrados.



Figura 14. Obtención en el laboratorio de muestras compuestas.

Fuente: Miriam Valencia

Para la matriz que respecta a los pescados, antes de someter las muestras a congelación se tomaron sus datos biométricos (peso y longitud) y se mantuvieron en congelación hasta su posterior análisis en laboratorio.

En el caso de la matriz sedimento y pescado, se realizó un previo acondicionamiento de las muestras por liofilización durante 72 y 48 horas respectivamente (ver figura 15), con el motivo de obtener muestra seca y poder trabajar en óptimas condiciones las matrices de estudio.



Figura 15. Liofilizado de muestras de las matrices de estudio.

Fuente: Miriam Valencia

7.6 Parámetros fisicoquímicos del agua

Para los análisis fisicoquímicos del agua se utilizaron las metodologías propuestas por la NMX-AA-034-SCFI-2015 y el Standard Methods for the Examination of Water, para los parámetros siguientes: pH y conductividad eléctrica, carbono inorgánico, fósforo, sulfatos, fosfatos, boro, carbonatos y bicarbonatos, cloruros, materia orgánica y dureza.

7.6.1 Obtención de microplásticos en agua

Para la obtención de microplásticos en la matriz agua, se utilizó la metodología adaptada de Métodos de Laboratorio para el Análisis de Microplásticos, propuesta por la NOAA en el año 2015, el cual se muestra en la siguiente figura.

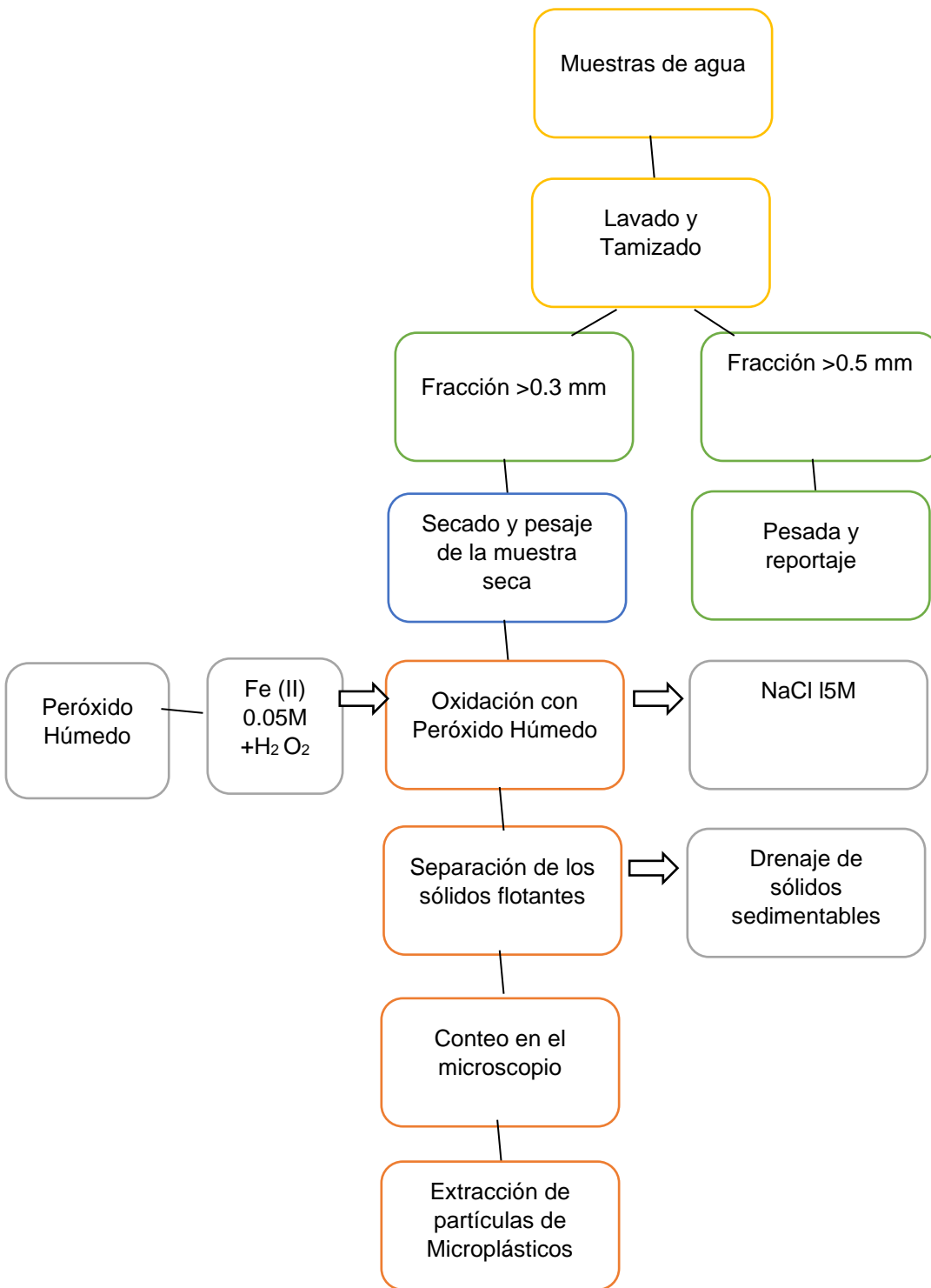


Figura 16. Diagrama general de proceso para microplásticos en muestras de agua.

*Tamizado de muestras

Inicialmente se pasaron las muestras de agua superficial a través de tamices de 5 mm, 1.1 mm y 0,3 mm según el punto de muestreo. Las muestras se colocaron en vasos de precipitado previamente tarados, para dejarlos en la estufa por 24 h a 90°C. Después se procedió a su pesaje para sacar el peso neto de la muestra.

*Digestión

A los vasos de precipitado con muestra seca se les colocó 20 ml de H₂O₂ al 30%. Se procedió a agitar sobre una plancha térmica a 75°C hasta que se degradara la materia orgánica, para el caso de las muestras contaminadas en donde la degradación no se dio en su totalidad se agregaron 10 ml más de H₂O₂, hasta que se degradó la materia orgánica por completo. Después se agregaron 5 ml de solución de NaCl 5M al vaso de precipitado en donde se agitó hasta su homogeneización.

*Separación

Se colocó la solución en un embudo de vidrio para la separación de microplástico basada en las diferentes densidades. La muestra se dejó en los embudos durante la noche para dar lugar a la separación de las partículas. Se desechó el material sedimentado y se recogió todo el material suspendido que son los microplásticos flotantes, estos se pasaron a través de filtros marca Whatman #42.

*Conteo

Se asignaron las 5 categorías mencionadas con anterioridad, las cuales son: Copos, fragmentos, filamentos o fibras, películas y esferas; los filtros Whatman posteriormente fueron analizados con la ayuda de un Microscopio-Estereoscópico de la marca Zeiss, para lograr el conteo e identificación de los microplásticos.

7.7. Parámetros fisicoquímicos del sedimento

Para los análisis fisicoquímicos del sedimento se utilizaron las metodologías propuestas por la NOM-021-SEMARNAT-2000, para los siguientes parámetros: pH, materia orgánica, carbono Inorgánico, carbono y nitrógeno total.

7.7.1 Obtención de microplásticos en sedimento

Los sedimentos previamente sometidos a liofilización fueron triturados en un mortero de porcelana para desintegrar fragmentos grandes que se formaron en el secado. Las muestras de sedimento seco se pesaron y se colocaron $5 \pm 0,01$ g en tubos de centrífuga de 50 ml. Se agregaron 20 ml de agua destilada a cada tubo y las muestras se agitaron a 21,000 rpm durante 30 s en el Vortex Genie 2. La alta velocidad utilizada permite que el sedimento se suspenda por completo. Las muestras se centrifugaron a 2,000 rpm durante 15 minutos y el sobrenadante se filtró usando un papel de filtro Whatman no.42 (retención $> 8\mu\text{m}$). Después 20 ml de cloruro de sodio (NaCl 5 M $\rho = 1.20 \text{ g cm}^{-3}$) se añadieron al precipitado, se agitaron y centrifugaron por segunda vez. El sobrenadante se filtró una vez más a través del mismo papel de filtro Whatman No.42 o a través de uno nuevo si el primero se obstruye. Si se reemplaza el filtro, el primer filtro se guarda en una caja de Petri para una inspección óptica. 20 ml de una solución concentrada de cloruro de zinc (ZnCl_2 5 M, $\rho = 1.55 \text{ g cm}^{-3}$) se añadieron a los tubos Falcón con el precipitado para una extracción final. Desde el ZnCl_2 la solución tiene una viscosidad más alta que las soluciones anteriores, las muestras se agitaron a 32,000 rpm durante 30 segundos. La centrifugación se realizó a 2000 rpm durante 15 minutos y el sobrenadante se filtró a través de un papel de filtro Whatman No. 42, teniendo en cuenta la indicación si está obstruido. Los papeles de filtro se guardaron en placas de Petri para inspección óptica. Después de la extracción microplástica, los filtros se inspeccionaron utilizando un microscopio estereoscópico.

