

**Evaluación de la presencia de microplásticos en peces
comerciales, agua y sedimento del estuario de Tecoluta,
Veracruz**

Tesis que presenta

Lirio Jazmín Sánchez Hernández

Para obtener el grado de

Maestra en Ciencias (Energía y Medio Ambiente)



Casa abierta al tiempo

Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Iztapalapa

Posgrado en Energía y Medio Ambiente

Tesis:

Evaluación de la presencia de microplásticos en
peces comerciales, agua y sedimento del
estuario de Tecolutla, Veracruz

Que para obtener el título de
Maestra en Ciencias

P r e s e n t a:

Biól. Lirio Jazmín Sánchez Hernández

Directora de tesis:

Dra. Patricia Ramírez Romero



Ciudad de México a 31 de mayo del 2018.

Agradecimientos

La Maestría en Ciencias (Energía y Medio Ambiente) de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, pertenece al Padrón Nacional de Posgrados de Calidad del CONACyT y cuenta con apoyo del mismo Consejo con el convenio 003893; por lo que agradece la beca recibida, a través del convenio No. 003893 para el desarrollo de esta tesis.

Esta tesis forma parte del proyecto "Indicadores de Integridad Ecológica y Salud Ambiental" autorizado por la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, UAM-I.

A la Universidad Autónoma Metropolitana y sus docentes que me permitieron cursar mis estudios de maestría con invaluable lecciones.

A la Dra. Patricia Ramírez Romero, mi directora de tesis, por sus acertados comentarios, facilidades y observaciones en esta etapa académica. También por su dedicación, paciencia y confianza en mi persona.

A los miembros del sínodo: agradezco por la revisión y comentarios emitidos a este trabajo de tesis, asimismo por el conocimiento que me transmitieron.

Dr. Jonathan Muthuswamy Ponniah, le agradezco su disposición y solidaridad en todo momento. En todos los aspectos es una persona extraordinaria, que me dejó reflexiones para continuar de manera exitosa en este círculo académico.

Dr. Antonio Zoilo Márquez García, sus observaciones fueron imprescindibles, fue un placer tenerlo como evaluador.

Dr. Abraham Kobelkowsky Díaz, es un gusto atender su conocimiento ictiológico, la pasión con la que se expone es comunicada indudablemente.

A la Dra. Guadalupe Barrera Escorcía, por su aportación, apoyo y entusiasmo en el posgrado.

Al Dr. Héctor Barrera por su apoyo en la toma de fotografías.

A la Dra. Xóchitl Guzmán García por las facilidades prestadas en Tecolutla, Veracruz.

A la Dra. Alfonsina Romo Curiel por la revisión, corrección y recomendaciones en el trabajo.

Al M.en B. Carlos L. Fernández Rendón, por las excelentes sugerencias en el desarrollo de la tesis. Además de ser un ejemplo del trabajo continuo e incesante.

Al M.B. Mario A. Muñoz Nájera por las primeras lecciones.

Al Biól. Fernando A. Mares Guzmán por las interminables tardes de café.

Al Biol. Fernando Peralta, por su ayuda en los procesos técnicos.

A todas las personas que forman parte del Laboratorio de Ecotoxicología UAM-Iztapalapa, que hicieron mi estancia agradable, con su compañerismo y convivencia diaria.

Dedicatoria

Reitero mi profunda gratitud a mi madre, María G. Hernández Cruz, por su motivación, dedicación y ejemplo de persona en el camino recorrido. Para ella no existen obstáculos y ella me alienta a tener fortaleza para minimizar las dificultades.

A la memoria de mi padre, Francisco E. Sánchez Morales, pues sus saberes y consejos dejaron huellas suficientes para ser en lo posible una persona íntegra en todos los aspectos.

A mi hermano Francisco, por ser un modelo a seguir y un excelente consejero. Cuando conversamos me hace reflexionar que en la vida no existen problemas solo oportunidades y esperanzas de vivir de la manera más útil y placentera. En estos años me ha enseñado a ser autocrítica en todos los aspectos, y a pesar de todo ha creído en mí.

A mis hermanas Lucero y Silvia, les dedico un sincero reconocimiento por su trabajo en la búsqueda y construcción de una mejor sociedad y admiro su tenacidad para ser mejores personas cada día.

A Laura por su amena compañía y disposición.

A Nery, Tadeo, Leonardo y Gabriel, su ocurrencia y simpatía me hacen muy feliz.

Comité tutorial

Directora:

Dra. Patricia Ramírez Romero. Departamento de Hidrobiología. Área de Manejo Integral de Recursos Acuáticos. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa

El jurado designado por la
Comisión Académica del Posgrado en Energía y Medio Ambiente
de la Unidad Iztapalapa, aprobó la tesis que presentó Biól. **Lirio Jazmín**
Sánchez Hernández

El día **jueves 31 de mayo** del año **2018**

Miembros del Jurado

Nombre del presidente del examen
Dr. Jonathan Muthuswamy Ponniah

Nombre del secretario del examen
Dr. Antonio Zoilo Márquez García

Nombre del vocal del examen
Dr. Abraham Kobelkowsky Díaz

Índice general

Resumen	1
Abstract.....	2
1. Introducción.....	3
2. Marco teórico.....	5
2.1 Plástico	5
2.2. Microplásticos.....	8
2.3 Organismos y microplásticos	9
2.4 Agua y microplásticos	10
2.5 Sedimento y microplásticos	12
2.6 Estuario de Tecolutla, Veracruz	13
3. Antecedentes	14
4. Justificación	16
5. Pregunta de investigación.....	17
6. Objetivos	17
6.1 General	17
6.2 Específicos.....	17
7. Hipótesis	17
8. Material y métodos.....	18
8.1 Zona de estudio	18
8.1.1 Ubicación	18
8.1.2 Hidrografía	18
8.1.3 Clima	19

8.1.4 Flora	19
8.1.5 Fauna	20
8.1.6 Geología.....	20
8.1.7 Actividades económicas.....	20
8.2 Trabajo en campo	21
8.2.1 Colecta de peces comerciales	22
8.2.3 Colecta de agua	23
8.2.4 Colecta de sedimento	23
8.3 Trabajo en laboratorio.....	23
8.3.1 Microplásticos en peces comerciales.....	23
8.3.2 Microplásticos en agua	24
8.3.3 Microplásticos en sedimento.....	24
8.3.4 Microscopia Electrónica de Barrido.....	25
8.4 Trabajo de gabinete.....	25
9. Resultados y discusión	26
9.1 Parámetros fisicoquímicos.....	26
9.2 Microplásticos en peces comerciales	27
9.4 Microplásticos en agua	40
9.6 Microplásticos en sedimento	49
10. Microscopia Electrónica de Barrido	58
11. Conclusiones.....	68
12. Referencias	69

Índice de figuras

Figura 1. Resumen de las etapas históricas del desarrollo, la producción y el uso de plásticos, las preocupaciones asociadas y las medidas legislativas (numerosas fuentes). La línea sólida muestra la producción de plásticos en millones de toneladas (Mt). BPA, bisfenol A; PVC, cloruro de polivinilo.....	6
Figura 2. Vías de degradación de polímeros sintéticos en el medio acuático con procesos de degradación involucrados y pasos intermedios hasta la mineralización completa.	9
Figura 3. Variación de la longitud intestinal y otras características entre algunos peces carnívoros.....	10
Figura 4. Hidrografía del estuario de Tecolutla, Veracruz.	19
Figura 5. Ubicación de los sitios de colecta en el Estuario de Tecolutla, Veracruz...	21
Figura 6. Longitud (μm) de los microplásticos encontrados en el tracto digestivo de peces comerciales del estuario de Tecolutla, Veracruz.....	29
Figura 7. Número de microplásticos en diez especies comerciales del estuario de Tecolutla, Veracruz.....	30
Figura 8. Longitud de microplásticos en diez especies comerciales del estuario de Tecolutla, Veracruz.	31
Figura 9. Número de microplásticos encontrados en peces demersales y pelágicos del estuario de Tecolutla, Veracruz.....	32
Figura 10. Longitud (μm) de microplásticos encontrados en peces demersales y pelágicos del estuario de Tecolutla, Veracruz.....	33
Figura 11. Número de microplásticos encontrados en peces con diferentes dietas del estuario de Tecolutla, Veracruz.....	33
Figura 12. Longitud (μm) de microplásticos encontrados en peces del estuario de Tecolutla, Veracruz de acuerdo con su dieta.....	34
Figura 13. Microplástico en forma de fibra, color negro en tracto gastrointestinal de <i>Brevoortia gunteri</i>	34
Figura 14. Microplásticos en forma de fibra a. de color azul y negro y b. color rojo en tracto gastrointestinal de <i>Ariopsis felis</i>	35

Figura 15. Número de microplásticos de cada color en peces comerciales del estuario de Tecolutla, Veracruz.....	36
Figura 16. Longitud (μm) de los microplásticos encontrados en agua del estuario de Tecolutla, Veracruz.....	41
Figura 17. Longitud de microplásticos encontrados en agua en tres épocas del estuario de Tecolutla, Veracruz.....	42
Figura 18. Longitud de microplásticos encontrados en cinco estaciones del estuario de Tecolutla, Veracruz.....	42
Figura 19. Microplásticos en forma de fibra a. de color negro y rojo b. color negro del estuario de Tecolutla, Veracruz.....	43
Figura 20. Microplásticos en forma de fibra, color negro, similares a los granos de arena, en agua del estuario de Tecolutla Veracruz..	44
Figura 21. Número de microplásticos de cada color en agua del estuario de Tecolutla.....	44
Figura 22. Longitud (μm) de los microplásticos encontrados en sedimento del estuario de Tecolutla, Veracruz.....	50
Figura 23. Número de microplásticos encontrados en sedimento en cinco estaciones del estuario de Tecolutla, Veracruz.....	51
Figura 24. Longitud de microplásticos encontrados en sedimento en tres épocas del estuario de Tecolutla, Veracruz.....	51
Figura 25. Longitud de microplásticos encontrados en sedimento en cinco estaciones del estuario de Tecolutla, Veracruz.	52
Figura 26. Microplástico en forma de fragmento, color rojo, en sedimento del estuario de Tecolutla Veracruz.	52
Figura 27. Microplásticos en forma de fragmento a. de color rosa y verde b. color azul y verde del estuario de Tecolutla, Veracruz.....	53
Figura 28. Número de microplásticos de cada color en sedimento del estuario de Tecolutla Veracruz.....	54
Figura 29. Microplásticos presentes en agua del estuario de Tecolutla Veracruz.....	60
Figura 30. Microplásticos presentes en peces del estuario de Tecolutla Veracruz..	60
Figura 31. Microplástico en forma de fibra en muestras de agua del estuario de Tecolutla Veracruz con a. 1671.5 μm . de largo y b. 20. 44 μm de ancho.....	61

Figura 32. Microplástico en forma de fibra en muestras de agua del estuario de Tecolutla Veracruz con a. 972 μm . de largo y b. 20. 28 μm de ancho.....	62
Figura 33. Microplásticos en forma de fibra en muestras de agua del estuario de Tecolutla Veracruz, muestran diferentes tipos de fragmentación con a. 38.90 μm . y b. 17.31 μm de ancho.....	63
Figura 34. Microplástico en forma de fibra en peces del estuario de Tecolutla Veracruz con a. 1540.2 μm . de largo y b. 11.95 μm de ancho.....	64
Figura 35. Microplásticos en forma de fibra en peces del estuario de Tecolutla Veracruz, muestran diferentes tipos de fragmentación con a. 26.26 μm . y b. 14.48 μm de ancho.	65
Figura 36. Muestras de a. popote y b. bolsa sin exposición a factores ambientales.....	66
Figura 37. Análisis elemental de los microplásticos del estuario de Tecolutla, Veracruz.	67
Figura 38. Análisis elemental e imagen tomada con microscopio electrónico de barrido de microplástico presente en el estuario de Tecolutla, Veracruz.....	67

Índice de tablas

Tabla 1. Aplicación y efectos en la salud de organismos de los plásticos de mayor producción a nivel mundial.....	7
Tabla 2. Densidad específica de los plásticos más utilizados y comunes en los medios acuáticos.....	12
Tabla 3. Sitios de muestreos en el estuario de Tecolutla, Veracruz, México durante tres épocas climáticas en los años 2016 y 2017.....	22
Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos registrados en tres épocas climáticas en el estuario de Tecolutla.....	26
Tabla 5. Nombre común, hábitat y dieta de diez especies ictiológicas comerciales del estuario de Tecolutla, Veracruz.....	27
Tabla 6. Promedio (\pm DE) de las medidas morfométricas de los peces capturados; número de microplásticos en tracto gastrointestinal por especie y por organismo....	28
Tabla 7. Partículas plásticas en un metro cúbico (m^3) en cinco estaciones y durante tres épocas climáticas.....	41
Tabla 8. Microplásticos en un kilogramo de sedimento (peso seco) en cinco estaciones en tres épocas climática.....	50

Resumen

Los microplásticos son contaminantes persistentes con una longitud máxima de 5000 μm . Contienen aditivos que son vectores de otros contaminantes, como COPs y metales, capaces de causar afectaciones en el ecosistema. Su presencia en sedimento aumenta la temperatura y disminuye la permeabilidad. Por otro lado, las partículas plásticas se transportan de manera eficiente a través de cuerpos de agua. Debido a la escasez de estudios acerca de microplásticos en México, el objetivo fue determinar la longitud, el número, el color y la forma de las partículas presentes en peces comerciales, agua y sedimento del estuario de Tecolutla, Veracruz. Las muestras se colectaron en cinco estaciones durante tres épocas climáticas (nortes, secas y lluvias) en 2016 y 2017. En el laboratorio a los peces se les extrajo el contenido gastrointestinal y se les aplicó peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30%, con la finalidad de desintegrar la materia orgánica. Los residuos se filtraron en papel de celulosa (Whatman número 40), posteriormente el filtro se desecó a 50°C y se procedió a identificar los microplásticos. En muestras de agua se midió el volumen y se filtró en papel de celulosa (Whatman número 40). El filtro fue secado a 50°C por 24 horas y se caracterizaron las partículas poliméricas. En el caso del sedimento, estos se desecaron a 50°C y se tomaron 40 g para aplicarles H_2O_2 al 30%. Después se les aplicó cloruro de zinc ($\rho = 1.5\text{ g/l}$) para obtener partículas por medio de flotabilidad. Posteriormente, la mezcla se decantó en papel filtro de celulosa que fue secado a 50°C por 24 horas. Por último, se determinaron los microplásticos. La caracterización se realizó mediante microscopios (estereoscópico y Celestron) y con el programa *ImageJ*. En 155 peces se encontraron 882 microplásticos con una longitud de 40-4180 μm . Se estima que cada organismo consumió 4.72 piezas. En agua, el total de partículas encontradas en 27 litros fueron 452 con una longitud de 10-1730 μm . Se encontró una diferencia significativa en la longitud de los microplásticos encontrados en agua dependiendo de la época en que se tomó la muestra. En sedimento, se encontraron 73 microplásticos en 600 gramos con medidas de 30-2500 μm . El color que predominó en las tres matrices fue negro, seguido de azul y rojo. Respecto a la forma, la más común en todos los casos fue fibra. La validación de partículas poliméricas se realizó mediante microscopía electrónica de barrido. El presente trabajo concluye que en todas las épocas climáticas existen microplásticos en organismos, agua y sedimento. Él constituye la primera evaluación de este contaminante en el estuario de Tecolutla. Por lo antes expuesto, es imprescindible evaluar el significado ecológico de las partículas plásticas en medios acuáticos.

Palabras clave: **microplásticos, peces comerciales, agua, sedimento y estuario de Tecolutla.**

Abstract

Microplastics are persistent pollutants with a maximum length of 5000 μm . They contain additives that are vectors of other contaminants, such as POPs and metals, capable of causing damage to the ecosystem. Their presence in sediment increases the temperature and decreases the permeability. On the other hand, plastic particles are transported efficiently through bodies of water. Because of the scarcity of studies about microplastics in Mexico, the objective was to determine the length, number, color and shape of particles present in commercial fish, water and sediment from the estuary of Tecolutla, Veracruz. The samples were collected in five stations during three climatic seasons (northerly, dry and rainy) in 2016 and 2017. In the laboratory, the fish were extracted the gastrointestinal content and was applied hydrogen peroxide (H_2O_2) at 30% with the goal of disintegrate the organic matter. The residues were filtered on cellulose paper (Whatman number 40), then the filter was drained at 50 ° C and the microplastics were identified. In water samples the volume was measured and filtered on cellulose paper (Whatman number 40). The filter was dried at 50 ° C for 24 hours and the polymer particles were characterized. In the case of sediment, these were dried at 50 ° C and 40 g were taken to apply H_2O_2 at 30%. Then zinc chloride ($\rho = 1.5 \text{ g / l}$) was applied to obtain particles by means of buoyancy. Subsequently, the mixture was decanted into cellulose filter paper that was dried at 50 ° C for 24 hours. Finally, the microplastics were determined. The characterization was made using microscopes (stereoscopic and Celestron) and the *ImageJ* program. In 155 fish, 882 microplastics were found, with a length of 40-4180 μm . It is estimated that each organism consumed 4.72 pieces. In water, the total number of particles found in 27 liters was 452 with a length of 10-1730 μm . There was a significant difference in the length of the microplastics found in water depending on the season in which the sample was taken. In sediment, 73 microplastics were found in 600 grams with measures of 30-2500 μm . The color that predominated in the three matrices was black, followed by blue and red. Regarding form, the most common in all cases was fiber. The validation of polymer particles was carried out by scanning electron microscopy. The present work concludes there are microplastics in organisms, water and sediment in all climatic periods. The present work is the first evaluation of this pollutant in the Tecolutla estuary. Therefore, it is essential to evaluate the ecological significance of plastic particles in aquatic environments.

Keywords: microplastics, commercial fish, water, sediment and Tecolutla estuary.

1. Introducción

El plástico o polímero es un material que se ha vuelto imprescindible para la economía de las naciones debido a que las personas lo utilizan en la vida cotidiana, empleándolo en productos de consumo personal (ropa, utensilios de cocina, muebles, agricultura, empaque, etc.) e incluso con fines de construcción, transporte, comunicación, agricultura, entre otros. Desde 1950 la fabricación de polímeros aumento de forma exponencial por su ligereza, durabilidad, resistencia a la corrosión, maleabilidad y, sobre todo, por ser económicos (Góngora, 2014).

Con el crecimiento de la población y su traslado a las ciudades a partir de la segunda guerra mundial, hubo un incremento en la demanda desde 1.3 a 322 millones de toneladas de polímeros para el 2015 en el mundo (PlasticEurope, 2004). Paralelamente hubo un incremento de la cantidad de basura, la cual al ser incorrectamente gestionada aumenta su presencia en hábitats terrestres y principalmente acuáticos, originando altos niveles de contaminación (Jambeck *et al.*, 2015).

Una vez que están presentes en costas, océanos y cuerpos de agua dulce, los polímeros se fragmentan en piezas más pequeñas a través de factores químicos, biológicos y físicos. Estas partículas se denominan *microplásticos* y llegan a medir hasta cinco milímetros de longitud (Thompson, 2004). En las últimas décadas, este tipo de contaminación se ha vuelto preocupante, ya que estas partículas son ingeridas por la biota del lugar. Esto ocasiona obstrucciones en el tracto digestivo, impresión de saciedad alimenticia y laceración en el tejido, limitando la ingesta de alimento y disminuyendo así la actividad del sistema de locomoción, volviéndolos presas más vulnerables a los depredadores. Ello puede tener impactos económicos en la acuicultura. Además, hasta el momento la tecnología existente para retirar microplásticos es escasa, ineficiente y costosa (Cole *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2016; Nieto & Montoto, 2017).

En relación con las afectaciones, los microplásticos contienen sustancias químicas que son añadidas en su elaboración: plastificantes, antioxidantes, retardantes de llama y colorantes. Estas sustancias son vectores de otros contaminantes bioacumulables y tóxicos que ocasionan disrupción endocrina, mutagenicidad y carcinogénesis. Los contaminantes antes referidos son: metales pesados (cobre, zinc, plomo), contaminantes orgánicos persistentes (COPs) y plaguicidas (DDT) (Wright *et al.*, 2013; Lie *et al.*, 2016; Pinto de Costa *et al.*, 2016).

Se ha reportado que una vez que los microplásticos son ingeridos, las sustancias químicas aditivas que penetran en la estructura del plástico son translocadas al sistema circulatorio y otros órganos. Los microplásticos son persistentes y capaces de transferirse a lo largo de la cadena trófica, desde zooplancton y fitoplancton,

hasta llegar al humano consumidor de especies de importancia comercial como bivalvos, crustáceos y peces (Wright *et al.*, 2013).

Existen otras fuentes importantes de microplásticos: fibras sintéticas derivadas de lavados de ropa, residuos de la actividad pesquera (redes, anzuelos, pinturas, etc.) y microplásticos fabricados de manera intencional (para limpiezas industriales, lavados faciales, pastas dentales y otros cosméticos). Por último, los turistas contribuyen en gran medida al ingreso de partículas en cuerpos acuáticos con el uso de trajes de baño, actividades recreativas y propagación de basura (Browne *et al.*, 2010; Napper *et al.*, 2015; Retama *et al.*, 2016).

Alrededor del mundo se han registrado microplásticos en diferentes matrices: en cuerpos de agua, con énfasis en playas, y, en menor cantidad, en estuarios (Thompson *et al.*, 2004); aún a pesar de ser sistemas que sustentan especies residentes y migratorias. Por otra parte, las condiciones del lugar son únicas: el potencial de hidrógeno (pH), los nutrientes, la temperatura y, principalmente, el intercambio de agua dulce con agua salina generan un lugar de alta eficiencia energética (Odum, 2006).

De entre las matrices (organismos, agua, sedimento, aire, etc.), el estudio en sedimentos es imprescindible, pues la presencia de microplásticos aumenta su permeabilidad y disminuye la difusividad térmica, pudiendo cambiar los flujos de agua y distribución de nutrientes. Todo ello afecta de forma negativa al ecosistema donde habitan los organismos. Por último, los cuerpos de agua funcionan como grandes dispersores de contaminantes en el mundo. Éstos se ven influenciado por la localización geográfica, las corrientes y las temperaturas (Nieto & Montoto, 2017).

La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2009), declaró a Tecolutla, Veracruz como un sitio de relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. Dentro del área se encuentra el estuario de Tecolutla, sistema ecológico donde existe una sobretasa de energía. Estos son sitios de importancia para la biodiversidad de organismos, tanto acuáticos como terrestres; son áreas de anidación de aves residentes y migratorias y son sitios que actúan como áreas de protección contra fenómenos naturales. Sin embargo, es una región que recibe impactos directos como contaminación por aguas residuales, daños por el tránsito de lanchas turísticas y de pescadores, sobreexplotación del recurso pesquero, modificaciones hidrológicas, contaminación por agroquímicos, entre otros.

2. Marco teórico

2.1 Plástico

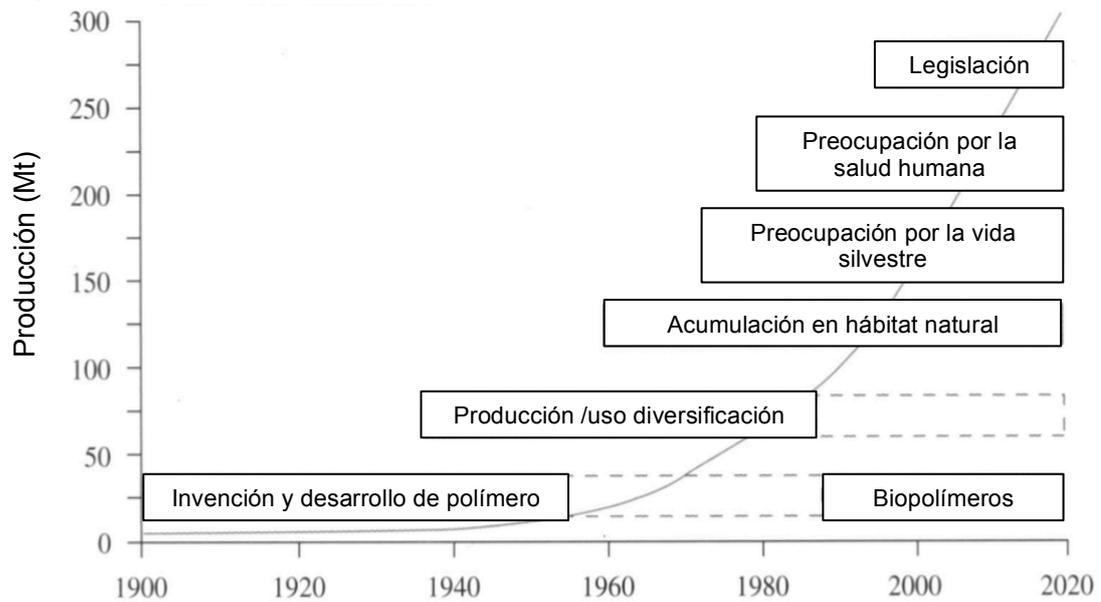
Plástico es una palabra que deriva del griego *plastikos*, que significa “capaz de ser moldeado”. Técnicamente, los plásticos son sustancias de origen orgánico formadas por largas cadenas macromoleculares que contienen en su estructura carbono e hidrógeno principalmente. Se obtienen mediante reacciones químicas entre diferentes materias primas de origen sintético o natural (Enciclopedia del plástico, 1997; Góngora, 2014).

El primer polímero verdaderamente sintético fue la baquelita, desarrollado por el químico belga Leo Baekeland en 1907, y muchos otros plásticos se desarrollaron en las décadas siguientes. Sin embargo, no fue sino hasta las décadas de 1940 y 1950 que la producción en masa de artículos plásticos cotidianos comenzó y con ello problemas asociados a la mala gestión de polímeros (Fig. 1) (Enciclopedia del plástico, 1997; Thompson *et al.*, 2009).

Los plásticos son los polímeros más importantes en el mercado. La producción a nivel mundial alcanzó los 322 millones de toneladas el año 2015. Los plásticos son económicos, ligeros, fuertes, durables, resistentes a la corrosión, además de ser un material aislante, altamente térmico y eléctrico. La versatilidad y diversidad de estos polímeros permite su incorporación a cualquier proceso productivo o producto final, por lo cual en la actualidad el mercado de productos plásticos ocupa un lugar sobresaliente en el conjunto de la economía (PlasticsEurope, 2004; Thompson *et al.*, 2009; Góngora, 2014).

En relación con la producción por tipo de plástico, de acuerdo con *PlasticsEurope* (2004), se pueden distinguir seis grandes categorías: polietileno, incluidos el polietileno de baja densidad (PEBD), el polietileno lineal de baja densidad (PELBD) y el polietileno de alta densidad (PEAD); polipropileno (PP); policloruro de vinilo (PVC); poliestireno sólido (PS) y expandido (PS-E); polietileno tereftalato (PET) y poliuretano (PUR) (Tabla 1). Estos seis polímeros representan alrededor del 80% de la producción total de plástico en el mundo. En cuanto a los usos del plástico, los destinos más comunes son los empaques y el almacenamiento, que representan casi el 40% del total

De las 72 ramas de actividad económica en México, la industria del plástico provee de insumos a 59 actividades. Los principales usuarios de productos elaborados con plástico son la industria automotriz, la de aparatos eléctricos, electrónicos y electrodomésticos, la de productos farmacéuticos y agrícolas, y la industria manufacturera en general (Morales, 2014).



- 2008** - Gobierno canadiense prohíbe contenido de BPA en biberones.
- 2008** - Prohibición voluntaria de bolsas de plástico de algunos minoristas del Reino Unido.
- 2003** - Impuestos / prohibiciones sobre bolsas de plástico - Irlanda y Sudáfrica.
- 2000 - Detritos plásticos reportados en aguas profundas.
- 1990s** - Legislación sobre embalajes del Reino Unido.
- 1998** - Restricciones del MARPOL sobre el vertido de basura de los buques.
- 1972** - Primeras preocupaciones sobre la absorción de productos químicos de plásticos por la vida silvestre.
- 1970** - Primeros informes de enredos por la vida silvestre.
- 1970** - Pellets / fragmentos de plástico reportados en hábitats marinos.
- 1960** - Detritos plásticos registrados en tripas de aves marinas.
- 1954** - Descubierta el polipropileno.
- 1941** - Descubierta tereftalato de polietileno.

Figura 1. Resumen de las etapas históricas del desarrollo, la producción y el uso de plásticos junto con las preocupaciones asociadas y las medidas legislativas (numerosas fuentes). La línea sólida muestra la producción de plásticos en millones de toneladas (Mt). BPA, bisfenol A; PVC, cloruro de polivinilo.

Fuente: Modificado por Sánchez & tomado de PlasticEurope, 2004.

Los plásticos pueden ser transportados a grandes distancias desde sus fuentes. Las fuentes terrestres y oceánicas son las principales introductoras de plásticos en el medio ambiente. Los polímeros más utilizados y abundantes en el mundo son el polietileno de alta densidad, el polietileno de baja densidad, el polipropileno y el polietileno tereftalato (Tabla 1). Como resultado, estos polímeros son también los residuos plásticos más comunes en el ambiente, especialmente en ambientes acuáticos. Cabe mencionar que los polímeros son persistentes en el medio ambiente por su lenta degradación. Se estima que existen entre 7,000 y 35,000 toneladas de plástico flotando en los océanos (Vandermeersch *et al.*, 2015).

Tabla 1. Aplicación y efectos en la salud de organismos de los plásticos de mayor producción a nivel mundial.

Tipo	Uso / aplicación	Efectos en la salud
Polietileno de alta densidad (HDPE)	Botellas de detergente, jarras de leche, tuberías, molduras, aislantes.	Liberan sustancias estrogénicas y causan cambios en la estructura de las células humanas.
Polietileno de baja densidad (LDPE)	Muebles de exterior, revestimientos, baldosas de suelo, cortinas de ducha, películas.	No existen reportes.
Cloruro de polivinilo (PVC)	Tubos de plomería, cortinas de ducha, marcos de ventanas, suelos, películas.	Provocan cáncer, defectos congénitos, bronquitis crónica, úlceras, enfermedades de la piel, sordera, insuficiencia visual, indigestión y disfunción hepática.
Poliestireno (PS)	Envases de espuma, recipientes de alimentos, vajillas de plástico, vasos desechables, platos, cubiertos, CD, tanques, jarras, materiales de construcción.	Irrita los ojos, nariz y garganta; puede causar mareos e inconsciencia; migra a los alimentos y almacena la grasa corporal; provoca cánceres linfáticos y hematopoyéticos.
Polipropileno (PP)	Tapas de botellas, envases de yogur, electrodomésticos, defensa de coche, tubos de presión, tanques y jarras.	No existen reportes.
El tereftalato de polietileno (PET)	Botellas de bebidas carbonatadas, tarros de mantequilla de maní, película, embalaje para microondas y tuberías.	Carcinógeno potencial.

Fuente: Li *et al.*, 2016.

2.2. Microplásticos

El término microplásticos fue definido por primera vez por Thompson (2000). Son partículas que miden menos de 5 mm (5000 μm) de longitud y son de naturaleza polimérica y sintética. Según su origen, pueden ser primarios o secundarios. Los microplásticos tienen capacidad potencial de contaminantes hidrófobos, que luego pueden bioacumularse en la cadena alimenticia, causar daños a la biota y, finalmente, afectar la dinámica de poblaciones.

De acuerdo con su origen, los microplásticos se clasifican en primarios y secundarios. Los primarios son piezas fabricadas de manera intencional para diversos usos, por ejemplo: el acrílico, la melamina o el poliéster miden entre 250 y 1700 μm . Son abrasivos que por medio de aire eliminan óxido y pintura en las industrias. En la vida cotidiana, las microesferas de polietileno, polipropileno y poliestireno son insertadas en productos de uso facial, cosméticos y pastas dentales. Estas partículas funcionan como limpiadores y en la industria farmacéutica funcionan como vectores de otros medicamentos (Thompson *et al.*, 2009; Lusher *et al.*, 2013).

Los microplásticos secundarios provienen de la degradación de los macroplásticos —piezas que miden más de 5 mm (Andrady, 2011; Nieto & Montoto, 2017)— que son arrojados a los medios acuáticos y terrestres mediante factores biológicos, físicos y químicos; tal como la radiación ultravioleta, que provoca la oxidación de los polímeros y dan lugar a la rotura del enlace químico. Por otra parte, la temperatura, las olas, las corrientes, la salinidad, la intemperización, la disponibilidad de oxígeno, los ataques por medio de la biota, etc., convierten la integridad estructural de polímeros en piezas más pequeñas (Fig. 2) (Zhao *et al.*, 2015).

Con el paso del tiempo y debido a estas condiciones, los microplásticos van disminuyendo de tamaño y a su vez el área superficial aumenta: entre más microplásticos, mayor es la tasa de fungir como vectores de otros contaminantes como plaguicidas, metales y COPs (Browmer & kershaw, 2010; Jabeen *et al.*, 2017; Lusher *et al.*, 2017).

Otra fuente potencial importante de partículas en el medio ambiente es la industria textil. Ella arroja 1,900 fibras sintéticas en cada lavado de las prendas en proceso. Asimismo, los plásticos biodegradables aportan microplásticos a los ambientes, pues son materiales hechos de una parte sintética y de otra, de mayor proporción, a base de almidón, caña y aceites vegetales, cuyo tiempo de degradación es breve. Empero, la porción polimérica sintética se desintegra en un tiempo mínimo estimado de cien años (Browmer & kershaw, 2010).

Cabe mencionar que estas partículas van absorbiendo contaminantes del medio acuático y transfiriéndolos a través de la cadena trófica. Son materiales con potencial para ser ingeridos de manera accidental o intencional (consumidos como presas).

Los microplásticos contienen los aditivos agregados a los polímeros desde su fabricación, como plastificantes, retardantes de llama, colorantes, moldeadores, bisfenol-A, entre otras. Algunas de estas sustancias se han reportado como dañinas para la salud humana (Browne, 2007).