Finalmente, el contenido se filtró en papel Whatman número 40, mismo que se expuso a secar en un horno a 50°C . Una vez terminado el procedimiento, se realizó la identificación de los microplásticos y se determinaron sus características (número, longitud, color y forma). (Corradini *et al.*, 2019).

7.8 Parámetros Fisicoquímicos de peces

Para los análisis fisicoquímicos de los peces se utilizó el Espectrofotómetro Unity Scientific Infrarrojo con Transformador (ver figura 17), para calcular los siguientes parámetros: Humedad%, Grasa%, Proteína% y Fibra%.

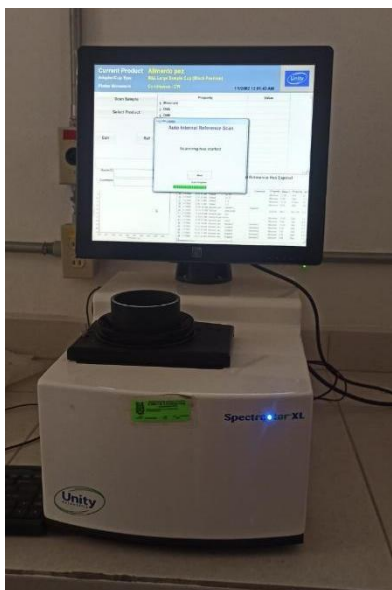


Figura 17. Espectrofotómetro Unity Scientific Infrarrojo con Transformador-CIIDIR.

Fuente: Miriam Valencia

7.8.1 Obtención de Microplásticos en peces

Los peces y tractos digestivos fueron descongelados a temperatura ambiente antes de la observación y extracción de los microplásticos. Para evitar la contaminación, las superficies de trabajo se limpiaron a fondo y se depuraron las manos. Se usaron guantes de nitrilo para la disección y manipulación de los especímenes, y para la extracción de los tractos digestivos. Asimismo, el material de disección se limpió entre muestra y muestra. En todo momento se evitó el uso de material plástico.

Los tractos gastrointestinales de los peces fueron inspeccionados y se colocaron inmediatamente en papel aluminio. Se recabaron medidas de longitud (cm) con una regla y de peso con una báscula electrónica Rhino. Dependiendo de la fragilidad de los tractos digestivos, se realizó el siguiente procedimiento: para desintegrar materia orgánica, si el tejido era resistente, se realizan lavados con agua destilada; en

contraste, si el tejido era frágil, se hacía digestión directamente con peróxido de hidrógeno al 30% de la marca J.T. Baker

Cada tracto digestivo se observó con detalle. Los elementos ingeridos que no eran similares a microplásticos fueron retirados con pinzas previamente higienizadas. Después de la inspección, los restos se transfirieron a círculos de papel filtro Whatman número 42, con diámetro de 90 mm, y una vez filtrados se secaron en un horno a menos de 50 °C por 24 horas. Una vez que los filtros estaban secos, se localizaron los microplásticos con un microscopio estereoscópico Zeiss y se registraron las características de color y forma. La cuantificación se realizó con el apoyo del software AxioVision. Los microplásticos fueron fotografiados y en la imagen capturada se sobrepuso una línea de medición calibrada a 540 megapíxeles = 1000 μm = 1 mm a través del programa AxioVision; además, con el programa se corroboró la forma (Karami *et al.*, 2017).

7.9 Análisis estadístico

Para los análisis estadísticos todas las pruebas se realizaron por triplicado de los diferentes parámetros evaluados.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) a los datos obtenidos y la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para determinar si el valor de la media de cada variable analizada variaba significativamente entre las pruebas. Todos los análisis se realizaron en los programas estadísticos: R, Metaboanalyst 5.0 y Minitab 17.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Características fisicoquímicas del agua

La interpretación de la matriz agua se realizó con base en la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015 y el standard methods for the examination of water and wastewater (APHA, 2005), que establecen las especificaciones para el análisis en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos con su respectiva desviación estándar, se presenta a continuación en la tabla 3, los cuales fueron realizados a las muestras de agua colectadas en las siete zonas de muestreo, algunos de ellos medidos con ayuda del dispositivo impermeable: Multiparamétrico portátil YSY- Professional-Plus.

Tabla 4. Resultados de variables fisicoquímicas del agua en el laboratorio.

VARIABLES	INTERPRETACIÓN
Temperatura (°C) 24.5 ± 0.24	25°C
pH 8.79	8.2-8.7
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) 914.66 ± 21.25	
Oxígeno Disuelto (mg/ml) 3.35 ± 0.21	7-8 mg/L
Sólidos Disueltos Totales (mg/L) 621.50 ± 3.87	150 mg/L
PSI Lb/In^2 12.31 ± 0.01	
Sulfatos SO_4^{2-} 1.60 ± 0.38	Rango bajo
Fosfatos PO_4^{3-} 2.21 ± 0.14	
Nitratos NO_3 . 13.55 ± 4.05	10 mg/L
Boro 0.12 ± 0.05	> 1.25 No recomendable
Carbonatos (CO_3 en meq/L) 0.44 ± 0.06	0.01 meq/L
Bicarbonatos (HCO_3 en meq/L) 2.7 ± 0.10	0.10 meq/L
Cloruros (Cl. en mg/L) 28.36 ± 0.2	141 mg/L
Dureza (CaCO_3 en mg/L) 217.5 ± 2.59	150-300 mg/L Agua Dura

Se presentan promedios \pm desviación estándar de las variables fisicoquímicas obtenidas en muestras de agua del Lago de Chapala, (n=42)

El lago de Chapala es un lago somero-turbio, caracterizado por tener una profundidad promedio de 4.08m, donde se puede observar respecto a la Temperatura expresada en grados centígrados, el registro de un valor constante, teniendo un valor más alto en la zona 7. La temperatura es una variable que juega un papel crucial para la degradación de partículas microplásticas, en el trabajo realizado por McCormick y colaboradores se argumenta que la temperatura es el principal e inicial agente en la descomposición de partículas de plástico por termodegradación (McCormick *et al.*, 2016).

El valor promedio obtenido de pH fue de 8.79, el cual nos indica que es un lago ligeramente alcalino. El oxígeno disuelto, valores muy bajos generalmente indican contaminación orgánica en el agua y valores muy altos indican una elevada productividad primaria del sistema, el cual fue menor en la zona 2 y mayor en la zona 7, según la normativa el agua del lago se encuentra en el rango de valores bajos, lo cual generalmente indica la contaminación orgánica existente en el agua. Esta variable es de las más importantes fisicoquímicamente hablando, ya que dependiendo de ella se puede dar o no soporte a la vida vegetativa y animal. Factores causales como los contaminantes orgánicos asociados con las descargas municipales y los desechos industriales, reducen las concentraciones de OD (oxígeno disuelto) (Orozco *et al.*, 2011).

Respecto a la conductividad el valor se encuentra considerado en un rango alto, lo que indica una mayor presencia de iones y sales disociadas, entre los cuales se encuentran iones como sodio, calcio, magnesio, bicarbonatos, sulfatos y cloruros.

El aumento respecto a la conductividad de lagos y ríos puede ser una consecuencia del calentamiento global. Esto se debe a que, con el incremento de la temperatura, la tasa de evaporación aumenta también, resultando un aumento en la concentración de iones en el agua (Loaiza, 2016).

Los sólidos disueltos totales, se relacionan con que básicamente van de la mano con la conductividad, que como se vio anteriormente de igual manera se encuentra en un nivel alto. Generalmente un valor alto de sólidos disueltos totales indica un incremento en la conductividad, ya que representa la suma de minerales, más

metales, más sales disueltas en el agua, los cuales fueron respectivamente iguales en las siete zonas de muestreo; además este parámetro podría explicar la apariencia turbia del agua del Lago de Chapala.

La presión PSI expresada en libras sobre pulgada cuadrada, indica la fuerza de arrastre con la que el agua es empujada en el sistema lacustre y por consiguiente la fuerza con la que los contaminantes existentes del lago son mezclados.

Los sulfatos tuvieron un valor bajo, mismos que tienen origen por la contaminación de aguas residuales tanto domésticas como industriales que desembocan al lago. El fósforo generalmente se encuentra en aguas naturales y residuales como fosfatos, el cual es favorable para micro y macroorganismos fotosintéticos ya que favorece su desarrollo y crecimiento.

Los nitratos tuvieron un valor alto, superando la normativa, lo que puede explicar la baja concentración de oxígeno en las siete zonas del lago. En cuanto al contenido de boro, el rango oscila entre los niveles bajos, ósea que el agua en cuanto a contenido de boro es aceptable, debido a que cuando se excede es muy tóxico para las plantas y organismos. Esto es de gran importancia debido a que generalmente el agua del lago es utilizada como agua de riego en la zona ciénega de Chapala.

De igual manera los carbonatos y bicarbonatos y cloruros no exceden el límite permisible por la norma. Finalmente, en dureza, el agua del lago se encuentra entre las aguas catalogadas como aguas duras, lo que indica un alto nivel de minerales, particularmente las sales de magnesio y de calcio.