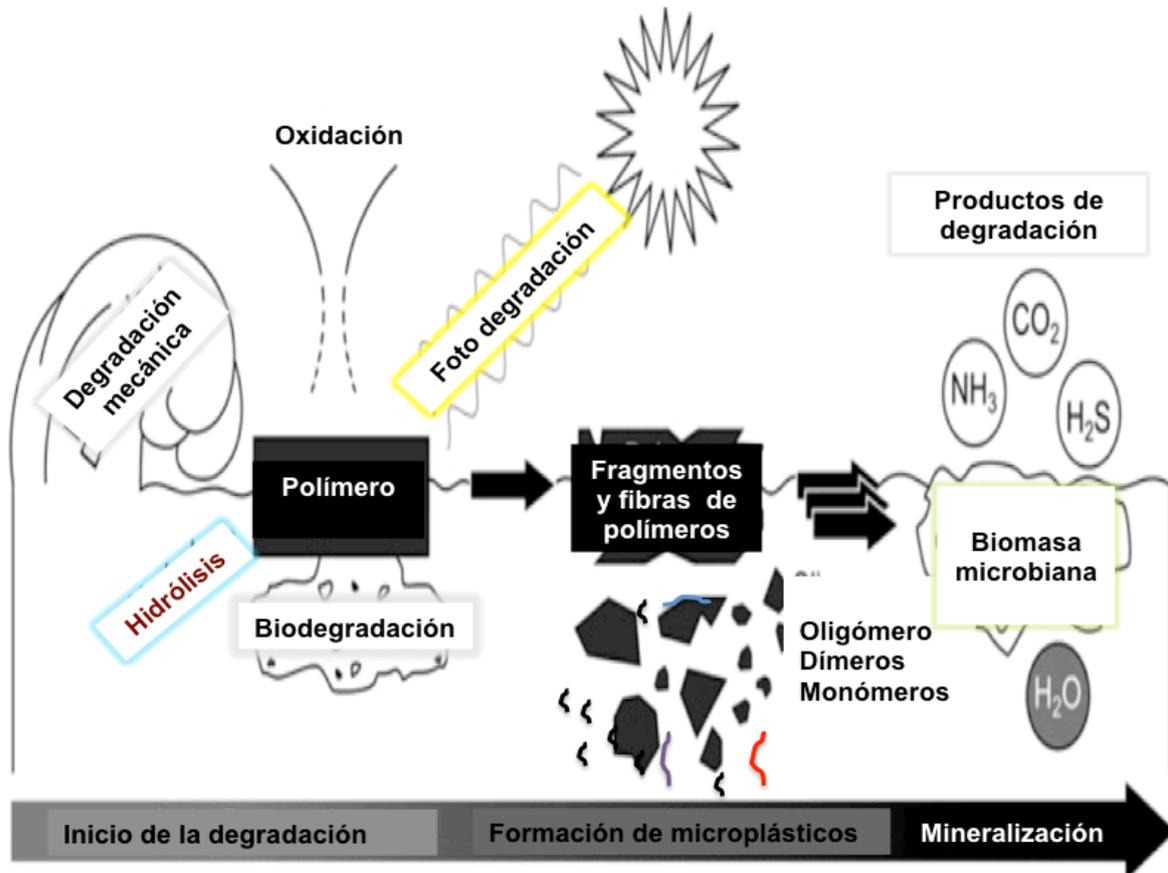


Figura 2. Vías de degradación de polímeros sintéticos en el medio acuático con procesos de degradación involucrados y pasos intermedios hasta la mineralización completa.

Fuente: Modificado por Sánchez & tomado de Klein *et al.*, 2018.

2.3 Organismos y microplásticos

Por su diminuto tamaño y la dificultad de ser retirados de los sistemas acuáticos, se han realizado investigaciones sobre los efectos físicos de los microplásticos en mejillones, peces y copépodos. Estos consisten en obstrucción física, laceraciones, inflamación en los tejidos y aglutinación de material (Lavender & Thompson, 2014; Li *et al.*, 2016). También ocasionan, a nivel sistémico, disrupción endocrina, carcinogénesis y teratogénesis. Se ha reportado también la formación de biopelículas en los polímeros. Éstas pueden cambiar la densidad de los materiales y,

en ocasiones, viajar distancias largas, colonizando organismos en otros lugares (Anastasopoulou *et al.*, 2013; Neves *et al.*, 2015; Bellas *et al.* 2016).

Por la importancia que representa la fauna ictiológica, se ha vuelto imprescindible el estudio de contaminantes en los mismos, además de mostrar el estado de salud del lugar que ocupan. Por lo anterior, los habitantes de los océanos son variados y numerosos, pero, sin lugar a dudas, el grupo de los peces es uno de los de mayor importancia. La ictiofauna consiste en vertebrados acuáticos dotados de branquias. El número de organismos existentes no se conoce con exactitud. Sin embargo, los autores estiman alrededor de 25,000 especies, las que, de acuerdo con la clasificación actual, se encuentran distribuidas en 483 familias y 57 ordenes (Werlinger *et al.*, 2004). En general los peces tienen diez sistemas, de los cuales, se puede decir que la estructura básica del tracto digestivo de los vertebrados fue establecida desde los peces. A continuación se describe las partes básicas de un teleosteo ordinario: boca, cavidad oral, faringe, esófago, estómago, píloro, intestino corto, intestino largo y ano (Fig. 3). Entre los peces óseos hay, sin embargo, muchas adaptaciones del tracto digestivo, a veces depende del tipo de alimentación (Lagler *et al.*, 1990).

En México, las principales especies de peces que se capturan son para consumo humano directo. Se componen principalmente de peces óseos, seguidos de elasmobranchios y crustáceos. La pesquería es uno de los recursos menos explotados y a su vez de una forma inadecuada. Por lo anterior, es importante conocer los recursos existentes en el país. Ello implica conocer las afectaciones que estos organismos pudieran tener y así administrarlos de la mejor manera posible (CONAPESCA, 2016).

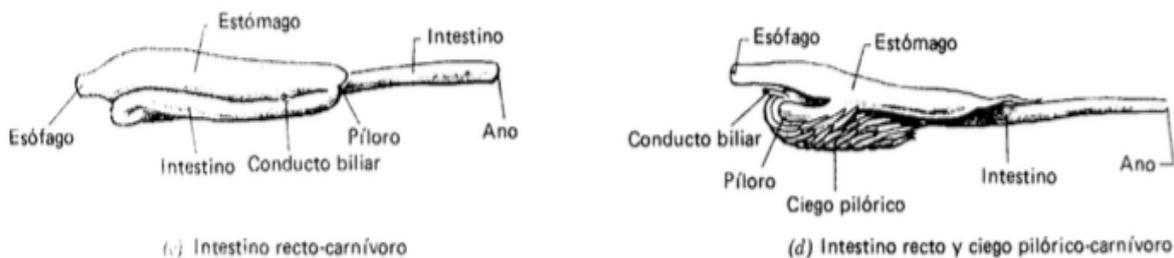


Figura 3. Variación de la longitud intestinal y otras características entre algunos peces carnívoros. Fuente: Lagler *et al.*, 1990

2.4 Agua y microplásticos

Con respecto a los cuerpos acuáticos, los microplásticos contribuyen a elevar la temperatura de los cuerpos de agua y a su vez favorecen al cambio climático. Cuando el sistema no tiene la temperatura adecuada, la biota puede comprometer su

función en el hábitat y, en el peor de los casos, su existencia; además, la cadena trófica se ve comprometida (Nieto & Montoto, 2017).

Actualmente, se han encontrado micropolímeros en todo el planeta, tanto en regiones terrestres, zonas marinas, lagos, ríos, estuarios e incluso en sales y mieles. Sin embargo, conocer la distribución de los microplásticos es complejo y tiene diversos equívocos. Además, la combinación de las corrientes y las variaciones estacionales en los océanos hace que sea aún más difícil abordar la distribución temporal y espacial de las partículas (Cozar *et al.*, 2014; Sadri & Thompson, 2014; Zhao *et al.*, 2015).

La persistencia de los microplásticos en los medios acuáticos depende de la fragmentación y del tiempo de degradación. Su distribución se ve influenciada por otros materiales, la corrientes, la dirección del viento, las capas de biofilm y los procesos de mezclas verticales y horizontales (Zhao *et al.*, 2014; Wessel *et al.*, 2016; Nieto & Montoto, 2017).

Por otra parte, las características físicas y químicas del polímero definen el lugar donde se distribuye en el medio acuático. 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 (Tabla 2). 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 (Castañeda *et al.*, 2014; Peng *et al.*, 2017).

Los plásticos se distribuyen en regiones propias de giros oceánicos y en zonas de convergencia, de manera que la acumulación es global. En consecuencia, pueden encontrarse suspendidos en la columna de agua, en aguas superficiales, estuarios, ríos y sedimentos profundos. Los microplásticos son más abundantes en zonas costeras cercanas en lugares urbanos (Glaser *et al.*, 2015; Fok & Cheung, 2015).

Tabla 2. Densidad específica de los plásticos más utilizados y comunes en los medios acuáticos.

Categorías	Densidad específica	
Poliétileno (PE)	0.91-0.94	Flotante
Polipropileno (PP)	0.90-0.92	
Poliestireno expandido (PS)	0.01-1.05	
Agua de mar	~ 1.02	
Polyestireno (PS)	1.04-1.09	Hundible
Policloruro de vinilo flexible (PVC)	1.16-1.30	
Poliamida o nylon	1.13-1.15	
Poliétilentereftalato (PET)	1.34-1.39	
Resina de poliéster + fibra de vidrio	>1.35	
Acetato de celulosa	1.22-1.24	

Fuente: Andrady 2011.

2.5 Sedimento y microplásticos

El segundo compartimento abiótico principal, después del agua, es el sedimento. Éste se define como materia orgánica e inorgánica en partículas que se acumula de una manera suelta, sin consolidar. Puede precipitarse químicamente a partir de una solución, segregarse a partir de una solución o por organismos, o ser transportada por el aire, hielo, viento o agua para luego depositarse (De la lanza *et al.*, 1999).

En las zonas costeras, los movimientos de agua causados por el viento, las olas y las mareas transportan partículas de sedimento según su tamaño, forma y densidad. Los microplásticos pueden afectar las propiedades físicas de los sedimentos, lo que conlleva el aumento de la temperatura y la permeabilidad de los mismos. Ello ocasiona que organismos como las tortugas no puedan tener la temperatura adecuada al momento de depositar los huevos, afectando el ciclo reproductivo. Además, los microplásticos influyen en sus procesos enzimáticos y fisiológicos, su tasa de alimentación, su crecimiento y su reproducción. En los residuos de plásticos se forman de capas de biofilms de bacterias (*Escherichia coli*) y persisten patógenos potencialmente dañinos (*Vibrio spp.*) (Claessens *et al.*, 2011; Nieto & Montoto, 2017; Vaughan *et al.*, 2017).

Una vez depositadas las bolsas plásticas en el sedimento, éstas ocasionan condiciones anóxicas, disminuyendo la productividad primaria, la materia orgánica y, en consecuencia, la población de invertebrados que habitan el lugar (Nieto & Montoto, 2017).

Los plásticos tienden a acrecentarse en áreas con baja circulación, lo que coincide con la acumulación de sedimentos. Por lo tanto, se espera que existan grandes cantidades de microplásticos en bahías, lagos y arrecifes de coral en comparación con el mar (Stolte *et al.*, 2015).

2.6 Estuario de Tecolutla, Veracruz

El estuario de Tecolutla, en Veracruz, es un lugar de alta energía. Es una zona semicerrada donde hay intercambio de agua salobre y dulce. Por esta característica, hay especies de alta resistencia que migran al medio salino o dulce en busca de alimento, reproducción o muerte. Tecolutla tiene uno de los cuatro estuarios más importantes de Veracruz. En el lugar se llevan a cabo actividades de pesca artesanal por parte de los pobladores, principalmente de bagre, chucumite, lisa, lebrancha, camarones, cangrejos y, en menor medida, bivalvos, pues la producción ha declinado. Es un sistema donde hay especies de aves residentes y migrantes; se encuentran especies de mangle, protegidas por la NOM-54 (CONABIO, 2016).

Además por su ubicación, recibe grandes cantidades de residuos sólidos provenientes de arroyo Zapata y los ríos Coyuca, Apulco, Papantla y Gutiérrez Zamora, pues la mayoría de los poblados no cuentan con un sistema adecuado de limpieza de aguas residuales y todos los desechos desembocan directamente en el sistema de agua (INEGI, 2005)

Dentro de los desechos se pueden encontrar los plásticos que son transportados lejos de sus fuentes de origen, incluso a grandes distancias. Las fuentes terrestres y oceánicas son responsables de introducir plásticos en el medio ambiente.

3. Antecedentes

Los microplásticos en el ambiente marino han sido descritos y reportados desde 1970. Sin embargo, fue Thompson (2000) quien definió por primera vez el término microplásticos. Desde entonces, las investigaciones en el mundo han aumentado de forma significativa, predominantemente en laboratorio. Los estudios más recientes de microplásticos se han realizado en peces, agua y sedimento; principalmente en Asia, seguido de Europa y América. Cabe mencionar que China es el primer productor de polímeros y por ende el país que más desechos plásticos aporta al mundo. Además, tiene una elevada y diversa tasa de consumo de especies acuáticas.

Con relación a la ingesta de microplásticos en peces, se han reportado organismos bentónicos y pelágicos en costas portuguesas (Neves *et al.*, 2015). En Brasil se reportaron dos especies de consumo humano que contenían plástico en el tracto digestivo (Miranda & Freire, 2016). En la región semiárida de América del Sur se evaluó la deglución de microplásticos por *Hoplosternum littorale*, un pez de agua dulce común en la dieta de los seres humanos (Santos *et al.*, 2017). En China, se analizaron peces de aguas costeras y todos contenían polímeros (Jabeen *et al.*, 2017). Estos estudios hacen referencia a las implicaciones ecológicas y relacionadas con la salud, abordan el potencial para transferir estos materiales a través de la cadena alimentaria. Debido a la alta tasa de polímeros reportada, los autores concluyen la necesidad de realizar más análisis sobre los efectos de microplásticos en organismos, ya que es un problema con afectaciones graves en los medios acuáticos.

Durante los últimos años, se han realizado estudios sobre la ocurrencia de microplásticos en el tracto gastrointestinal de peces demersales y pelágicos del Canal Inglés, el Mar del Norte y el Mar Báltico (Lusher *et al.*, 2013; Rummel *et al.*, 2016). Asimismo, Romeo *et al.* (2015) identificaron por primera vez la presencia de microplásticos en peces pelágicos del mar Mediterráneo. Posteriormente, Bellas *et al.* (2016) reportaron la ingesta de microplásticos en peces demersales de las costas del Atlántico y el Mediterráneo. Güven *et al.* (2017) realizaron un estudio sobre la presencia de polímeros en sedimento, agua y en el tracto digestivo de 1337 peces en aguas marinas de Turquía, siendo esta investigación una de las primeras en considerar las tres matrices, además de que es el estudio con mayor cantidad de muestras analizadas en el mundo. Por último, en las cuencas del Golfo reportaron la ocurrencia y cantidad de microplásticos ingeridos por los peces que ahí habitan (Phillips & Bonner, 2015).

Con relación en la presencia de microplásticos en cuerpos de agua en Asia, se han encontrado en China (Zhao *et al.*, 2014; Zhao *et al.*, 2015; Fok & Cheung, 2015; Wang *et al.*, 2017; Tsang *et al.*, 2017), Corea (Chae *et al.*, 2015) y Qatar (Castillo *et al.*, 2016); en Europa, en el Estuario Tamar, Reino Unido (Sadri & Thompson, 2014) y Suiza (Faure *et al.*, 2015); y, en América, en los Grandes Lagos Laurentianos

(Eriksen *et al.*, 2013), el Noreste del Océano Pacífico (Desforbes *et al.*, 2014) y Canadá (Anderson *et al.*, 2017). Los microplásticos detectados en estos estudios provienen de fuentes primarias y en mayor medida de fuentes secundarias. Además, son de abundancia, composición y tamaños diferentes. Las investigaciones concluyen que la presencia de microplásticos es inminente y que los patrones de distribución dependen de la temperatura, salinidad, vientos y corrientes.

En el caso de sedimentos en Asia, se reporta un estudio de microplásticos en sedimento en el Estuario Chang Jiang (Peng *et al.*, 2017); en Europa, en la costa alemana (Stolte *et al.*, 2015), Italia (Fischer *et al.*, 2016), Portugal (Frias *et al.*, 2016) e Inglaterra (Vaughan *et al.*, 2017); en América, en el Río St. Lawrence (Castañeda *et al.*, 2014), Brasil (Gomes de Carvalho & Baptista, 2016), estuarios del Norte del Golfo de México (Wessel *et al.*, 2016) y las Bahías de Huatulco en Oaxaca, México. Este es el único estudio reportado en el país en relación con la contaminación microplástica (Retama *et al.*, 2016).

4. Justificación

Los microplásticos se han convertido en un problema de contaminación grave. Son difíciles de retirar con la tecnología existente, además de ser técnicas costosas e ineficientes. Una vez que los microplásticos están en el medio son ingeridos por la biota, lo cual provoca afectaciones químicas y físicas que perturban la existencia de los individuos. Por otra parte, son contaminantes persistentes capaces transferirse por vía trófica desde eslabones inferior hasta llegar al hombre. Por lo anterior, en el mundo se han realizado varios estudios que documentan la composición de los microplásticos, los posibles daños, sus orígenes y su trayectoria. Sin embargo, en México hay pocos registros sobre los microplásticos y los efectos que pudieran tener en los ecosistemas acuáticos. Por ello, es necesario realizar un monitoreo de partículas plásticas en un sistema de alta energía como el estuario de Tecolutla: un lugar con alta ocurrencia turística que aporta de manera sustancial desechos y microplásticos al sistema con las actividades acuáticas que estas personas realizan, además de la carga de contaminación que aportan los pobladores de la zona. De igual forma, en el lugar no existe un sistema de tratamiento de aguas domésticas que cubra la demanda de manera eficiente y, en paralelo, la población deposita los residuos en el ambiente, lo que representa fuentes potenciales en el suministro de polímeros. Aunado a ello, se lleva a cabo la captura de especies para consumo propio y un mínimo para importación que podrían tener microplásticos. Por los servicios ecosistémicos que aporta Tecolutla, CONABIO lo declaró un sistema de alta diversidad biológica. Por lo expuesto antes, la presente disertación contribuyó a evaluar por primera vez la presencia de microplásticos en tres matrices (organismos, agua y sedimento) y su posible interacción ecológica en el estuario de Tecolutla. A nivel nacional, pretende contribuir a la escasa biblioteca de microcontaminantes plásticos.

5. Pregunta de investigación

¿existen microplásticos en peces comerciales, agua y sedimento del estuario de Tecolutla, Veracruz?

6. Objetivos

6.1 General

Evaluar la presencia de microplásticos en peces comerciales, agua y sedimento del estuario de Tecolutla, Veracruz.

6.2 Específicos

- Analizar la existencia de microplásticos en el tracto digestivo de peces comerciales, agua y sedimento del estuario de Tecolutla, Veracruz.
- Determinar el tamaño, color, forma y prevalencia de microplásticos presentes en el tracto digestivo de peces comerciales, agua y sedimento del estuario de Tecolutla, Veracruz.
- Realizar la clasificación taxonómica de las especies capturadas en el estuario de Tecolutla, Veracruz.
- Clasificar las especies comerciales capturadas de acuerdo con su forma de hábitat y dieta alimenticia para relacionarlo con las características de los microplásticos presentes en el estuario de Tecolutla, Veracruz.
- Confirmar la presencia de los microplásticos hallados en el estuario de Tecolutla, Veracruz, con Microscopia Electrónica de Barrido.

7. Hipótesis

Si en el estuario de Tecolutla, Veracruz, existen microplásticos, entonces estos contaminantes estarán presentes en el agua, el sedimento y el tracto digestivo de los peces comerciales que lo habitan.

8. Material y métodos

A lo largo de la investigación se evaluaron tres fases de trabajo: en campo, donde se extrajeron los objetos de estudio; en laboratorio, donde las muestras se procesaron con técnicas, instrumentos y reactivos; y, finalmente, el análisis de los datos obtenidos, es decir, la fase de gabinete. Es importante mencionar que se han desarrollado diversas técnicas para el estudio de microplásticos en el mundo. Para seleccionar las empleadas en la presente tesis, se realizó una revisión literaria para determinar las variables medidas, las cuales fueron: prevalencia de microplásticos y sus características (longitud, color y forma) en peces de importancia comercial, agua y sedimento.

8.1 Zona de estudio

El municipio de Tecolutla, Veracruz, fue una población prehispánica. El nombre significa “abundancia de tecolotes” o “lugar de tecolotes”. En 1522 se llevó a cabo un encuentro de dos culturas: la indígena y la europea. Por decreto, el día 15 de diciembre de 1879 se creó el municipio de Tecolutla con las congregaciones del mismo nombre y las del Cristo y Boca de Lima, siendo la cabecera municipal la primera que se habilitó con categoría del pueblo (Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Veracruz, 2016).

8.1.1 Ubicación

El municipio de Tecolutla se encuentra ubicado en la zona centro del Estado de Veracruz, en las coordenadas 20° 29' latitud norte y 97° 00' longitud oeste, a una altura de 10 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Papantla, al este con el Golfo de México, al sur con San Rafael y Martínez de la Torre, y al oeste con Gutiérrez Zamora y Papantla (Fig. 4 y 5). Tiene una superficie territorial de 535.44 km², cifra que representa un 0.75% del territorio total del estado

8.1.2 Hidrografía

La región hidrológica a la que pertenece Tecolutla se ubica en los municipios de Tuxpan y Nautla, incluye el río Cazonas (20%), el río Tecolutla (32%) y el río, Nautla y otros (47%). En la subcuenca se encuentran el Arroyo Solteros (36 %), el río Tecolutla (32%), el estero L. de Tumilco (20%) y el río Nautla (11%). Las corrientes de aguas perennes están en Tecolutla, el estero La Victoria, Chichicatzapan y Solteros. La corriente intermitente es el arroyo Cañas y el cuerpo de agua perenne se encuentra en el estero Lagartos (INEGI, 2009).

El río Tecolutla es navegable con embarcaciones menores, tiene una longitud de 375 km. A lo largo de su curso recibe distintos nombres: arroyo Zapata, río Coyuca, río Apulco y finalmente Tecolutla. La desembocadura del río se encuentra adicionada por pequeños cuerpos de agua que son tributarios del río Tecolutla como el estero Silveña, estero Lagartos y estero de Larios. Los principales poblados que recorre el

río son: Cuetzalan, Zacapoaxtla, Zapotitlán, Huauchinango, Tajín, Tecuantepec, El Espinal, Papantla, Gutiérrez Zamora, Tecolutla, Cazones, Coatzintla, Chumatlán y Poza Rica (Fig.4)

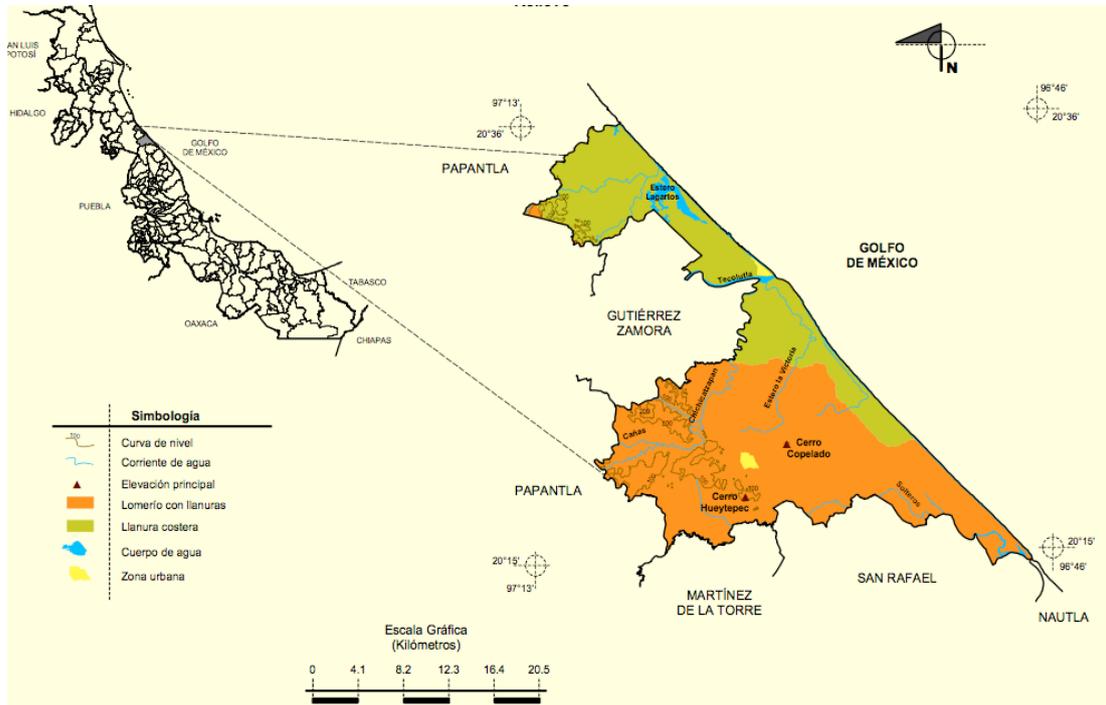


Figura 4. Hidrografía del estuario de Tecolutla, Veracruz.

Fuente: INEGI, 2005.

8.1.3 Clima

Clima templado húmedo con abundantes lluvias en verano (98%) y todo el año en la parte alta de la cuenca; cálido húmedo y subhúmedo con abundantes lluvias en verano (2%) y todo el año en la cuenca baja. La Temperatura media anual es de 14-26°C. La precipitación total anual es de 1,200 hasta más de 4,000 mm, con una evaporación de 1,064-1,420 mm (INEGI, 2005 & CONABIO, 2016).

8.1.4 Flora

La flora característica del lugar está compuesta por especies como *Brosimum alicastrum*, *Bursera simaruba*, *Cedrela odorata*, *Coccoloba barbadensis*, *Croton punctatus*, *Diphysa robinoides*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Ipomoea imperati*, *Palafoxia lindenii*, *Panicum repens*, *Sesuvium portulacastrum*, *Sporobolus virginicus*. El tipo de vegetación es de bosques de pino-encino, pino, encino, bosque mesófilo de montaña en la cuenca alta; selva mediana subperennifolia, sabana, manglar, vegetación halófila y palmar en la cuenca baja (CONABIO, 2016).

8.1.5 Fauna

La ictiofauna característica es *Astyanax fasciatus*, *Cathorops aguadulce*, *Gambusia rachowi*, *Gobiomorus dormitor*, *Ictiobus bubalus*, *Heterandria sp.* (especie endémica). La avifauna característica está compuesta por *Ajaia ajaia*, *Eudocimus albus*, *Casmerodius albus*, *Mycteria americana*, *Egretta thula*. Las especies amenazadas son: *Campylorhynchus gularis*, *Gambusia affinis*, *Ictalurus australis*; de aves *Accipiter striatus*, *Aulacorhynchus prasinus*, *Ciccaba virgata*, *Cyanolyca cucullata*. La carcinofauna es: *Procambarus (Ortmannicus) gonopodocristatus*, *Procambarus (Ortmannicus) villalobosi*, *Procambarus (Paracambarus) ortmanii*, *Procambarus (Paracambarus) paradoxus*, *Procambarus (Villalobosus) cuetzalanae*, *Procambarus (Villalobosus) erichsoni*, *Procambarus (Villalobosus) hortonhobbsi*, *Procambarus (Villalobosus) xochitlanae* y *Procambarus (Villalobosus) zihuateutlensis* (CONABIO, 2016).

8.1.6 Geología

En el área de estudio existen rocas sedimentarias e ígneas. Las rocas sedimentarias datan del periodo Terciario Superior de la era Cenozoica, pertenecientes a la formación Tuxpan del Mioceno, la cual corre a lo largo de la costa del Golfo de México en una franja aproximada de 25 kilómetros de ancho, que se hace angosta en la porción sur. Dentro de éstas se encuentra la roca arenisca Tm (ar), que es la unidad más abundante constituida por partículas de cuarzo y feldepasto, del tamaño de la arena y fragmentos líticos, con un cemento calcáreo (Castillo, 1999).

8.1.7 Actividades económicas

Dentro de las principales actividades económicas de Tecolutla está el turismo, esto se debe a que es una de las playas más cercanas a la ciudad de México; los visitantes practican la liberación de tortugas, visitan los esteros aledaños y realizan actividades recreativas en la playa. Aunado a lo anterior, el lugar tiene la zona arqueológica de Hueytepec, la parroquia de nuestra señora de Guadalupe, el faro viejo, el museo marino, etc. Para cubrir la demanda turística, Tecolutla cuenta con 55 hoteles con 1088 habitaciones; también existen aproximadamente 30 tiendas de ropa de playa, 15 zapaterías, 5 papelerías de productos básicos y 5 casas comerciales de venta de materiales para la construcción (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2003).

Otra actividad económica es la agricultura de maíz, frijol, sandía, tabaco, naranja, chile, piña, tangerina, plátano, papaya y mandarina. A la ganadería se destinan aproximadamente 128,780 hectáreas, con 48,493 cabezas de ganado bovino, 13,868 cabezas de porcinos y 450 cabezas de ovinos. Para la actividad pesquera existen dos cooperativas cuyos principales productos son la mojarra, jaiba, camarón, ostión, sábalo y robalo principalmente (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2003 & CONABIO, 2016).

8.2 Trabajo en campo

Durante los años 2016 y 2017 en el estuario de Tecolutla, Veracruz, se realizaron tres muestreos aleatorios durante varias temporadas del año: nortes en noviembre (2016), secas en marzo (2017) y lluvias en mayo (2017). Las épocas se establecieron de acuerdo con los registros de precipitación de agua (mm) que reportó CONAGUA en los años correspondientes. Los meses donde hubo mayor precipitación fueron considerados como lluvias, caso contrario a la época de secas.

En general, la colecta de muestras fue en cuatro estaciones a lo largo del estuario y una en línea de playa. Los sitios fueron identificados a través de georreferenciar las coordenadas (Tabla 3 y Fig. 5) con un GeoPosicionador Satelital (GPS) marca Gisim. Como información complementaria en las salidas de campo se registraron los parámetros fisicoquímicos de agua: salinidad (con un refractómetro portable ATC), temperatura y pH (con un potenciómetro portable marca Hanna modelo 98127).

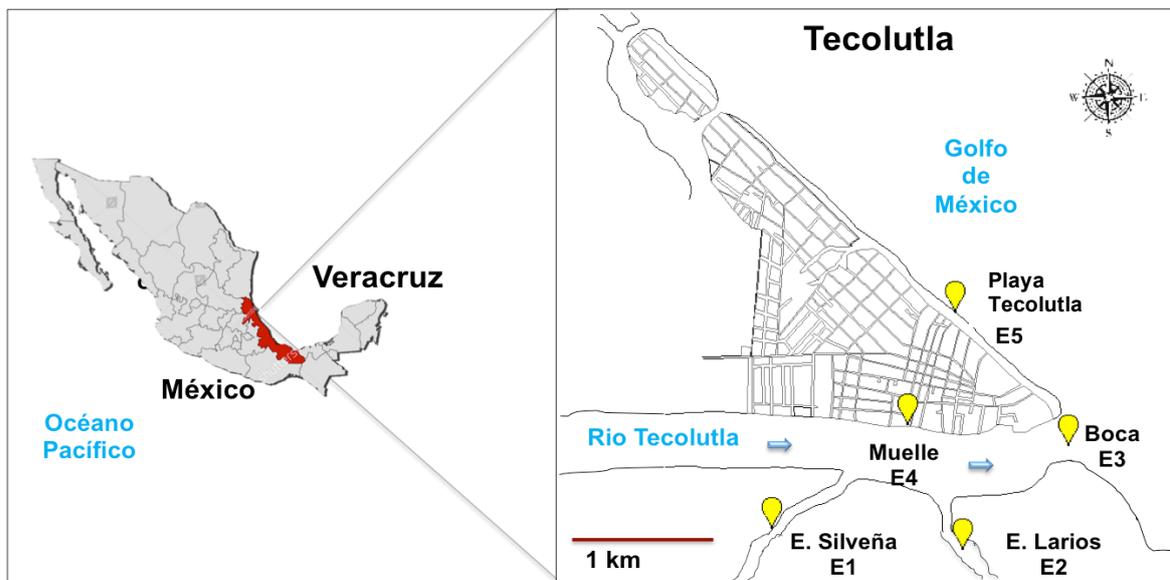


Figura 5. Ubicación de los sitios de colecta en el estuario de Tecolutla, Veracruz
Fuente: CONABIO 2016.

Tabla 3. Sitios de muestreos en el estuario de Tecolutla, Veracruz durante tres épocas climáticas en los años 2016 y 2017.

Sitio de muestreo	Clave	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
Estero La Silveña	E1	20°28' 4.77" N	97° 01' 13.64" O
Estero de Larios	E2	20° 27' 59.06" N	97° 0' 30.63" O
desembocadura	E3	20° 28' 26.99" N	97° 0' 4.93" O
muelle	E4	20° 28' 28.36" N	97° 0' 32.77" O
línea de playa	E5	20° 29' 17.06" N	97° 1' 1.63" O

8.2.1 Colecta de peces comerciales

En época de lluvias (junio, 2016) se hicieron colectas de peces en las estaciones del estero de Larios, del estero la Silveña y de la desembocadura. Cabe aclarar que en las dos primeras estaciones se utilizó el chinchorro para la captura. Para el caso de la desembocadura y en adelante se atraparon con una red agallera estándar de 50 m de largo con una abertura de 3 cm. Debido a las condiciones meteorológicas, en las épocas restantes solo se tomaron muestras en la desembocadura. El número de individuos de cada especie no estaba bajo control, lo que dio lugar a los diferentes números de individuos por especie.

Una vez obtenidos los peces, fueron inscritos sus datos biométricos básicos: la longitud total (cm) por medio de un ictiómetro y el peso (g) con una balanza portable Ohaus; asimismo, existen capturas de fotografías. Por la dificultad de trasladar las muestras en estudio, se eligió minimizar la carga de la siguiente manera: los tractos digestivos de la mayoría de los organismos se extrajeron en el momento, fueron

etiquetados y empacados en papel aluminio para preservarlos de la mejor manera posible en hieleras Coleman modelo 5248-718.

8.2.3 Colecta de agua

En cada sitio de colecta (E1, E2, E3, E4 y E5) se tomaron muestras puntuales de agua y se depositaron en recipientes limpios de vidrio, previamente etiquetados, con una capacidad de aproximadamente un litro. La botella fue sumergida aproximadamente 30 cm en el cuerpo de agua; una vez llena, se procedió a cerrarla bajo el agua para evitar contaminación del ambiente. Se observaron y registraron características del cuerpo de agua como: olor, color, turbiedad, presencia de espuma, etc. Estas muestras fueron almacenadas en hielo para su transporte.

8.2.4 Colecta de sedimento

Con una draga tipo Ekman, se obtuvo aproximadamente un kilogramo de sedimento de la capa superficial. Posteriormente, se guardó en frascos de vidrio, rotulados con datos del lugar, y se procedió al resguardo de los mismos en hieleras Coleman modelo 5248-718.

8.3 Trabajo en laboratorio

Las muestras de los organismos, agua y sedimento se ingresaron en el laboratorio de Ecotoxicología de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa.

8.3.1 Microplásticos en peces comerciales

La identificación de las especies se realizó a partir de varias claves taxonómicas, bases de datos y catálogos en línea (Miller, 2009; Fishbase, Colección Ictiológica de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2017). A cada especie se asignó el hábitat y el nivel trófico de acuerdo con los datos disponibles de Fishbase, 2016.

Los peces y tractos digestivos fueron descongelados a temperatura ambiente antes de la observación y se extrajeron 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 balanza analítica Plus Ohaus (g). Dependiendo de la fragilidad de los tractos digestivos, se realizó el siguiente procedimiento: para desintegrar materia orgánica, si el tejido era resistente, se realizaban 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 se semejaban a microplásticos fueron retirados con pinzas previamente higienizadas. Después de la inspección, los restos se transfirieron a círculos de papel filtro Whatman número 40, 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 (fragmento y fibra). La cuantificación se realizó con un microscopio digital Celestron modelo 44302 con capacidad de aumento de 10x a 150 x y una cámara de 2 megapíxeles. 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 ImageJ 1.5.0i; además, con el programa se corroboró la forma.