De acuerdo con los valores obtenidos de la mayoría de las variables analizadas fueron mayores en la zona 7, los valores tienen lógica debido a que la zona 7 es considerada altamente turística, esta se encuentra ubicada entre los pueblos de Jocotepec y Ajijic pertenecientes al estado de Jalisco.

Se puede concluir que la mencionada zona es la que cuenta con un nivel mayor de eutrofización, la cual fue evidente en el agua cuando se realizó el muestreo. (ver figura 18).



Figura 18. Eutrofización en la zona 7.

Fuente: Miriam Valencia

Por otra parte, las variables que inducen la degradación de partículas plásticas en partículas de menor tamaño, además de la temperatura, se encuentra las corrientes en el agua, la salinidad, la intemperización, la disponibilidad de oxígeno, y los posibles los ataques por medio de la biota (Arias & Vásquez, 2018).

En la tabla 5., se muestran los valores obtenidos con la prueba Tukey en el programa Minitab 17 de las variables fisicoquímicas del agua.

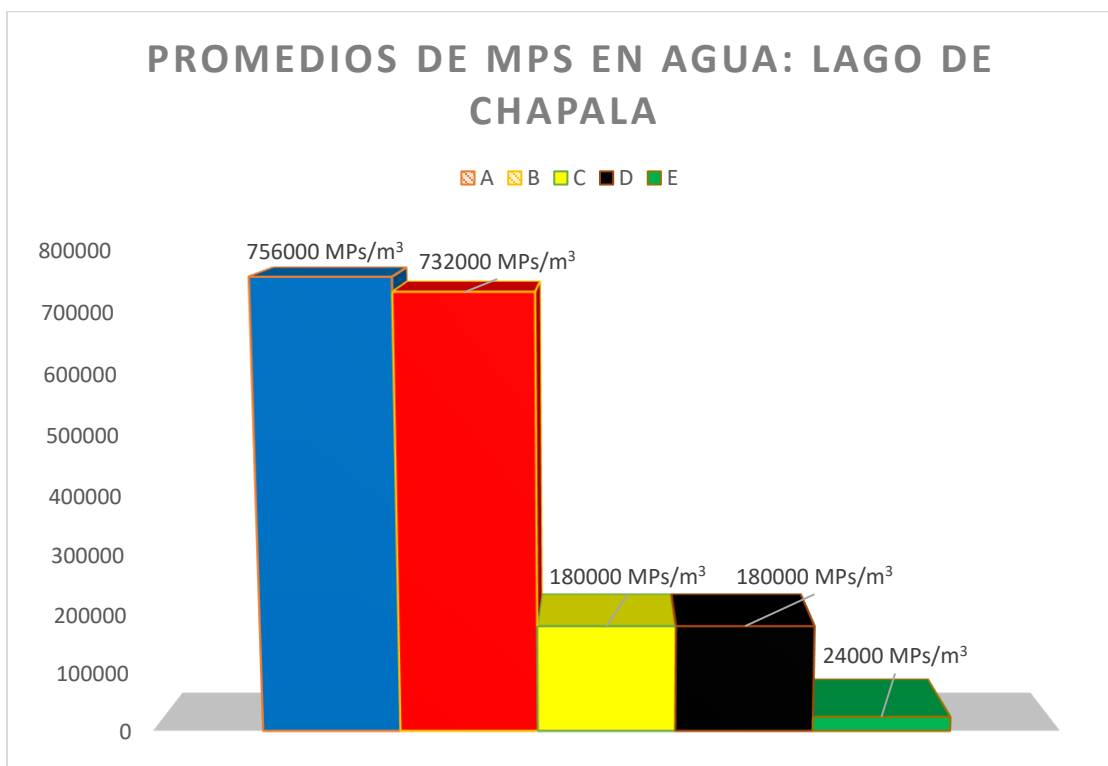
Tabla 5. Valores obtenidos en prueba Tukey

ZON A	PARÁMETRO								
	pH	CE	Cl mg/L	Dureza meq/L	CO ₃ ⁻ meq/L	HCO ₃ ⁻ meq/L	Boro mg/L	CTI %	SO ₄ ²⁻ mg/L
Z1	7.54 ^a ± 0.01	747.00 ^c ± 24.25	28.624 ^b ± 0.28	215 ^a ± 0.0	0.56 ^a ± 0.0	2.76 ^a ± 0.0	0.16 ^a ± 0.0	1.56 ^c ± 0.53	1.30 ^d ± 0.0
Z2	7.44 ^b ± 0.04	457.15 ⁱ ± 2.75	28.6903 ^b ± 0.28	218.33 ^a ± 2.89	0.48 ^b ± 0.0	2.75 ^a ± 0.0	0.18 ^{ab} ± 0.23	1.56 ^c ± 0.26	1.82 ^b ± 0.0
Z3	7.51 ^a ± 0.00	523.50 ^e ± 0.50	28.640 ^b ± 0.16	215 ^a ± 0.0	0.40 ^d ± 0.0	2.74 ^a ± 0.01	0.12 ^{bc} ± 0.0	2.49 ^{ab} ± 0.27	1.30 ^d ± 0.01
Z4	7.24 ^d ± 0.01	735.50 ^{cd} ± 0.50	26.700 ^c ± 0.17	218.33 ^a ± 2.89	0.38 ^d ± 0.02	2.68 ^a ± 0.0	0.13 ^{bc} ± 0.26	2.18 ^{abc} ± 0.27	1.25 ^d ± 0.08
Z5	7.27 ^d ± 0.01	719.00 ^d ± 1.00	26.7335 ^c ± 0.11	220 ^a ± 0.0	0.44 ^c ± 0.0	2.68 ^a ± 0.03	0.10 ^c ± 0.12	2.81 ^a ± 0.0	1.54 ^c ± 0.0
Z6	7.37 ^d ± 0.01	891.33 ^b ± 1.15	28.650 ^b ± 0.23	220 ^a ± 0.0	0.44 ^c ± 0.0	2.68 ^a ± 0.01	0.10 ^c ± 0.12	2.02 ^{abc} ± 0.27	2.04 ^a ± 0.0
Z7	7.55 ^a ± 0.02	943.33 ^a ± 5.77	29.7787 ^a ± 0.0	216.67 ^a ± 2.89	0.40 ^d ± 0.0	2.59 ^a ± 0.18	0.08 ^c ± 0.10	1.8 ^{bc} ± 0.0	2.07 ^a ± 0.02

Los valores representan la media de tres repeticiones y su desviación estándar. En cada fila letras diferentes representan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

8.2 Microplásticos en el agua

En el gráfico correspondiente a la figura 19, se presenta el conteo de los microplásticos (MPs) totales de las muestras de agua del Lago de Chapala, en el cual, los colores más predominantes fueron azul y rojo con una cifra de 756, 000 MPs/m³ y 732, 000 MPs/m³ respectivamente.



A = color azul; B= color rojo; C= color amarillo; D= color negro; E= color verde. Resultados expresados por unidad de volumen: m³ de agua del Lago de Chapala.

Figura 19. Microplásticos (MPs) encontrados en el agua del Lago de Chapala.

Trabajos con investigaciones similares de igual manera han reportado microplásticos en todas las muestras obtenidas, por ejemplo, Fisher colaboradores registraron en lagos al norte de Italia, y Faure y colaboradores en un lago suizo (De Tejada, 2016).

La abundancia media de partículas de microplástico fue de 123,599.9 km⁻², un valor más alto que el registrado en otros lagos donde se utilizó una metodología de identificación y características de la red similares. La abundancia de

microplástico reportada para otros lagos del mundo y citados en la sección de antecedentes (cuadro 2), es aventajada por el valor encontrado en esta investigación en el Lago de Chapala. El dato que tiene más similitud es el del lago de Atitlán, seguido por el del lago Erie en Estados Unidos con 128,763 y 105,503 partículas km^{-2} , respectivamente. Para este último se reporta un valor máximo de 466,000 partículas km^{-2} , que también es superado por las 823,847 partículas km^{-2} (Erkes *et al.*, 2015).

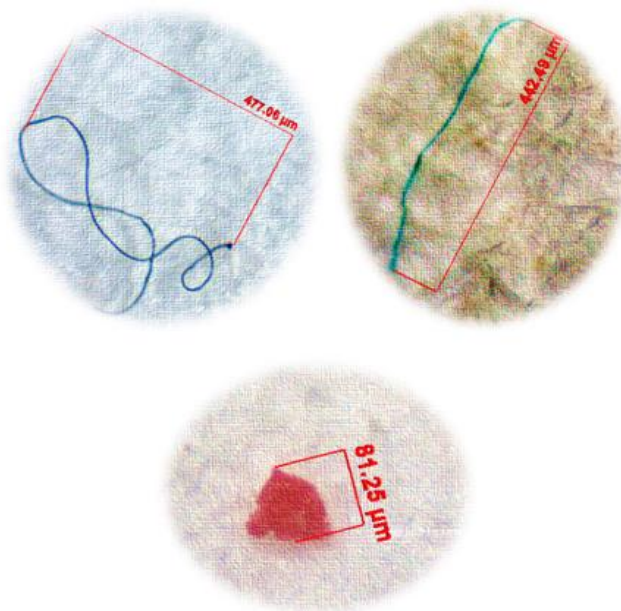


Figura 20. Visualización microscópica de los microplásticos encontrados en el agua.