8.3.2 Microplásticos en agua

El volumen de agua se midió en una probeta. Ésta fue filtrada con papel Whatman número 40 y posteriormente el filtro se secó a 50°C durante 24 horas en un horno marca Felisa modelo 131. Finalmente, se hizo la identificación de las partículas siguiendo el procedimiento de medición igual al descrito en microplásticos en peces comerciales (8.3.1).

8.3.3 Microplásticos en sedimento

Los sedimentos fueron secados a 50° C en un horno marca Felissa modelo 131. Una vez libres de humedad, fueron triturados con pistilo en un mortero de porcelana para desintegrar fragmentos grandes que se formaron en el secado. El sedimento fue procesado con un tamiz marca Alsa número cuatro, con abertura 4.7 mm, con la finalidad de extraer las piezas que pudieran existir mayores de 5 mm . Las muestras se guardaron en frascos de vidrio rotulados hasta la siguiente etapa de separación de microplásticos.

Los reactivos utilizados para realizar la fase de separación por densidades fueron: peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30% marca J.T.Baker, cloruro de zinc (ZnCl_2) al 97% marca Karal, con el cual se preparó una solución con densidad de 1.5 g/cm^3 , y para filtrar se utilizó papel de celulosa marca Whatman número 40.

Se pesaron 400 gramos de sedimento y se extendió para proceder a dividir en cuatro partes iguales. Fueron seleccionadas al azar porciones de 20 gramos y fueron colocadas consecutivamente en recipientes de vidrio. Después, se aplicaron 200 ml de H_2O_2 para desintegrar la materia orgánica. La mezcla reposó por 48 horas. Posterior a ello se decantó para retirar los restos de agua oxigenada. Al sobrante se le agregó cloruro de zinc y se dejó reposar cuatro horas. 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).

8.3.4 Microscopia Electrónica de Barrido

La microscopia electrónica de barrido se utilizó para inspeccionar de manera más profunda la naturaleza de los elementos que se extrajeron del cuerpo de agua, sedimento y el contenido estomacal del tracto gastrointestinal de peces. La validación fue hecha por el Dr. Jonathan Muthuswamy Ponniah, adjunto al Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD) en el Instituto Politécnico Nacional (IPN). Adicional a las fotografías registradas se realizó un análisis elemental de los microplásticos.

8.4 Trabajo de gabinete

Una vez obtenidos los datos de la evaluación de microplásticos en organismos, agua y sedimento, se hicieron las pruebas estadísticas para determinar si los datos cumplían con los supuestos de normalidad. Los datos referentes a organismos y agua no cumplieron tal condición y se aplicó la prueba no paramétrica Kruskal Wallis, cabe mencionar que a partir de los valores de Bonferroni se realizaron las diferencias significativas entre los datos. En el caso de sedimento, se aplicó un ANOVA (análisis de la varianza). Las pruebas tienen un nivel de confianza de 95%. Los datos se procesaron con el programa NCSS 7.1.02

Se analizó si existía una correlación entre el número y longitud de las partículas encontradas en el tracto gastrointestinal de los peces y las medidas morfométricas de los mismos con el coeficiente de correlación de Spearman, utilizados para datos no paramétricos.

9. Resultados y discusión

Este trabajo es el primero en elaborar un registro de microplásticos en un estuario en México. Fue realizado en tres matrices (organismos, agua y sedimento) a diferencia de la mayoría de los estudios publicados, que sólo lo hicieron en una de ellas. Atender los datos de las tres matrices permitió medir y analizar el estado de salud del lugar con respecto a contaminantes plásticos con precisión y amplitud.

9.1 Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos se mantuvieron constantes en las tres épocas en que se muestrearon: el pH varió entre 6.8 y 7.92; la temperatura, entre 23.02 y 29° C; y la salinidad, entre 7.2 y 9 ups (Tabla 4). La literatura menciona (Zhao *et al.*, 2014; Tsang *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2017) que la temperatura, el pH y la salinidad influyen en el tiempo que tardan en degradarse los polímeros, pero hasta la fecha no existe estudio alguno que inspeccione dicha relación. Sin embargo, es necesario realizar los registros de parámetros para conformar una base de datos que en futuros estudios sirvan para calcular el tiempo de fragmentación de los polímeros presentes en el estuario.

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos registrados en tres épocas climáticas en el estuario de Tecolutla.

	Nortes	Secas	Lluvias
pH	7.54	6.8	7.92
Temperatura	26 °C	23.02 °C	29 °C
Salinidad	7.2 ups	7.4 ups	9 ups

9.2 Microplásticos en peces comerciales

Se colectaron un total de 187 peces, los cuales pertenecen a nueve géneros y 10 especies. Estos organismos fueron clasificados de acuerdo con su hábitat y dieta (Tabla 5); así, 146 organismos fueron de hábito demersal y 41 de hábito pelágico. De acuerdo con su dieta, 65 se clasificaron como carnívoros y 122 como omnívoros.

Tabla 5. Nombre común, hábitat y dieta de diez especies ictiológicas comerciales del estuario de Tecolutla, Veracruz.

Especie	Nombre común	Hábitat	Dieta	Núm. Organismos
<i>Conodon nobilis</i> (Linnaeus, 1758)	Ronco canario	demersal	Carnívoro de tipo bentófago	27
<i>Diapterus auratus</i> Ranzani, 1842	Mojarra	demersal	Omnívoro de tipo bentófago	33
<i>Cynoscion arenarius</i> Ginsburg, 1930	Zorra	demersal	Carnívoro de tipo depredador	20
<i>Mugil cephalus</i> Linnaeus, 1758	Lisa	pelágico	Omnívoro de tipo detritívoro	4
<i>Mugil curema</i> Valenciennes, 1836	Lebrancha	pelágico	Omnívoro de tipo detritívoro	3
<i>Centropomus pectinatus</i> Poey, 1860	Chucumite	demersal	Carnívoro de tipo depredador	4
<i>Caranx hippos</i> (Linnaeus, 1766)	Jurel	pelágico	Carnívoro	6
<i>Ariopsis felis</i> (Linnaeus, 1766)	Bagre	demersal	Omnívoro de tipo detritívoro	54
<i>Brevoortia gunteri</i> Hildebrand, 1948	Lacha	pelágico	Omnívoro de tipo planctófago	28
<i>Albula vulpes</i> (Linnaeus, 1758)	Macabí	demersal	Carnívoro de tipo bentófago	8

Tabla 6. Promedio (\pm DE) de las medidas morfométricas de los peces capturados; número de microplásticos en tracto gastrointestinal por especie y por organismo.

Especie	Peso (g)	Longitud cm (min-max)	Núm. de partículas especie	Núm. de partículas por organismo
<i>Conodon nobilis</i> (Linnaeus, 1758)	263.41 \pm 238.57	31.08 \pm 3.04 (24.4-38)	162	6 \pm 8.66
<i>Diapterus auratus</i> Ranzani, 1842	64.86 \pm 46.14	16.66 \pm 3.6 (11.1-25.7)	182	5.51 \pm 5.2
<i>Cynoscion arenarius</i> Ginsburg, 1930	116.17 \pm 31.84	22.46 \pm 1.75 (18.8-24.4)	83	4.15 \pm 2.92
<i>Mugil cephalus</i> Linnaeus, 1758	157.75 \pm 36.28	26.22 \pm 2.82 (24.3-30.4)	16	4 \pm 5.41
<i>Mugil curema</i> Valenciennes, 1836	235.9 \pm 38.75	31.23 \pm 3.32 (28.7-35)	2	0.66 \pm 0.57
<i>Centropomus pectinatus</i> Poey, 1860	333.75 \pm 177.17	33.02 \pm 6.69 (23-36.9)	32	8 \pm 9.66
<i>Caranx hippos</i> (Linnaeus, 1766)	142.41 \pm 105.93	21.75 \pm 4.67 (18-30.7)	26	4.33 \pm 3.77
<i>Ariopsis felis</i> (Linnaeus, 1766)	185.02 \pm 94.52	27.96 \pm 4.22 (19-38.3)	298	5.52 \pm 4.72
<i>Brevoortia gunteri</i> Hildebrand, 1948	111.07 \pm 75.26	22.12 \pm 4.64 (15.2-32.4)	43	1.57 \pm 2.72
<i>Albula vulpes</i> (Linnaeus,1758)	211.75 \pm 68.08	37.43 \pm 5.21 (30.8-44)	38	4.75 \pm 3.45

Todos los organismos y sus respectivos tractos gastrointestinales fueron pesados y medidos (Tabla 6). En el presente estudio no hubo correlación entre el número de partículas ingeridas y la longitud o el peso de los peces. La cantidad de microplásticos ingeridos entonces no parece depender del tamaño de los peces.

En relación con el número de microplásticos, la ingesta promedio por pez fue de 4.72 ± 0.39 . El número de microplásticos promedio fue más alto en *Centropomus pectinatus* (8 ± 9.66), que es un pez demersal y carnívoro (Tabla 6). Por otro lado, *Mugil curema* fue la especie que menos consumió microplásticos (0.66 ± 0.57) que aunque es demersal, es omnívoro.

La especie más abundante en los muestreos fue *Ariopsis felis* (54 ejemplares), la cual ha sido catalogada en otros estudios como un bioindicador adecuado del lugar (Vázquez *et al.*, 2008). Asimismo, esta especie mostró la mayor diversidad de colores de microplásticos. En contraste, la especie menos abundante fue *Mugil curema* (2 ejemplares).

En 155 peces se encontraron 882 microplásticos, por lo que solo el 17% de los ejemplares muestreados no presentaron ninguna partícula plástica en su tracto gastrointestinal. Los microplásticos presentaron un tamaño (longitud) promedio de $678 \pm 664 \mu\text{m}$ con un mínimo de $40 \mu\text{m}$ y un máximo de $4380 \mu\text{m}$. El intervalo del tamaño de los microplásticos (Fig. 6) muestra que las clases más comunes (56.3%) corresponden a las que abarcan los tamaños de 40 a 520 μm , mientras que las siguientes cinco clases (521-1720 μm) comprenden el 36.6%. La ocurrencia del resto de los tamaños fue poco frecuente.

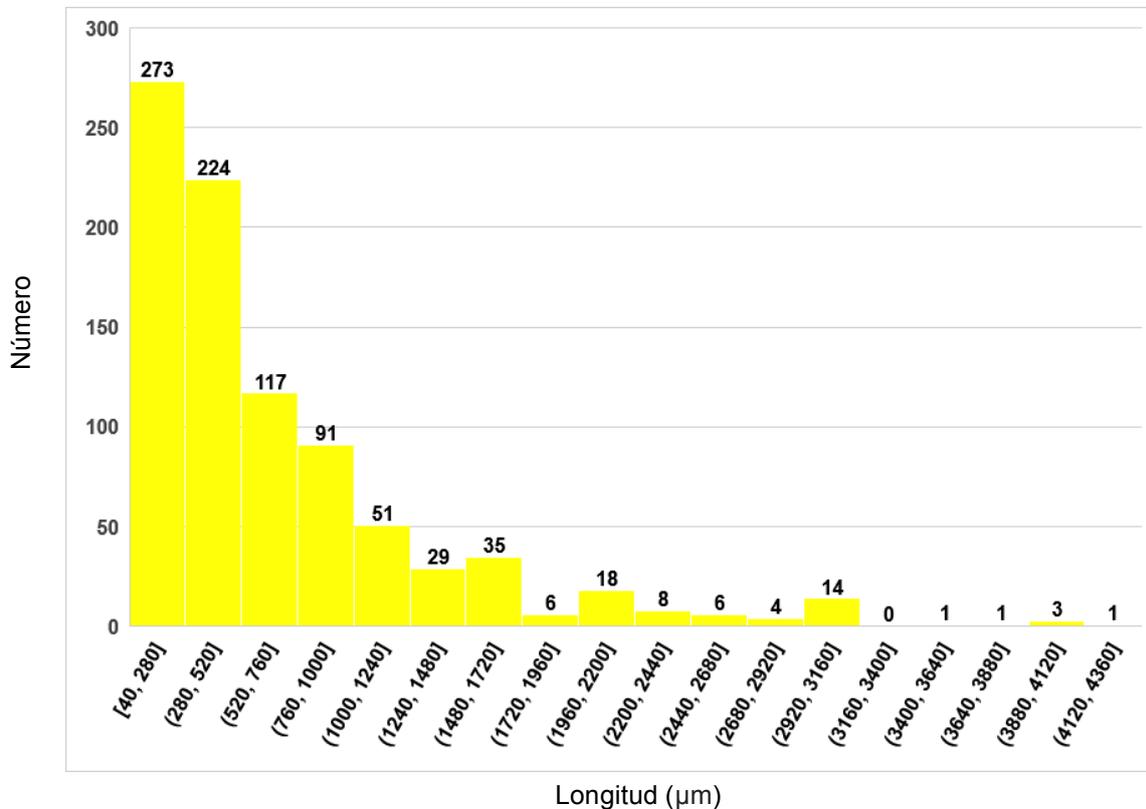


Figura 6. Longitud (μm) de los microplásticos encontrados en el tracto digestivo de peces comerciales del estuario de Tecolutla, Veracruz.

El número promedio de microplásticos más alto se encontró en *Centropomus pectinatus*, seguido de *Conodon nobilis* y *Ariopsis felis*. Cabe mencionar que se encontraron diferencias significativas entre el número de partículas consumidas en las diez especies, es decir, el consumo de polímeros depende de la especie.

En relación con la longitud (Fig. 8), *Ariopsis felis* presentó las partículas más largas, lo cual podría explicarse por los diferentes hábitos alimenticios, siendo omnívora y además fue la especie con mayor número de ejemplares. Por otra parte, en la especie *M. curema* se debe considerar que el número de microplásticos obtenidos fue pequeño, por lo que cabría recomendar un estudio posterior enfocado a esta última especie para validar estos resultados y describir diferencias estadísticas.

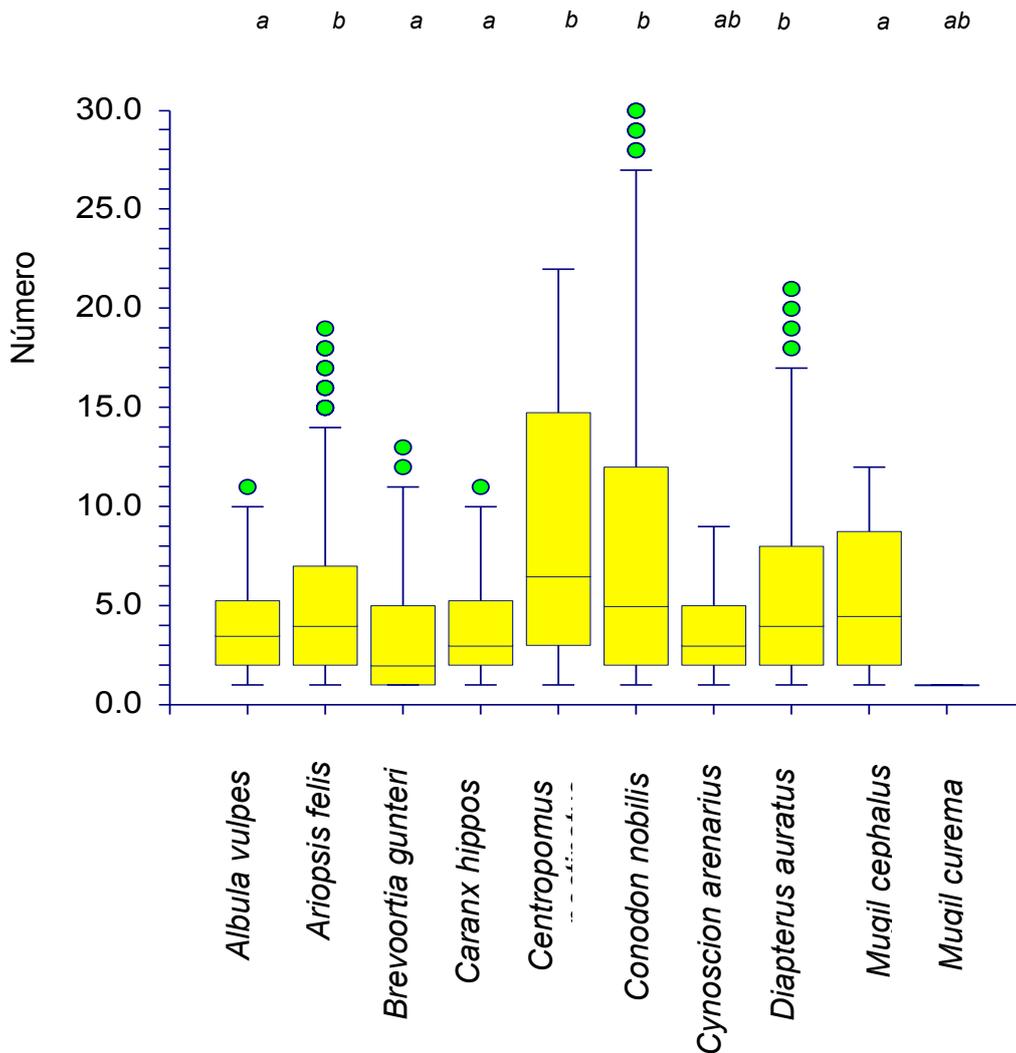


Figura 7. Número de microplásticos en diez especies comerciales del estuario de Tecolutla, Veracruz. Diferentes letras indican diferencias significativas. Puntos verdes son datos extremos.