8.3 Características fisicoquímicas del sedimento

En la tabla 7, se presentan las variables fisicoquímicas del sedimento donde basado en la normativa NMX-AA-112-1995-SCFI, en cuanto le respecta a la normatividad es ligeramente salino, en el pH indica que se encuentra en un estado alcalino, lo que indica la presencia de nutrientes no solubilizados, el valor del nitrógeno se encuentra en un rango bajo con respecto al carbono total que oscila dentro de un rango intermedio, lo cual impide la degradación de algunos compuestos sensibles a la luz, pero al interactuar la materia orgánica con micro o macroplásticos acelera la fragmentación y degradación de partículas plásticas.

Tabla 6. variables fisicoquímicas del sedimento.

VARIABLES	INTERPRETACIÓN
Conductividad Eléctrica (dS/m) 1.24 ± 0.1	1.1-2 Ligeramente salino
pH 7.60 ± 0.02	7-8
Carbono Total (%) 2.59 ± 0.48	1.6- 3.5 rango medio
Nitrógeno (%) 0.15 ± 0.04	<0.5 muy bajo
Materia orgánica (%) 3.55 ± 0.5	<3.6 medio, >3.6 alto

Se presentan promedios \pm desviación estándar de las variables fisicoquímicas obtenidas en muestras de agua del Lago de Chapala, (n=42)

En la figura 21, se muestra el gráfico obtenido de aplicar un Análisis de componentes principales (PCA), donde con base a las variables fisicoquímicas de la matriz sedimento, se puede notar la similitud existente entre los datos existentes de las siete zonas. Existe una división de cuatro grupos; el primer y más alejado de los demás grupos es la zona 1, debido a que, respecto a las variables fisicoquímicas de pH, conductividad eléctrica y la materia orgánica, constituyen los valores más altos, después se observa un segundo grupo que alberga la zona 2 y zona 3 al ser relativamente similares en todas las variables fisicoquímicas. El tercer grupo aloja la zona 4 y un cuarto y último grupo que aloja la zona 5,6, y 7, las cuales de igual manera son relativamente similares entre todas las variables fisicoquímicas.

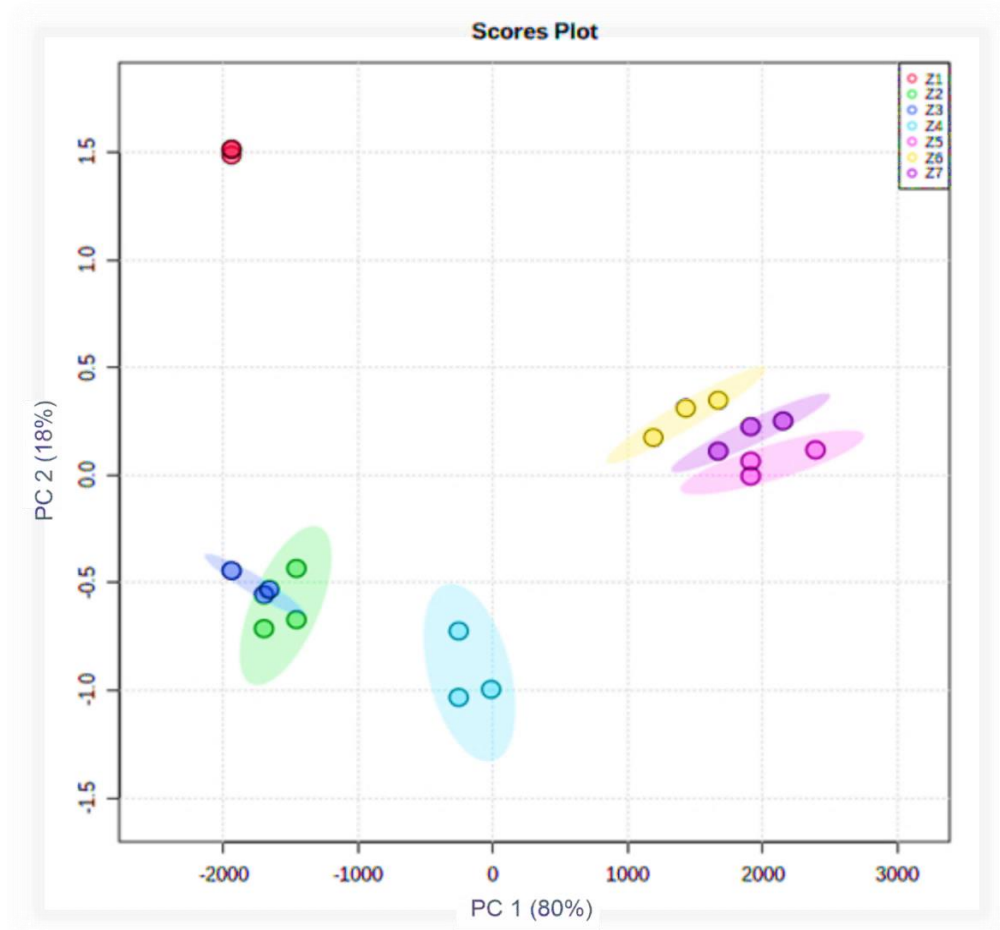
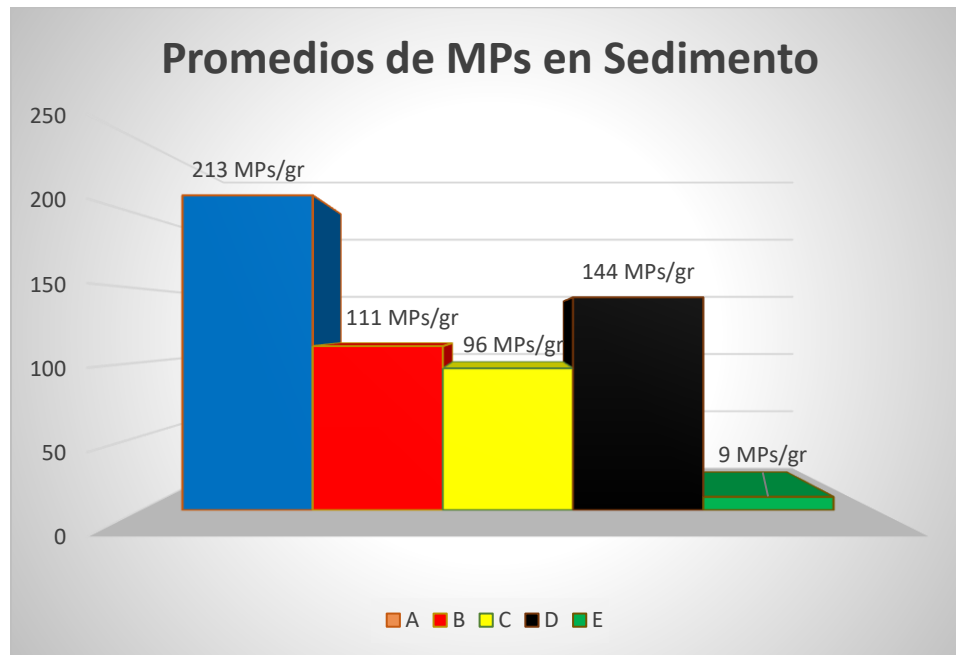


Figura 16. Análisis de Componentes Principales de las variables fisicoquímicas del sedimento.

8.4 Microplásticos en el sedimento

En el gráfico correspondiente a la figura 17, se presenta el conteo de los microplásticos (MPs) totales de las muestras de sedimento del Lago de Chapala, en el cual, los colores de mayor predominio fueron el azul y el rojo con un total de 213 MPs/gr y 144 MPs/gr respectivamente. Estos resultados coinciden con lo hallado en investigaciones realizadas en lagos de China (Liu *et al.*, 2020) y en un estuario mexicano, donde se encontró una proporción mayor de microplásticos a las que se esperaban (Hernández, 2018).



A = color azul; B= color rojo; C= color amarillo; D= color negro; E= color verde.

Figura 21. Microplásticos (MPs) encontrados en el agua del Lago de Chapala.

De esta manera, los microplásticos más ligeros permanecen en la columna de agua o en las aguas superficiales, mientras que los polímeros de mayor densidad, o los posibles colonizados por microorganismos, se hunden hacia el fondo quedando retenidos en los sedimentos. Incluso los polímeros de baja densidad como el polietileno y el propileno, que en principio flotan, pueden perder la flotabilidad mediante la formación de agregados (Sánchez, 2018).