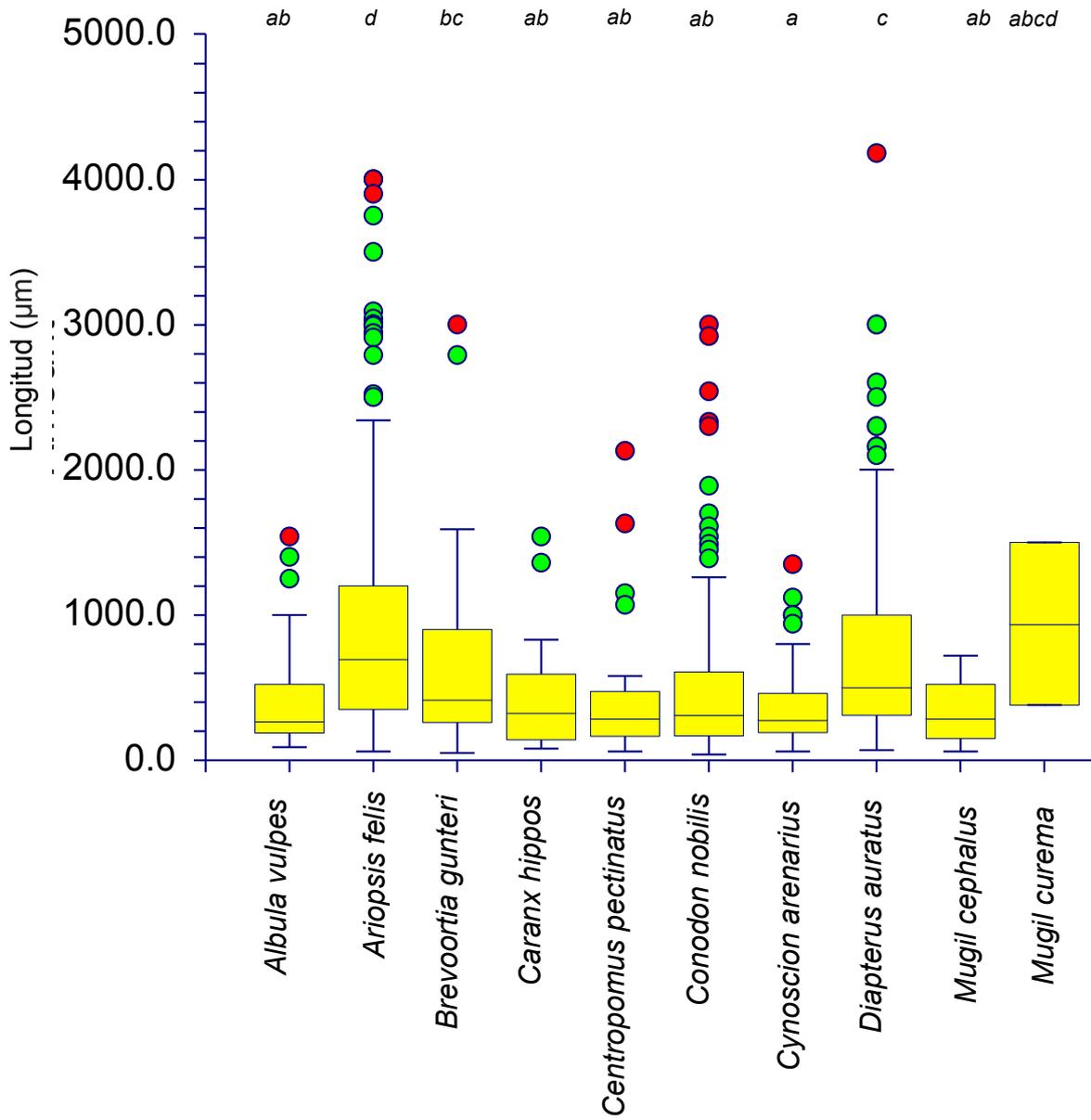


Figura 8. Longitud de microplásticos en diez especies comerciales del estuario de Tecolutla, Veracruz. Diferentes letras indican diferencias significativas. Puntos verdes y rojos son datos extremos.

En la comparación del número de microplásticos en los diferentes hábitos (Fig. 9) se encontró que hay una diferencia significativa entre ellos. Caso contrario cuando se comparó el tamaño de las partículas en estos mismos grupos (Fig. 10); es decir, influye el lugar donde habitan: en zonas demersales consumen más partículas.

Al comparar el número de microplásticos ingeridos por peces con diferentes dietas no existen diferencias significativas. Sin embargo, los omnívoros consumen menos microplásticos respecto a los carnívoros. Respecto a la longitud de los microplásticos en las diferentes dietas, existen diferencias significativas. Los omnívoros consumen partículas más grandes en comparación con los omnívoros con tendencia detritívora (Fig. 11 y 12).

En relación con su forma todas las partículas analizadas (100%) tenían forma de fibra (Fig. 13 y 14).

Los microplásticos encontrados son en su mayoría de color negro, seguido de azul y rojo (Fig. 15). También se encontraron colores brillantes como rosa, verde y ámbar en la especie *Ariopsis felis*. Los colores pueden indicar la posible fuente de origen de los microplásticos (Andrady *et al.*, 2011; Neves *et al.*, 2015; Lassen *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2016); sin embargo, las partículas muy intemperizadas pueden perder el color original haciendo imposible conocer su origen a través de su color.

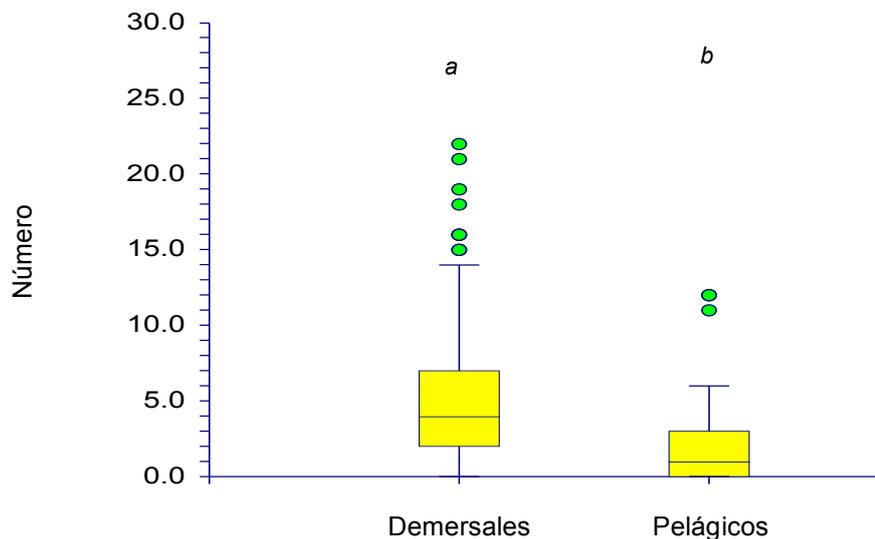


Figura 9. Número de microplásticos encontrados en peces demersales y pelágicos del estuario de Tecolutla, Veracruz. Diferentes letras indican diferencias significativas. Puntos verdes son datos extremos.

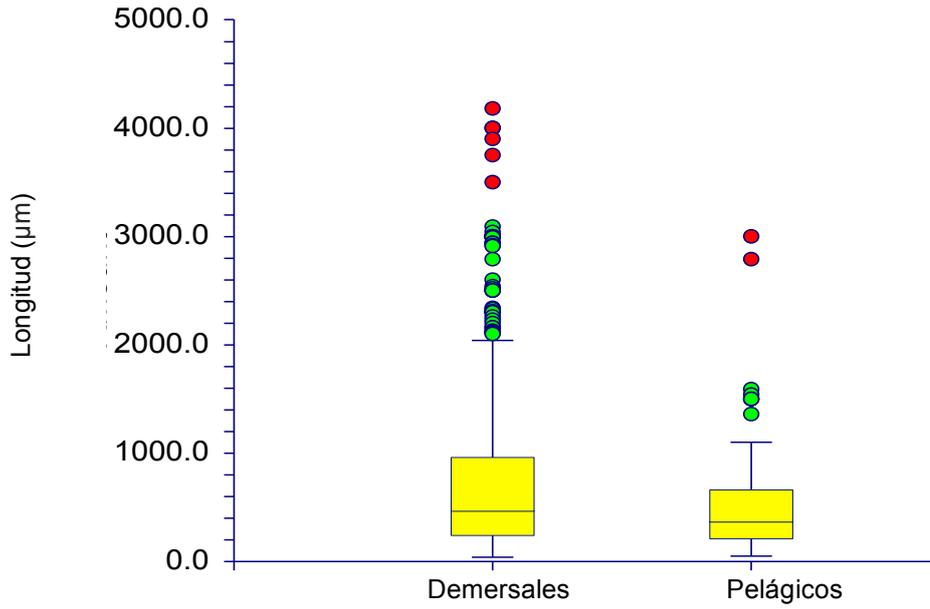


Figura 10. Longitud (μm) de microplásticos encontrados en peces demersales y pelágicos del estuario de Tecolutla, Veracruz.

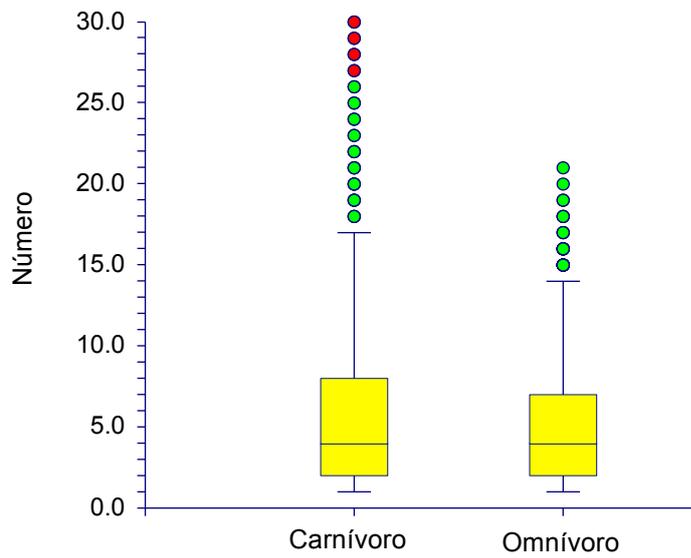


Figura 11. Número de microplásticos encontrados en peces con diferentes dietas del estuario de Tecolutla, Veracruz. Puntos verdes y rojos son datos extremos.

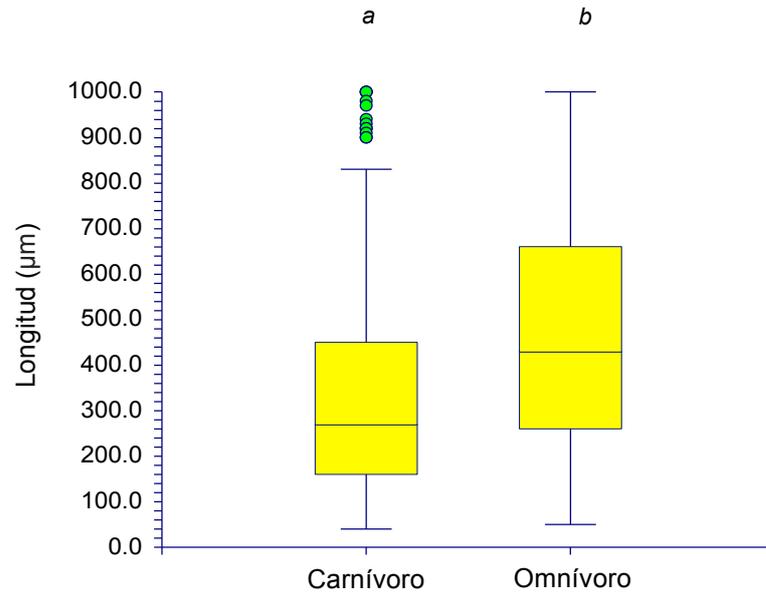


Figura 12. Longitud (μm) de microplásticos encontrados en peces del estuario de Tecolutla, Veracruz de acuerdo con su dieta. Diferentes letras indican diferencias significativas. Puntos verdes son datos extremos.

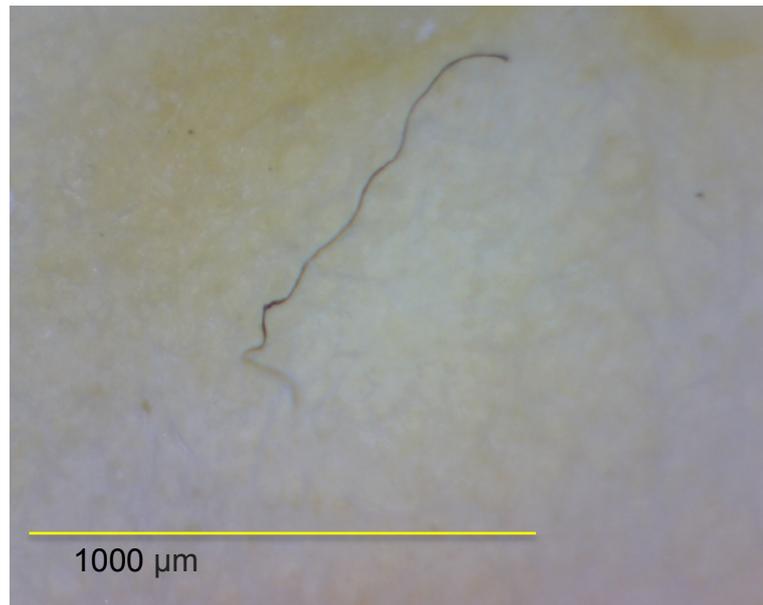


Figura 13. Microplástico en forma de fibra, color negro en tracto gastrointestinal de *Brevoortia gunteri*

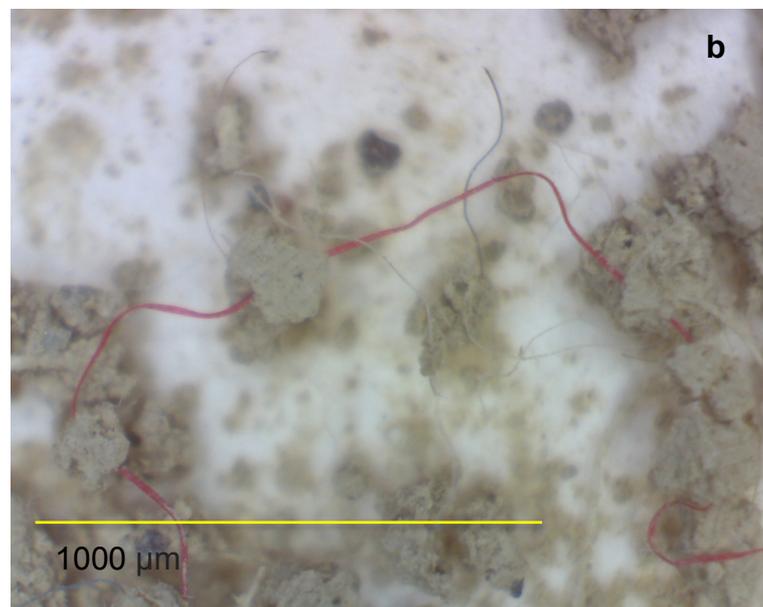


Figura 14. Microplásticos en forma de fibra a. de color azul y negro y b. color rojo en tracto gastrointestinal de *Ariopsis felis*.

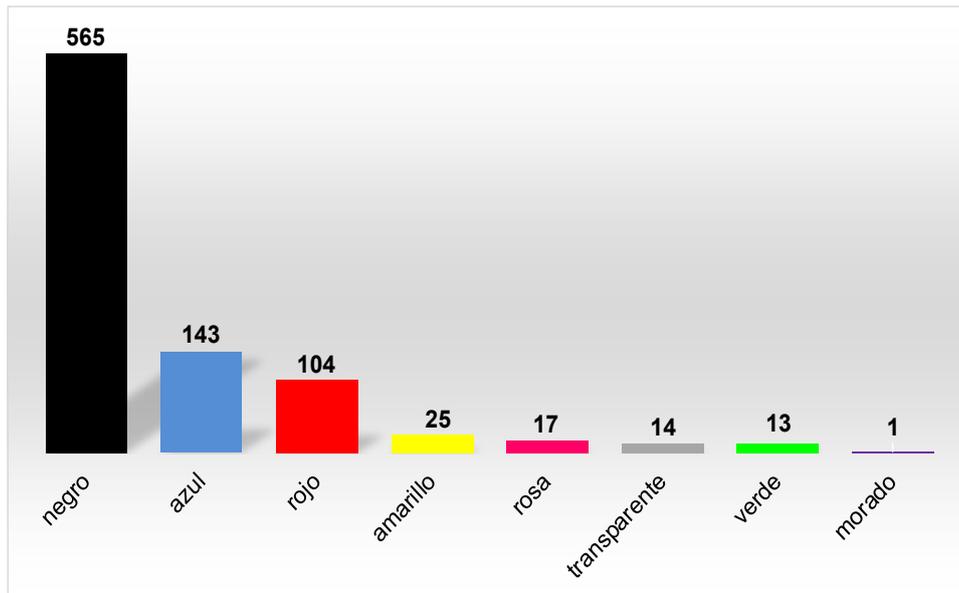


Figura 15. Número de microplásticos de cada color en peces comerciales del estuario de Tecolutla, Veracruz.

El presente estudio proporciona el primer registro de microplásticos en el tracto gastrointestinal de diez especies de peces teleósteos comerciales encontrados en el estuario de Tecolutla.

No se encontró correlación alguna entre las medidas morfométricas (Tabla 1) de los peces y del tracto digestivo, y el contenido y longitud de los microplásticos encontrados. Es decir, el tamaño y el peso del organismo y de su tracto digestivo no están correlacionados con el número de las partículas poliméricas ingeridas.