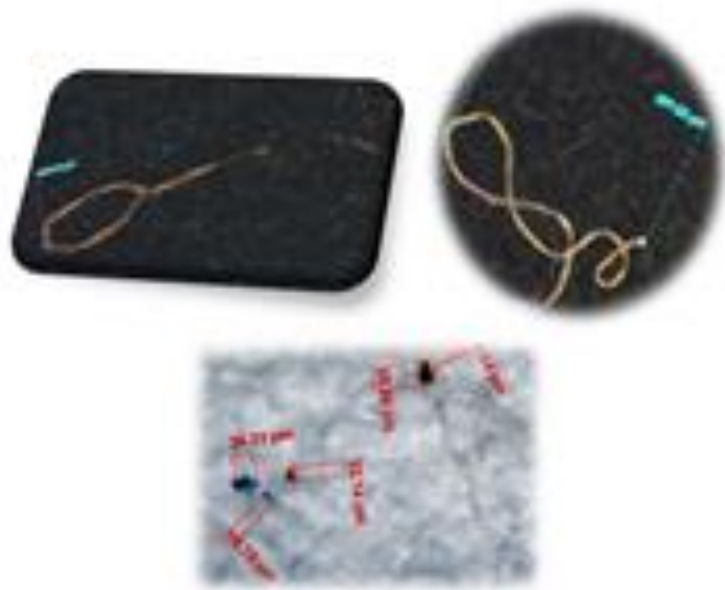


Figura 22. Visualización microscópica de los microplásticos encontrados en el sedimento.

8.5 Características fisicoquímicas de los peces

En la tabla 7, se presentan las variables fisicoquímicas de las tres especies de peces analizados: Carpa (*Cyprinus carpio*), Tilapia (*Oreochromis sp.*) y Charal (*Chirostoma sp.*), con su respectiva desviación estándar, respecto a la humedad las especies correspondientes a carpa y tilapia presentaron un rango de humedad similar y la especie correspondiente al charal presentó un mayor valor en humedad. Respecto al contenido de grasa la especie que presentó un mayor contenido fue la tilapia, por consiguiente, de la carpa y la especie que menor contenido de grasa obtuvo fue la especie correspondiente al charal. El valor del contenido proteico mayor fue en la especie respectiva a la carpa, después le prosigue la tilapia y por último se encuentra el charal. Cabe mencionar que las especies de carpa y tilapia son especies introducidas al lago de Chapala, mientras que la especie de charal es una especie nativa y representativa del lago de Chapala.

Tabla 7. Variables fisicoquímicas de los peces.

ESPECIE	HUMEDAD (%)	GRASA (%)	PROTEÍNA (%)
Carpa (<i>Cyprinus carpio</i>)	5.50 ± 0.25	5.39 ± 2.34	64.28 ± 0.50
Tilapia (<i>Oreochromis sp.</i>)	5.51 ± 0.50	8.20 ± 2.30	64.15 ± 0.60
Charal (<i>Chirostoma sp.</i>)	6.14 ± 0.35	3.64 ± 0.60	63.29.15 ± 0.30

Promedios de las variables fisicoquímicas de los pescados con su respectiva \pm desviación estándar de las tres especies analizadas del Lago de Chapala

En la tabla 8, se presentan los datos biométricos de los pescados de las tres especies analizadas: Carpa (*Cyprinus carpio*), Tilapia (*Oreochromis sp.*) y Charal (*Chirostoma sp.*).

Los datos señalan que las especies analizadas de charal son los que tienen los datos biométricos menores, después le prosigue la tilapia y la especie con los mayores datos biométricos fueron las especies correspondientes a las carpas. Cabe mencionar que la mayoría de los pescados fueron hembras en las 3 especies estudiadas, las cuales contaban con un mayor peso y longitud.

Tabla 8. Datos Biométricos de los peces.

ESPECIE	LONGITUD (cm)	PESO (gr)	TRACTO GASTROINTESTINAL PESO (gr)
Carpa (<i>Cyprinus carpio</i>)	29.1 ± 5.10	423.8 ± 379.37	9.2 ± 3.70
Tilapia (<i>Oreochromis sp.</i>)	22.2 ± 5.51	216.2 ± 129.54	5.8 ± 0.84
Charal (<i>Chirostoma sp.</i>)	8.5 ± 0.87	4.8 ± 1.79	1.1 ± 0.22

Promedios de los datos biométricos de los pescados con su respectiva ± desviación estándar de las tres especies analizadas del Lago de Chapala

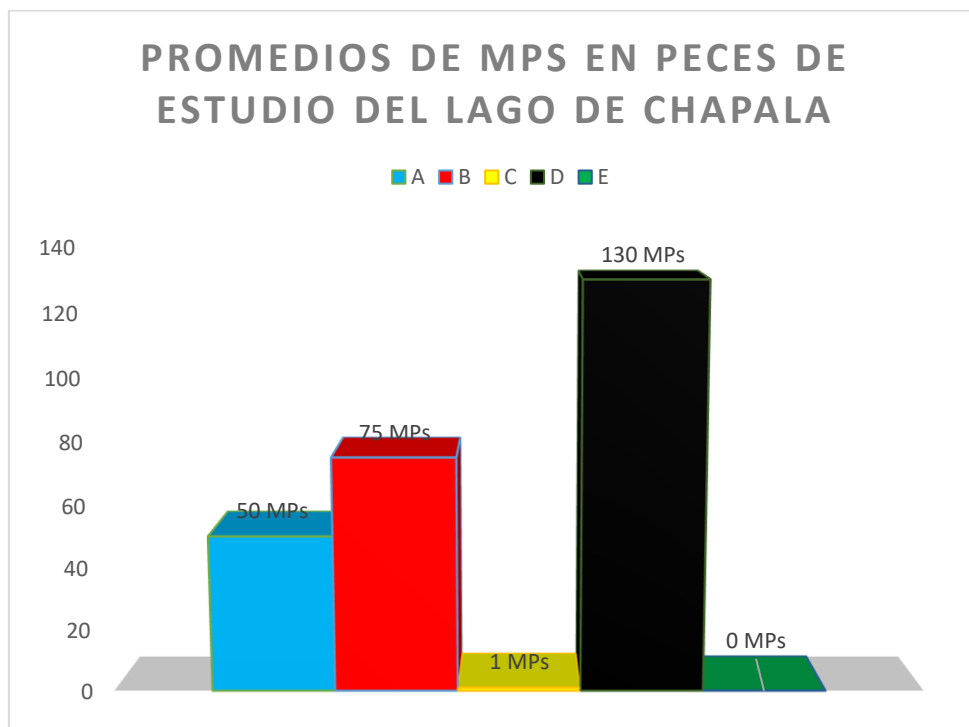


Figura 23. Mediciones Biométricas de los peces.

Fuente: Miriam Valencia

8.6 Microplásticos en peces

En el gráfico correspondiente a la figura 20, se presenta el conteo de los microplásticos (MPs) totales de las muestras de las tres especies de estudio de peces: Carpa (*Cyprinus carpio*), Tilapia (*Oreochromis sp.*) y Charal (*Chirostoma sp.*).



A = color azul; B= color rojo; C= color amarillo; D= color negro; E= color verde.

Figura 24. Microplásticos (MPs) encontrados en especies de estudio del Lago de Chapala.

Los peces que contaron con mayor peso y tamaño son indicadores generalmente de mayor suministro de alimento, lo que se comprobó al analizar el contenido de elementos microplásticos, debido a que existía un mayor número de estas partículas en el contenido gastrointestinal, para este caso las especies de peces correspondientes a la Carpa (*Cyprinus carpio*). Esta especie suele tener mayor contacto con el sedimento por lo que la interacción con este tipo de contaminantes existentes en el Lago de Chapala.

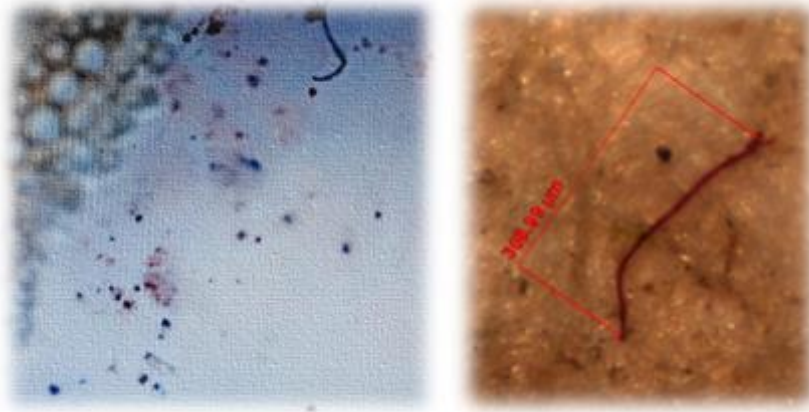


Figura 25. Visualización microscópica de los microplásticos encontrados en peces.

8.7 Microplásticos Totales

En la figura 23, se presenta un gráfico con la frecuencia del tamaño de los microplásticos totales encontrados en las tres matrices de estudio: sedimento, agua y peces del Lago de Chapala, dónde 536 MPs tienen una longitud de 0 a 100 micrómetros, 230 MPs de 100 a 200 micrómetros, 253 MPs de 200 a 300 micrómetros, 11 MPs de 300 a 400 micrómetros, 94 MPs de 400 a 500 micrómetros, 44 MPs de 500 a 600 micrómetros, 3 MPs de 600 a 700 micrómetros, 1 MPs de 700 a 800 micrómetros, 6 MPs de 800 a 900 micrómetros, 6 MPS de 900 a 1000 micrómetros, 2 MPS de 1000 a 1100 micrómetros, 2 MPs de 1100 a 1200 micrómetros, ningún MPs encontrado de 1200 a 1300 micrómetros, 1 MPs de 1300 a 1400 micrómetros y 8 MPs de 1400 a 1500 micrómetros. Lo mencionado con anterioridad evidencia el diminuto tamaño que tienen los microplásticos, los cuales fueron encontrados en su mayoría con una longitud frecuente que oscila entre los cero y cien micrómetros.

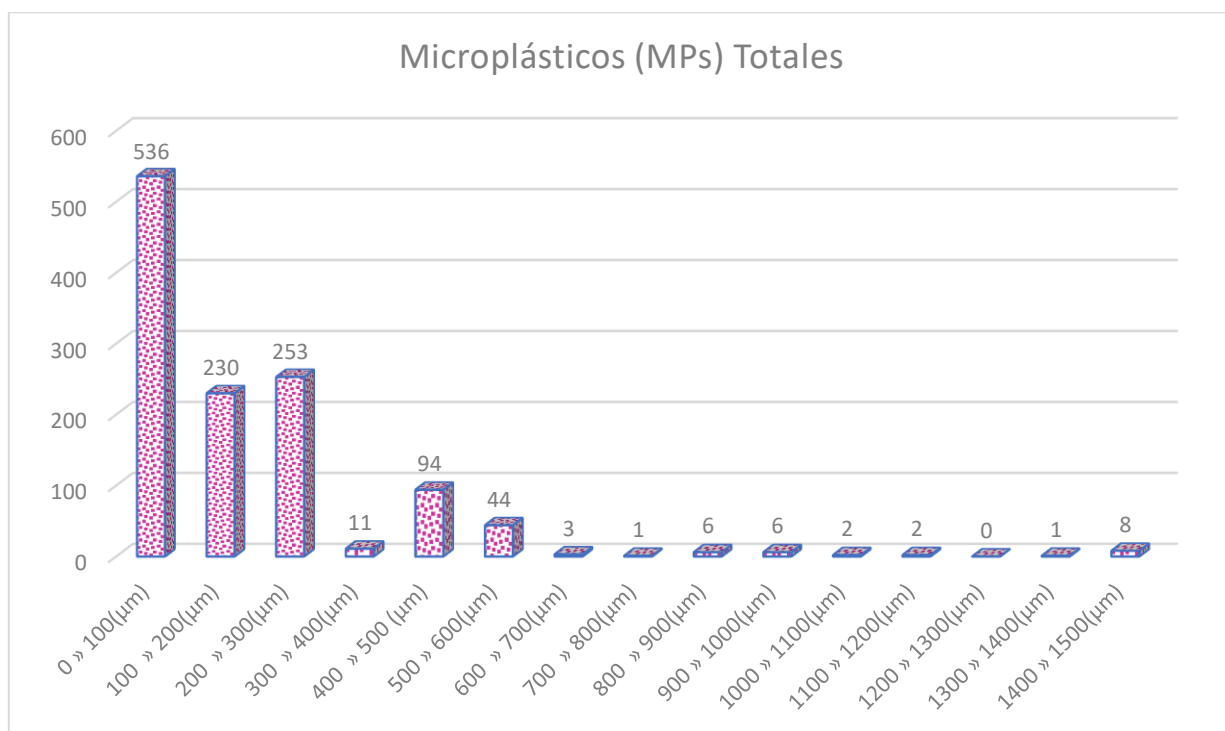


Figura 26. Frecuencia del tamaño de Microplásticos de las 3 matrices de estudio.

En la figura 27, se presenta el análisis colorimétrico con sus respectivos porcentajes por contaminación microplástica en el Lago de Chapala, encontrada en sus tres matrices de estudio: sedimento, agua y peces.

Los colores presentados en el gráfico fueron derivados de microplásticos catalogados como filamentos, fragmentos y copos; los cuales se obtuvieron en la caracterización morfológica por examinación óptica. Bejarano en el año 2018, argumenta que mencionadas categorías, respecto al color azul encontrado en un 36%, el color rojo en un 29%, el color negro en un 22% y el color amarillo en un 12%; se deben a que son microplásticos conformados principalmente por compuestos como el Polietileno, Nylon, Policloruro de vinilo, Poliestireno y Tereftalato de Polietileno; provenientes principalmente de bolsas plásticas, botellas, tapas de botellas, prendas de vestir y exfoliantes faciales.

En su universalidad las muestras obtenidas de las tres matrices de estudio mostraron contaminación microplástica. Esto coincide con los diversos estudios analizados, los cuales han demostrado que la variedad de microplásticos existentes son un contaminante sempiterno y ubicuo (Eriksen *et al.*, 2014).

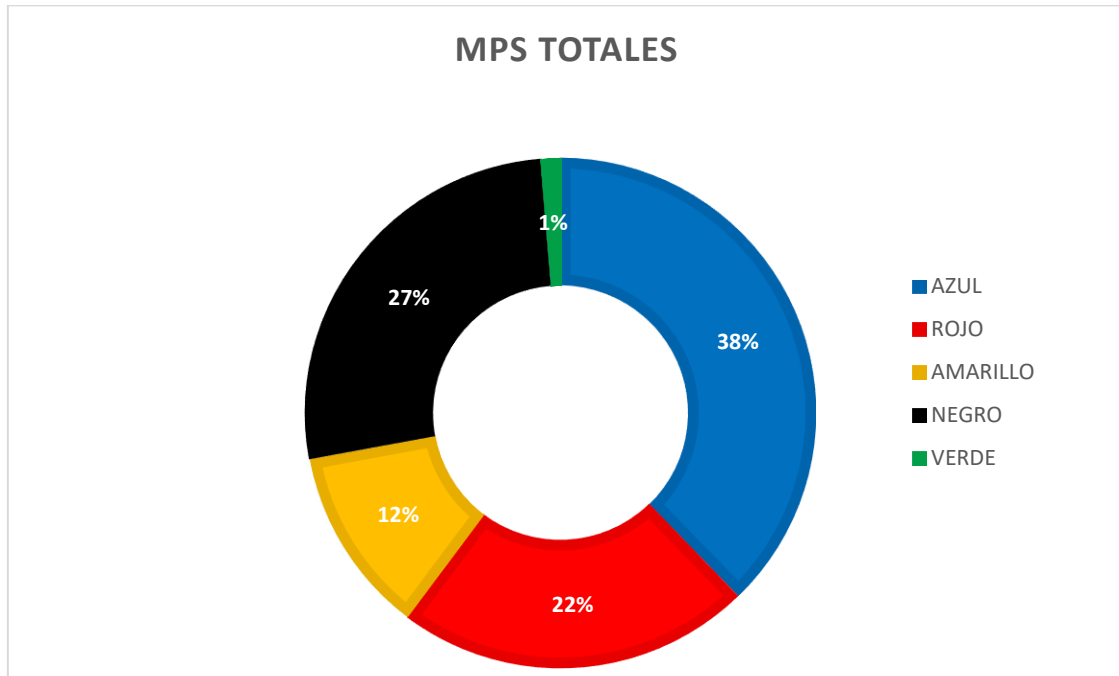


Figura 27. Gráfico de porcentajes colorimétricos de los MPs encontrados con mayor frecuencia en las 3 matrices de estudio.

En el siguiente esquema de embudo se presenta el conteo total de partículas de microplásticos (MPs), encontrados por las categorías de estudio de las 3 matrices del Lago de Chapala. Con respecto a la categoría correspondiente a fibras o filamentos, se encontraron en mayor proporción con un valor total de 593 MPs, en la categoría de fragmentos un total de 498 MPs, en la categoría de copos un total de 92 MPs y en la categoría de esferas en menor proporción con un total de 14 MPs.



Figura 28. Gráfico de embudo de los MPs por categoría encontrados en las 3 matrices de estudio del Lago de Chapala.

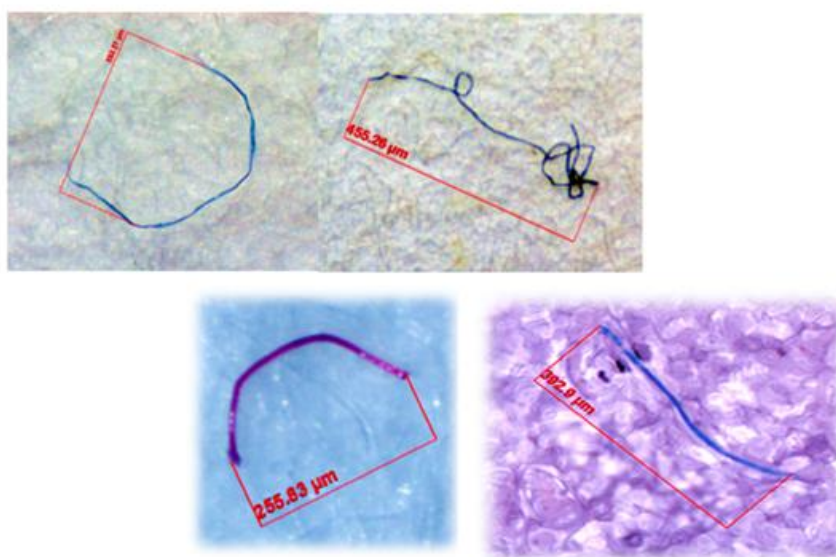


Figura 29. Microplásticos de mayor predominio en forma de fibra.