Los datos del presente trabajo muestran que los peces están expuestos a la ingesta de microplásticos en el estuario de Tecolutla y, por ello, a los efectos de los polímeros. En otras investigaciones se ha registrado que la ingesta de partículas disminuye las funciones motoras y con ello la alimentación, especialmente en los estadios juveniles de los peces (Possatto *et al.*, 2011). Cabe mencionar que los organismos colectados de nueve de las diez especies eran juveniles, ya que los estuarios tienen la importante función de servir como áreas de crianza para muchas especies (Odum, 2004; Bakir *et al.*, 2014). Por ello, el riesgo que representan los microplásticos en estos ambientes es aún mayor.

La proporción de peces que presentaron polímeros sintéticos (82.89%) fue mayor a los resultados registrados en otros lugares del mundo como Canal Inglés, Golfo de México (Laguna Verde), Mediterráneo, Atlántico y Mediterráneo, Mar del Norte y Báltico y Turkia (Lusher *et al.*, 2013; Phillips y Bonner., 2015; Romeo *et al.*, 2015; Bellas *et al.*, 2016; Rummet *et al.*, 2016; Güven *et al.*, 2017). A la vez, el número de microplásticos ingeridos por pez es mayor en Tecolutla que en aguas dulces de

China, (Wang *et al.*, 2017). Todo esto es un indicio de los altos niveles de microplásticos en el estuario como resultado de un mal manejo de los residuos plásticos en la región. Hasta el momento no existe una normativa para microplásticos y los resultados de los diferentes sistemas podrían ser una base para plantearlos.

Se observó que los microplásticos con mayor abundancia son los menores a 280 μm . Su pequeño tamaño los hace más disponibles para la ingestión. Se ha registrado que los materiales pequeños se aglutinan con mayor facilidad en el tracto digestivo y pueden estar en el organismo un tiempo y después ser desechados. Sin embargo, cuando las cantidades son mayores pueden ocasionar una obstrucción y con ello aumentar la sensación de saciedad, resultando, en los peores casos, en la suspensión de la alimentación y la consecuente muerte (Thompson *et al.*, 2009; Wright *et al.*, 2013; Vandermeersch *et al.*, 2015).

Por otra parte, al existir un número alto de partículas poliméricas en el estuario de Tecolutla, esto aumenta la posibilidad de transferir otros contaminantes (como los plaguicidas, metales y COPs) a la fauna. Aunado a lo anterior, se reporta que los materiales, entre más pequeños son, mayor área superficial tienen, por lo que su capacidad para transferir los contaminantes antes mencionados se incrementa aún más (Teuten *et al.*, 2007; Tsang *et al.*, 2017).

En relación con el hábito, los peces pelágicos y demersales presentaron partículas plásticas en su tracto digestivo; probablemente, la ingestión de los microplásticos ocurrió de manera accidental durante la actividad alimentaria, esto debido a que, por su tamaño, los microplásticos pueden ser confundidos con los sedimentos y algunos organismos planctónicos.

Los resultados indican que los peces de hábitos demersales ingieren mayor cantidad de microplásticos, lo que coincide con el trabajo de Lusher *et al.*, (2013), donde los peces demersales eran los mayores consumidores de microplásticos. Sin embargo, otros estudios como el de Neves *et al.*, (2015) concluyen que los peces pelágicos de Portugal tienden a consumir más partículas poliméricas. En el presente estudio, hubo una diferencia significativa entre ambos grupos, es decir, los peces que habitan la parte profunda del sistema tienden a consumir estadísticamente más microplásticos y de mayor longitud (μm). Esto pudo haber sido influenciado por la densidad de los polímeros presentes, ya que, en los estuarios, estos se hunden cuando su densidad específica es mayor a 1.02 kg/m^3 (Cole *et al.*, 2011). También influyen las corrientes provocadas por el intercambio de agua salada y marina, fenómeno característico de las desembocaduras de los estuarios (Odum, 2004; Geyer & MacCready, 2014), y por las fuentes de aporte de microplásticos en el sitio, ya que se conoce que la gestión de residuos no es efectiva (Basura en los océanos, un reto internacional, 2011).

En relación con la dieta, se observaron diferencias significativas entre los grupos. Los organismos que ingirieron mayor cantidad de microplásticos fueron los peces carnívoros; estos se alimentan de peces bentónicos, crustáceos, moluscos, entre

otros. Así, los microplásticos pudieron llegar a los carnívoros a través de la cadena trófica. Por otro lado, los peces carnívoros son más susceptibles al consumo de los plásticos en el medio acuático ya que utilizan principalmente el olfato como herramienta para la obtención de sus presas, y se reportó que los aditivos liberan olores parecidos a los de las presas, por lo que pueden consumir polímeros en lugar de alimento. Es posible que los peces carnívoros tengan mayor resistencia a la ingesta de microplásticos debido a que su intestino es un órgano pequeño y resistente que está adaptado para retener poco tiempo las provisiones, a diferencia del de los peces herbívoros y omnívoros, que tienen un intestino largo y frágil (Lagler *et al.*, 1990; Granado, 2002).

Es poco probable que la ingesta de plásticos se deba a una confusión por su color, ya que se sabe que los peces diurnos tienen poco desarrollada la percepción de colores (Lagler *et al.*, 1990). Sin embargo, para el caso de los peces omnívoros y herbívoros, la forma del plástico si es probable que sea confundida con el fitoplancton (Lusher *et al.*, 2013; Nieto & Montoto, 2017). Aunado a lo anterior, los fragmentos de plásticos, por su forma, tamaño y naturaleza, tienden a precipitar. Por lo tanto, están disponibles para otros organismos sésiles que son consumidos por organismos móviles como los peces.

En este trabajo se capturó un número pequeño de *Mugil curema* y los resultados apuntan a que son las especies menos propensas a consumir microplásticos; sin embargo, es importante confirmar esta conclusión, por lo que se propone que en estudios futuros se diseñe un muestreo específico para estas especies.

Más de la mitad de los peces examinados del estuario de Tecolutla ingirieron partículas plásticas. Sin embargo, no es posible comprender en su totalidad los efectos de esta ingesta. Hacen falta estudios de laboratorio en los que se considere la naturaleza de los polímeros, su tamaño, así como los contaminantes que pudieran estar asociados a estas partículas y el tiempo de residencia en el intestino.

Finalmente, en esta investigación se observó que existen diferencias significativas en el número como en la longitud de los microplásticos cuando se consideran el hábito y el tipo de dieta de las diez especies del estuario de Tecolutla, por lo que es indudable que los microplásticos están presentes en este sistema.

El color podría ayudar a descifrar el producto del cual provienen los polímeros. En el lugar se pudieron observar neumáticos abandonados de color negro; estos, con el tiempo y las condiciones, tienden a fragmentarse y, debido a la cercanía del estuario, son fácilmente depositados en el sistema. Otros aportes de fibras negras son los trajes de baño de los turistas y las bolsas de basura (Andrady *et al.*, 2011; Lassen *et al.*, 2015; Nieto & Montoto, 2017).

Por otro lado, la literatura afirma que las partículas de color azul pueden provenir de las redes de pesca (Lusher *et al.*, 2013); por lo que se puede inferir que los microplásticos de color azul pertenecen a redes abandonadas en el estuario por los

pescadores, cuya actividad es de importancia económica en el sitio. El color rojo se asocia a boyas de color rojo (Lassen *et al.*, 2015), y debido al alto consumo de ciertas marcas de refresco cuyas tapa roscas son de color rojo se propone que éstas pudieran ser una fuente más de partículas plásticas de este color. Asimismo, los colores azul y rojo se pueden asociar a fragmentos de pinturas que se desprenden de las embarcaciones (Lusher *et al.*, 2017) que a diario son utilizadas, pues Tecolutla es un lugar turístico donde se ofrecen paseos a diario.

La totalidad de las partículas de plástico encontradas en este estudio presentaron forma de fibra, lo cual es similar a lo registrado en las costas del Atlántico y el Mediterráneo, el Canal Inglés y en Portugal, donde se llevaron a cabo estudios en los que se encontró que más del 60% de las partículas eran en forma de fibra (Bella *et al.*, 2010; Lusher *et al.*, 2013; Neves *et al.*, 2015).

La alta proporción de la forma de fibra puede deberse a la rápida descomposición de los polímeros en el lugar, ya que las altas temperaturas, la acción de las corrientes y la salinidad favorecen la degradación de los plásticos que la población arroja directamente al estuario. Otra posible fuente de fibras es el agua desechada luego del lavado de textiles, como los ocupados en la hotelería (toallas sanitarias, toallas de baño, sábanas, pañales, etc.), ya que se calcula que en cada lavado de ropa se desprenden 1900 fibras (Browne *et al.*, 2010).

9.4 Microplásticos en agua

Se encontraron 452 microplásticos en 27 litros de agua filtrada del estuario de Tecolutla, durante tres épocas climáticas (nortes, lluvias y secas), registrados en cinco puntos de muestreo (Fig. 5). En época de lluvias se encontraron 111; en época de nortes, 191; y en época de secas, 150. El conteo de microplásticos para cada estación en cada locación fue: en el estero la Silveña, 140; en el estero de Larios, 109; en el muelle, 67; en la desembocadura, 56; y en la playa, 80. Hay que enfatizar que la cantidad de piezas encontradas no presenta diferencias significativas entre los puntos de muestreo ni entre las diferentes épocas climáticas del estuario de Tecolutla.

Transformando los datos anteriores, se estimó el número de microplásticos por metro cúbico en el estuario de Tecolutla. El mayor número se localizó en el estero la Silveña y en el estero de Larios en época de nortes; seguidos por la Playa, el estuario de Silveña y el estuario de Larios en época de secas (Tabla 7).

Los microplásticos en muestras de agua del estuario de Tecolutla tuvieron un tamaño (longitud) promedio de $135 \pm 210 \mu\text{m}$, con un mínimo de $10 \mu\text{m}$ y un máximo de $1730 \mu\text{m}$. Dicha variación en el tamaño de los microplásticos, muestra que las clases más comunes corresponden a los tamaños de $10 \mu\text{m}$ a $110 \mu\text{m}$ (73.67%), mientras que las siguientes seis clases ($521\text{-}1720 \mu\text{m}$) compusieron el 23.8% restante. El hallazgo de tamaños distintos a los mencionados fue raro (Fig. 16).

Al comparar la longitud de las partículas encontradas en el estuario de Tecolutla en cada una de las tres épocas climáticas, se encontraron diferencias significativas entre los tres grupos (Fig. 17). En la época de lluvias están los microplásticos más grandes, seguidos de los encontrados en nortes, mientras que los más pequeños estuvieron en secas.

La medición longitudinal de los microplásticos en agua de las cinco estaciones, dio resultados relevantes: las piezas de mayor tamaño se encontraron en la estación de la desembocadura; las de menor tamaño, en la estación del muelle; y existen diferencias significativas entre la estación de la desembocadura y la del estero de Silveña, y entre la estación de Silveña y la del muelle (Fig. 18).

Según la forma de los microplásticos en agua, se observó que la fibra es la más común, constituyendo el 99.5%, mientras que el 0.5% fueron fragmentos indefinidos (Fig. 19 y 20).

Los colores de mayor abundancia en los microplásticos en agua fueron, de mayor a menor, negro, con 366 piezas; azul, con 52; y rojo, con 21 (Fig. 21). Cabe aclarar que estas mismas coloraciones fueron predominantes en las otras dos matrices (piezas en el tracto gastrointestinal de los peces y en sedimento).

Tabla 7. Partículas plásticas en un metro cúbico (m³) en cinco estaciones y durante tres épocas climáticas.

Época	Estación	Partículas por m ³
nortes	estero la Silveña	40 220.39
nortes	estero de Larios	29 729.73
nortes	desembocadura	8 695.65
nortes	muelle	14 130.43
nortes	línea de playa	11 731.84
secas	estero la Silveña	20 555.56
secas	estero de Larios	16 666.67
secas	desembocadura	12 222.22
secas	muelle	12 777.78
secas	línea de playa	21 111.11
lluvias	estero la Silveña	16 666.67
lluvias	estero de Larios	13 333.33
lluvias	desembocadura	10 000.00
lluvias	muelle	10 000.00
lluvias	línea de playa	11 666.67

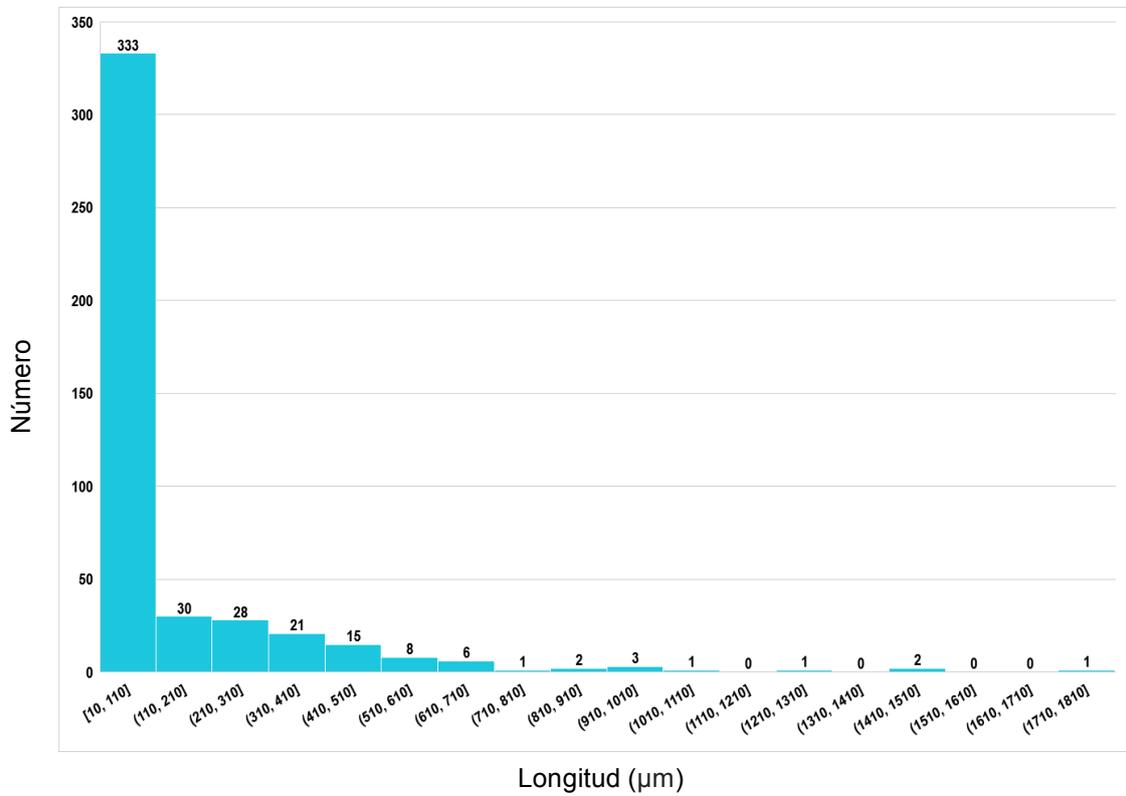


Figura 16. Longitud (µm) de los microplásticos encontrados en agua del estuario de Tecolutla, Veracruz.

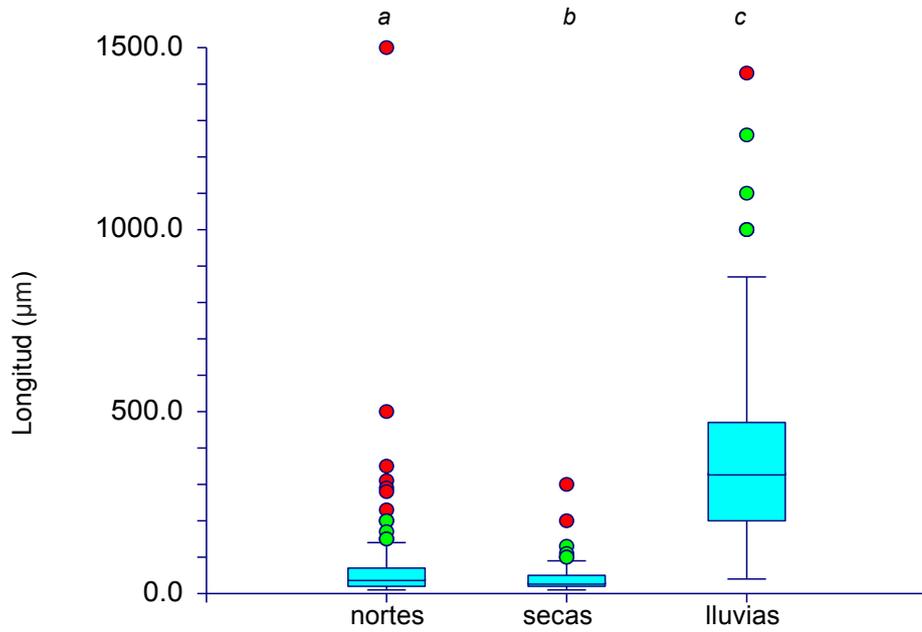


Figura 17. Longitud de microplásticos encontrados en agua en tres épocas del estuario de Tecolutla, Veracruz. Diferentes letras indican diferencias significativas. Puntos verdes y rojos son datos extremos.