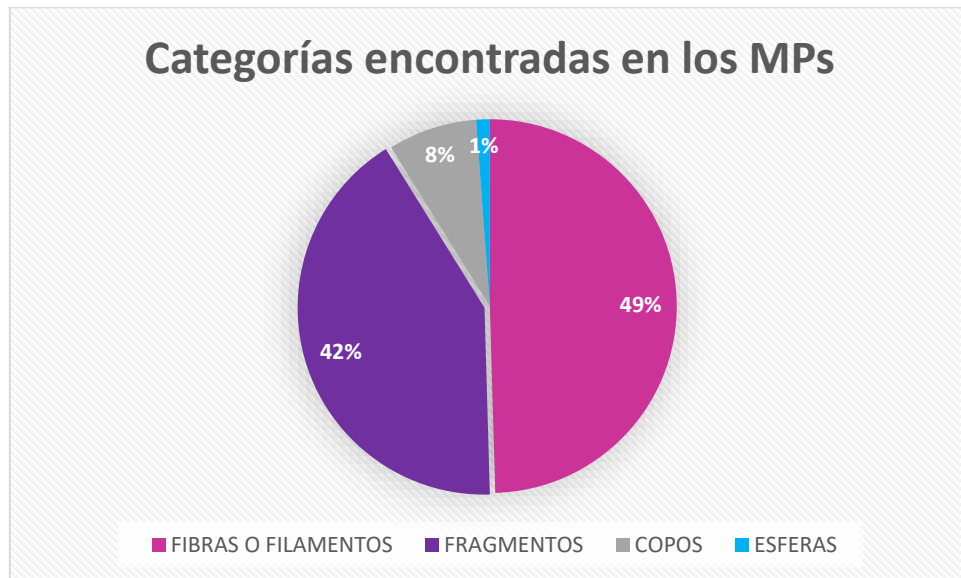


Figura 30. Porcentaje de las categorías microplásticas encontradas.

Las fibras o filamentos de origen sintético suelen provenir de la degradación de textiles y la fuente principal son las aguas grises de origen doméstico. Se ha determinado que una sola prenda de ropa sintética puede liberar hasta 1900 fibras plásticas por ciclo de lavado en lavadora (Browne *et al.*, 2007).

La segunda categoría con mayor frecuencia fueron los fragmentos, los valores de este tipo de microplástico indican como fuente a los desechos sólidos que están siendo vertidos. Lo anterior coincide con lo reportado por De Tejada, quien describe que, en la mayoría de los lagos, las prácticas de manejo de desechos sólidos son inadecuadas (De Tejada, 2016). Además, durante el muestreo se pudo observar desperdicios plásticos flotantes en las orillas y puntos centrales del lago (ver figura 31), particularmente en las zonas más pobladas. Tomando esto en consideración, tiene sentido que el número de fragmentos por muestra también haya sido elevado.



Figura 31. Muestreo del Lago de Chapala en octubre del 2020.

A continuación, en la figura 32 se presenta un mapa de calor donde se presentan los datos de los microplásticos totales encontrados, representados en colores indicando el nivel de actividad de los datos registrados, en donde los colores mostrados a “Class”, hacen referencia a las siete zonas de estudio, divididas en pequeños subgrupos por los colores más representativos situados al costado derecho del mapa con letras mayúsculas sobre de la contaminación microplástica en el Lago de Chapala.

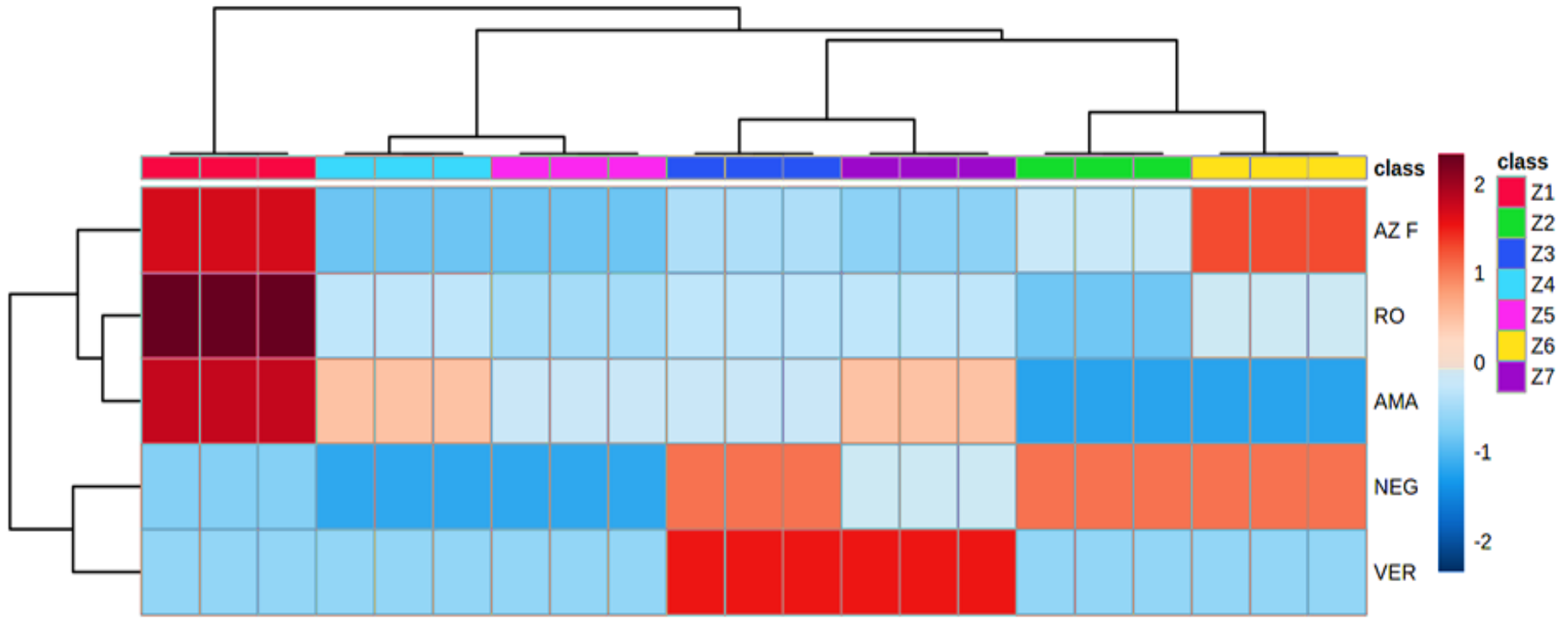


Figura 32. Mapa de calor de los microplásticos encontrados en el Lago de Chapala.

IX. CONCLUSIONES

Este trabajo de investigación es el primero en proporcionar el primer registro de microplásticos presentes en el lago de Chapala.

La forma más común de microplásticos fue la esperada: fibras o filamentos en las tres matrices de estudio. Los colores de mayor predominio fueron el rojo, negro y azul de lo que se puede concluir indudablemente que las fuentes de microplásticos más probables en el lago son: fibras textiles, redes, botellas de agua, bolsas desechables, llantas y taparroscas principalmente.

Dada la alta abundancia de microplásticos y su peculiaridad de absorber otras sustancias tóxicas y capacidad de bioacumularse, la salud del ecosistema del Lago de Chapala se encuentra en riesgo, así como la de los seres humanos. Es necesario darle continuidad a este trabajo para poder dar alternativas de solución a la existencia de este tipo de contaminación en cuerpos de agua dulce como los lagos y los ríos de nuestro país, ya que los microplásticos son compuestos peligrosos tanto para el medio ambiente como para los seres humanos.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, J. C., Park, B. J., & Palace, V. P. (2016). Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian ecosystems. *Environmental Pollution*, 218, 269–280. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.074>
- Bläsing, M., & Amelung, W. (2018). Plastics in soil: Analytical methods and possible sources. *Science of the Total Environment*, 612(01), 422–435. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.086>
- Bollaín Pastor, C., & Vicente Agulló, D. (2019). Presencia de Microplásticos en Aguas y su Potencial Impacto en la Salud Pública. *Revista Española de Salud Pública*, 93(02), 1–10. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272019000100012
- Browne, M. A., Galloway, T., Thompson, R., & Chapman, P. M. (2007). Learned Discourses. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 3(4), 559–561.
- Cabrera, M. (2019). Evaluación de la estación depuradora de agua residual (edar) el trocadero del municipio puerto real como ruta de entrada de microplástico al medio acuático. *UNIVERSIDAD DE CÁDIZ*, 01(July 2018), 65.
- Castañeta, G., Gutiérrez, A. F., Nacaratte, F., & Manzano, , Carlos A. (2020). Microplastics: a Contaminant That Grows in All Environmental Areas, Its Characteristics and Possible Risks To Public Health From Exposure. *Revista Boliviana de Química*, 37(3), 160–175. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.37.3.4>
- Castelán, H. Q., Zúñiga, L. M. M., Astudillo, I. M., & Rodríguez, J. G. (2004). Variación de los Organismos Fitoplanctónicos y la Calidad del Agua en el Lago de Chapala, Jalisco, México. *Acta Universitaria*, 14(1), 09.
- Castellanos Echeverría, F. (2018). La Carpa Herbívora Triploide (Ctenopharyngodon idella) Como Medio de Control de Malezas Acuáticas. *CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR*, 4, 35.

-
- Chávez, E. A. (1976). Datos hidrobiológicos del lago de Chapala, Jalisco. *Laboratorio de Ecología Marina Depto. de Zoología. Escuela N. de Ciencias Biológicas, I.P.N.*, 34, 16.
- Cole, M. (2016). OPEN A novel method for preparing microplastic fibers. *Nature Publishing Group*, 01, 1–7. <https://doi.org/10.1038/srep34519>
- Corradini, F., Meza, P., Eguiluz, R., Casado, F., Huerta-Iwanga, E., & Geissen, V. (2019). Science of the Total Environment Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal. *Science of the Total Environment*, 671, 411–420. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.368>
- Corradini, F., Meza, P., Eguiluz, R., Casado, F., Huerta-Lwanga, E., & Geissen, V. (2019). Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal. *Science of the Total Environment*, 671, 411–420. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.368>
- Cotler, H., & Gutiérrez, S. (2005). Inventario y evaluación de las presas en la cuenca Lerma-Chapala. *Instituto Nacional de Ecología México*, 1–16. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Inventario+y+evaluaci?n+de+presas+de+la+Cuenca+Lerma++Chapala#0>
- De Anda, J., & Maniak, U. (2007). Modificaciones en el régimen hidrológico y sus efectos en la acumulación de fósforo y fosfatos en el Lago de Chapala , México. *Acta Universitaria*, 2(02), 07.
- De Souza Machado, A. A., Lau, C. W., Till, J., Kloas, W., Lehmann, A., Becker, R., & Rillig, M. C. (2018). Impacts of Microplastics on the Soil Biophysical Environment. *Environmental Science and Technology*, 52(17), 9656–9665. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02212>
- De Tejada, M. S. A. (2016). Contaminación por microplástico en un lago endorreico de tierras bajas : El caso de Petén Itzá. *UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA*, 04, 82.
- Dong, X., Zhu, L., Jiang, P., Wang, X., Liu, K., Li, C., & Li, D. (2021). Seasonal biofilm

-
- formation on floating microplastics in coastal waters of intensified mariculture area. *Marine Pollution Bulletin*, 171(04), 112914.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112914>
- Duvan, G. V. H. (2018). Estructura poblacional y actividad reproductiva del charal (Atherinopsidae: *C. hirostoma*) en el Lago de Chapala, México. *Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 01, 98.
- Eerkes-medrano, D., Thompson, R. C., & Aldridge, D. C. (2015). ScienceDirect Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research*, 75, 63–82. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.012>
- Ferreira, P., Fonte, E., Oliveira, M., & Guilhermino, L. (2015). Does the presence of microplastics influence the acute toxicity of chromium (VI) to early juveniles of the common goby (*Pomatoschistus microps*)? A study with juveniles from two wild estuarine populations. *Aquatic Toxicology*, 164, 163–174.
<https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.04.018>
- Flores, P. (2020). La problemática del consumo de plásticos durante la pandemia de la COVID-19. *South Sustainability*, 1(2), 1–9. <https://doi.org/10.21142/SS-0102-2020-016>
- GESAMP. (2015). Sources, fate, and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. *Environment International*, 98. www.imo.org
- Gutiérrez, C. P., & Chavolla, J. (2018). Conviviendo con la escasez. Cultura y adaptabilidad pesquera en el lago de Chapala. *Perfiles Latinoamericanos*, 26(51), 89–121. <https://doi.org/10.18504/pl2651-004-2018>
- Hernández, Á., Ventura, J., Muñoz, R., Humberstone, J., Christoph, R., Barraz, E., Malara, V., Salvador, E., Marina, U. D. B., Ciencia, I. De, Innovación, T., Gavidia, U. F., & Salvador, E. (2019). STUDY OF MICROPLASTIC CONTAMINATION LEVELS OF LAKE COATEPEQUE, SANTA ANA, EL SALVADOR. *Unidad de Biología Marina, Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación.*, 01(503), 13.

-
- Jaime, M., & Hernández-almaraz, P. (2018). *través de las cadenas tróficas marinas* (Issue 82).
- Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C. K., Romano, N., Ho, Y. Bin, & Salamatinia, B. (2017). A high-performance protocol for extraction of microplastics in fish. *Science of the Total Environment*, 578, 485–494.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.213>
- Koelmans, A. A., Hazimah, N., Nor, M., Hermsen, E., Kooi, M., Mintenig, S. M., & France, J. De. (2019). Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water Research*, 155, 410–422.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054>
- Lastiri-Hernández, M. A., Zacarías, M. M., & Álvarez-Bernal, D. (2016). VALORACIÓN ECONÓMICA DEL LAGO DE CHAPALA : MÉTODO Related papers. *Revista Científica Ecociencia*, 3(2), 22.
- Mccormick, A. R., Hoellein, T. J., London, M. G., Hittie, J., Scott, J. W., & Kelly, J. J. (2016). Microplastic in surface waters of urban rivers: concentration, sources, and associated bacterial assemblages. *ECOSPHERE*, 7(11), 1–22.
- McCormick, A. R., Hoellein, T. J., London, M. G., Hittie, J., Scott, J. W., & Kelly, J. J. (2016). Microplastic in surface waters of urban rivers: Concentration, sources, and associated bacterial assemblages. *Ecosphere*, 7(11), 22.
<https://doi.org/10.1002/ecs2.1556>
- Morales, B. R., Moreno, I. C. E., & Montoya, D. A. (2014). Segmentación Comercial De La Industria Del Plástico Reciclado En México. *XXI Congreso Internacional de Contaduría Administración e Informática*, 1(04), 20.
- Moreno, A. S., & García, A. H. (2017). Transformación del territorio ribereño y la defensa del Lago de Chapala. *El Cotidiano*, 32(201), 45–58.
- Moreno Márquez, E. M., & Núñez Álvarez, A. (2012). Disruptores endocrinos, un posible riesgo tóxico en productos de consumo habitual. *Unirevista.Es*, ISSN-e 2254-7169, Nº. 1, 2012, Págs. 35-43, 1, 35–43.

-
- Pedroza-Gutiérrez, C., & Catalán-Romero, J. M. (2017). Evolución histórica y ambiental en los procesos de transformación del lago Chapala. *Ambiente y Desarrollo*, 21(40), 9. <https://doi.org/10.11144/javeriana.ayd21-40.ehap>
- Pérez, J. G. (2014). La industria del plástico en México y el mundo. *COMERCIO EXTERIOR*, 64(05), 1–4.
- Pleiter, G. M., Velázquez, D., Edo, C., Carretero, O., Gago, J., Barón-sola, Á., Eduardo, L., Yousef, I., Quesada, A., Leganés, F., Rosal, R., & Fernández-piñas, F. (2020). Microplastics and other anthropogenic litter in an Arctic freshwater lake. *Science of the Total Environment*, 722, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137904>
- Purca, Sara, H. A. (2017). “Microplastic in four sandy beaches from Peruvian coast.” *Revista Peruana de Biología*, 24(01), 101–106.
- Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Papa, F., Rongioletti, M. C. A., Baiocco, F., Draghi, S., D’Amore, E., Rinaldo, D., Matta, M., & Giorgini, E. (2021). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, 146, 106274. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274>
- Rodolfo, E. (2015). Revisión mar del plástico: una revisión del plástico en el mar. *CONICET*, 105, 83–105.
- Rojo-Nieto, E., & M. M. (2017). *Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global*.
- Saavedra Martínez María Auxiliadora. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. *USAID*, 02, 24.
- Sarria-Villa, R., & Gallo-Corredor, J. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 8(1), 21–27. <https://jci.uniautonoma.edu.co/2016/2016-3.pdf>
- Syberg, K., Khan, F. R., Selck, H., Palmqvist, A., Banta, G. T., Daley, J., Sano, L., & Duhaime, M. B. (2015). Microplastics: Addressing ecological risk through lessons

learned. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 34(5), 945–953.

<https://doi.org/10.1002/etc.2914>

Talvitie, J., Mikola, A., & Koistinen, A. (2017). Solutions to microplastic pollution e Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. *ELSEVIER*, 123, 401–407.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.005>

Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., Mcgonigle, D., & Russell, A. E. (2004). *Lost at Sea: Where Is All the Plastic?* 304(5672), 838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>