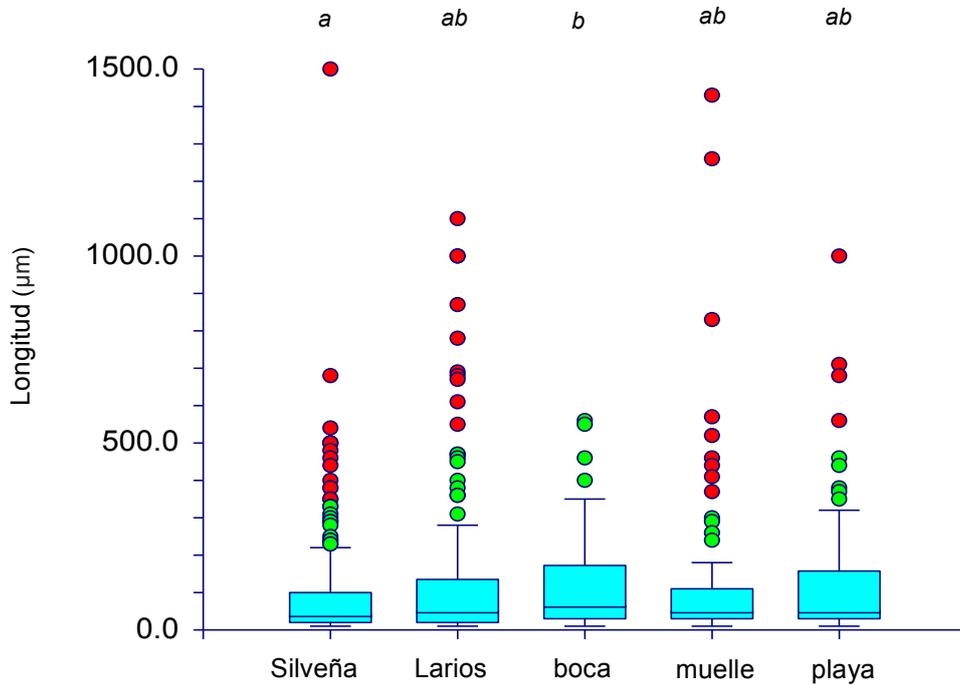


Figura 18. Longitud de microplásticos encontrados en cinco estaciones del estuario de Tecolutla, Veracruz. Diferentes letras indican diferencias significativas. Puntos verdes y rojos son datos extremos.

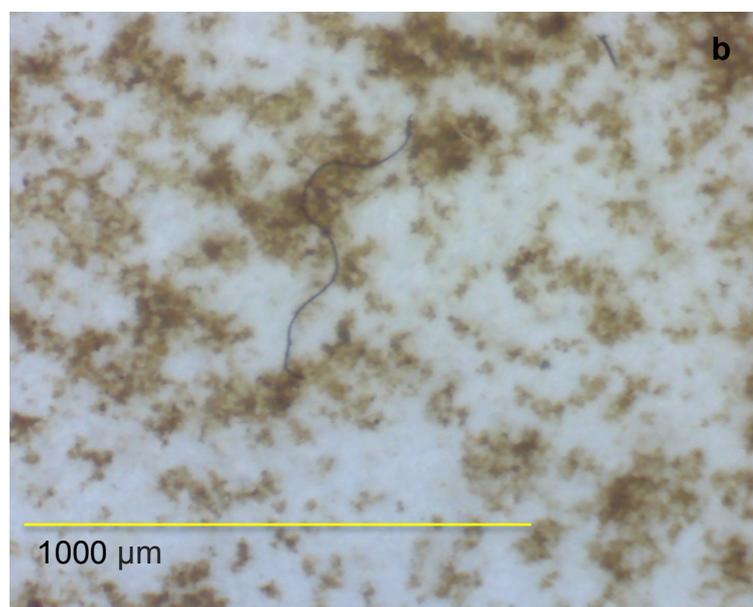
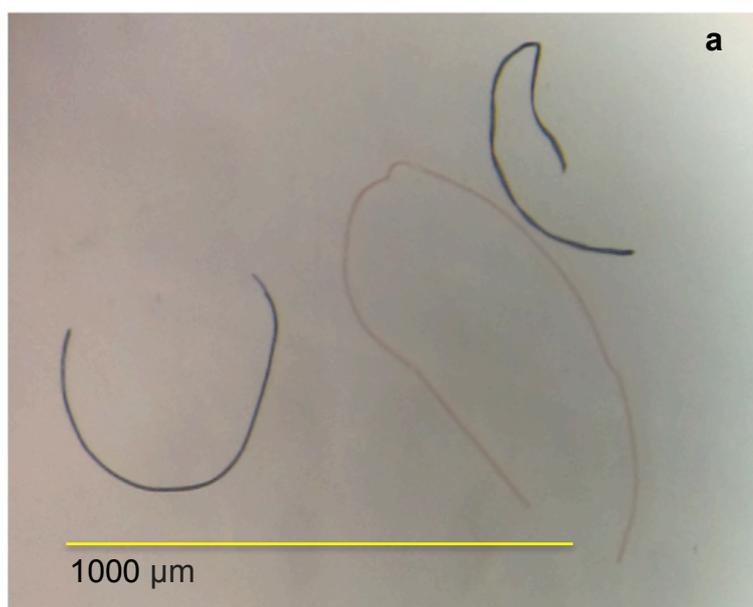


Figura 19. Microplásticos en forma de fibra a. de color negro y rojo b. color negro del estuario de Tecolutla, Veracruz.

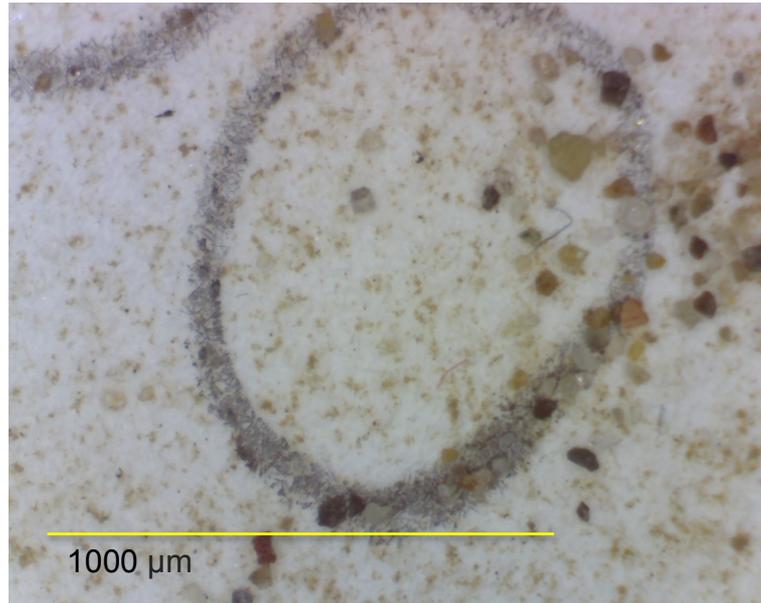


Figura 20. Microplásticos en forma de fibra, color negro, similares a los granos de arena, en agua del estuario de Tecolutla Veracruz.

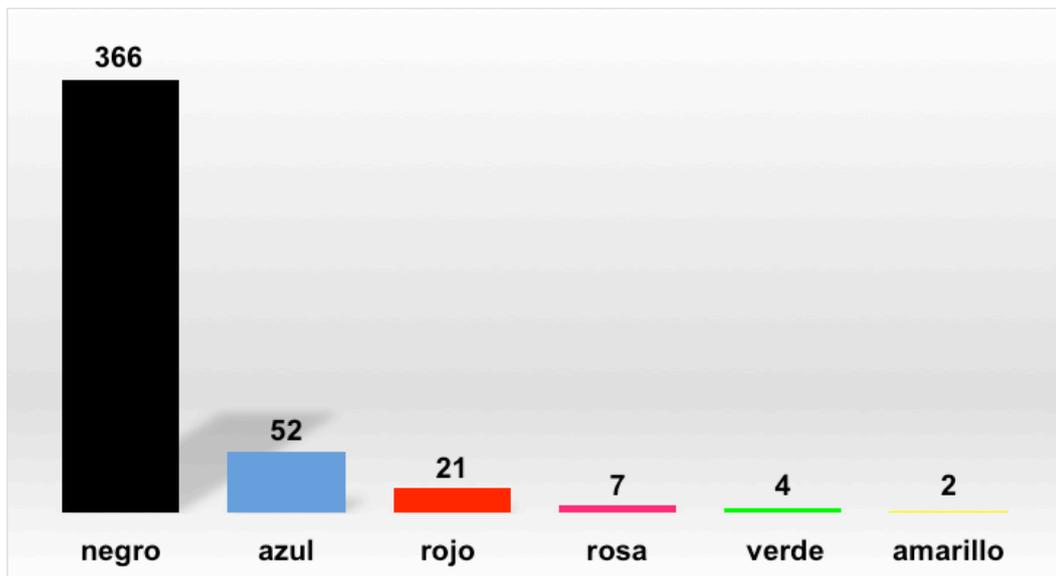


Figura 21. Número de microplásticos de cada color en agua del estuario de Tecolutla.

Se ha comprobado que los asentamientos humanos próximos a los estuarios producen una gran cantidad de residuos sólidos que son arrojados a los cauces aledaños (Zhao *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2013). En Tecolutla, por ejemplo, no existe un manejo de residuos sólidos adecuado, por lo que la gran mayoría de la basura es incinerada o arrojada al ecosistema acuático. Se ha reportado que de los residuos generados en el lugar, 70% son procesados mientras que el 30% restantes son gestionados de manera inadecuada y por ende arrojados al medio ambiente (Veracruz-gob, 2017). Asociado a lo anterior, en Tecolutla, solamente existe una planta tratadora de aguas residuales en el estero Lagartos, construida reciente en el año 2014 (Inventario Nacional de Plantas Municipales, 2016), que no realiza una remoción adecuada de contaminantes. Muestra de ello son los resultados obtenidos aquí, pues corroboran que los microplásticos existen ubicuamente en el medio de agua dulce y marino de Tecolutla, por lo que siempre están disponibles para ser consumidos por los organismos que habitan el lugar.

El promedio de las partículas poliméricas es de 16,633.887 m³; éstos resultados son mayores que los reportados en un estuario de Hong Kong y en tres estuarios de China (Zhao *et al.*, 2015; Zhao *et al.*, 2014). Además en el medio marino Desforges *et al.*, (2014) reporto en el Océano Pacífico y en la costa de Columbia Británica valores mayores de microplásticos. Eso indica un estado de contaminación en el ecosistema.

En general, los microplásticos en el agua de Tecolutla provienen de los desechos de Gutiérrez Zamora, Papantla, Nautla, San Rafael y Martínez de la Torre, los cuales recorren 357 km hasta desembocar en el Golfo de México a través del estuario de Tecolutla. Estos poblados tienen actividades económicas en turismo, agricultura, ganadería y pesca, y los desechos plásticos generados (productos de embalaje, botellas y bolsas) se fragmentan con el tiempo. Además, cerca de la desembocadura se encuentra un pecio, lo que genera más contaminantes, pues su estructura se desintegra con el tiempo y las corrientes de la desembocadura pueden adentrar sus desechos hacia el estuario. Se sabe también que el turismo es una fuente potencial de microplásticos. En el lugar existen 55 hoteles con 1088 habitaciones (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2003). Se ha reportado que ellos generan microplásticos debido al uso de exfoliantes faciales, corporales y pastas dentales, además de desechar cigarrillos que contienen filtros hechos con polímeros (Napper *et al.*, 2015).

Los patrones de distribución de los plásticos dependen principalmente de la densidad, tamaño, forma y principal esqueleto del polímero. También influyen la salinidad, la temperatura, la lluvia, el viento y la turbulencia (Vienello *et al.*, 2013; Lavender & Thompson, 2014; Lie *et al.*, 2016). Por ello, en el futuro será necesario tomar muestras en diferentes estratos de agua, ya que este estudio lo hizo solamente en la parte superficial. Esto puede resultar en no conocer exactamente los tipos de polímeros que hay en el sistema.

A continuación se discutirán los aspectos determinantes de la distribución de los microplásticos según la época y la estación en que se tomaron las muestras, así como el número y la longitud de los microplásticos encontrados en ellas.

Se ha comprobado que el viento y la lluvia juegan un papel muy importante en la distribución y los patrones de abundancia de los microplásticos dentro de un cuerpo de agua. En el presente estudio se encontraron más microplásticos en la época de nortes, posiblemente porque la abundancia y dirección del viento le permitió arrastrar una mayor cantidad de partículas por vía aérea desde lugares aledaños. Después, se pudieron haber depositado en la época de secas en el estuario de Tecolutla y permanecer ahí hasta el comienzo de la de lluvias, donde existe movimiento de materiales.

Estos resultados coinciden con los registros del estuario de Tamar (Sadri & Thompson, 2014), donde la cantidad de microplásticos fue mayor en época de nortes. Se sabe que la cantidad de basura aumenta después de las tormentas y por ende la densidad de los microplásticos (Desforgues *et al.*, 2014; Lassen *et al.*, 2015). Por otra parte, la turbulencia impulsada por el viento influye en las variaciones verticales y, en consecuencia, en la abundancia de partículas.

Acerca de la presencia de estos polímeros en la playa de Tecolutla, un factor importante es el fuerte oleaje (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2003). Se ha reportado que la altura de las olas aumenta en la época de nortes (entre los meses de noviembre y diciembre) en el Golfo, presentando olas que van desde 2.5 m hasta 5 m. Se recomienda investigar los niveles de microplásticos antes y después de las tormentas en el estuario y su mar adyacente.

Por otro lado, Browne (2010) mostró que la abundancia de microplásticos aumenta durante los meses de invierno, porque se realizan más lavados de ropa durante este período, y que una sola prenda podría arrojar 1900 piezas de fibra de polímero por lavado. No se descarta la posibilidad de que esta sea otra causa del aumento del número de microplásticos entre los meses de noviembre y diciembre.

En el presente estudio se cuantificó un número similar de microplásticos en todas las estaciones a pesar de que dos de ellas no se encuentran cerca de asentamientos humanos. Zhao *et al.*, (2015) y Andrady (2011), sin embargo, reportan niveles altos de microplásticos en áreas más pobladas. Por otro lado, se sabe que un alto porcentaje de la contaminación de microplásticos comienza en las zonas del interior y luego se transporta a través de ríos y lagos hasta los sistemas marinos. Esta puede ser una de las razones por las que no se obtuvieron resultados similares a los de ellos en el presente estudio.

Si se considera la ausencia de asentamientos humanos cercanos al estero la Silveña, es importante notar que se encontraron más partículas en dicha estación que en todas las demás. Esto puede deberse a un estancamiento de los desechos arrojados en otros lugares y que se estacionan en dicho estuario. Además, en el

lugar existe una estructura de PEMEX abandonada desde hace aproximadamente 50 años, lo que constituye una fuente adicional de contaminantes a causa de su deterioro.

En el caso del estero de Larios, en sus alrededores se encuentran abandonados residuos de gran tamaño (un carro de comida rápida e incluso una casa abandonada, por ejemplo), lo cual refiere que tiene la capacidad de retener grandes cantidades de basura, a lo que se suman los desechos de los poblados aledaños que son transportados hasta el lugar.

En la desembocadura se encontraron menos microplásticos que en las demás estaciones. Esto podría deberse a las corrientes existentes que la mantienen en movimiento la mayor parte del tiempo, por lo que además es difícil realizar una captación fija de materiales. En dicha estación, la turbulencia puede provocar una mezcla vertical de las partículas de plástico flotantes. Por ello, se recomienda realizar un muestreo de los diferentes extractos del medio acuático.

La mayor parte de las partículas encontradas son menores a 110 μm , por lo cual se asemejan al microplancton (20-200 μm) o a ciliados de gran tamaño; entonces, estas partículas plásticas son ingeridas por otros organismos con una dieta a base de microorganismos. Este estudio coincidió con Browne *et al.* (2010), donde las partículas fueron menores a 1000 μm ; pero no con el estudio sobre el estuario de Tamar (Sadri & Thompson, 2014), donde la clase más común fue de 1000–3000 μm . Esto posiblemente se debe a la diferencia en la metodología de muestreo y extracción, ya que en Tamar se utilizó una red de 300 μm de abertura; el uso de papeles de filtro de celulosa podría haber captado partículas más pequeñas y brindado resultados más cercanos a los del presente estudio.

Los microplásticos más grandes se encontraron en la época de lluvias, lo que confirma que es entonces cuando se arrastran materiales de gran tamaño para después ser fragmentados, dando origen a dichas partículas. Le sigue la época de nortes, donde continúan la fragmentación y transportación de los materiales y los microplásticos traídos por la época de lluvias. Finalmente, en la época de secas se deposita la mayor cantidad de microplásticos antes fragmentados, sumándose a los generados en ciclos anteriores.

Los resultados mostraron que los microplásticos prevalecían en las muestras de agua del estuario de Tecolutla, pero también que hubo variaciones significativas dentro del sistema. Para el caso de las estaciones, la variación de tamaños no tiene un patrón definido. Sin embargo, los más grandes fueron encontrados en la desembocadura, seguidos por la playa. Los más pequeños estaban en el muelle, lo cual podría deberse a las fuentes de origen: cerca de dicha estación se lleva a cabo el lavado de textiles y la población desecha materiales grandes (los neumáticos ahí presentes ya forman parte del ecosistema y contribuyen permanentemente al ingreso de microplásticos).

La forma de los polímeros, por otro lado, es de suma importancia para el ambiente acuático, pues es un determinante de su biodisponibilidad. La forma de fibra es la más abundante en el estuario; debido a ella y a su pequeñez, las partículas son arrastradas a otros ambientes con facilidad, además de ser vehículo de otros contaminantes. El hallazgo de la prevalencia de esta forma coincide con otros estudios en Tamar y cuatro estuarios de China, Hong Kong, y para el caso de aguas saladas en Turquía (Sadri & Thompson, 2014; Zhao *et al.*, 2014; Zhao *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2017; Tsang *et al.*, 2017; Fok & Cheung, 2015; Güven *et al.*, 2017).

Acerca de las posibles causas de la abundancia de esta forma, un estudio Danés presentado en el año 2015 (Lassen *et al.*) afirma que un campo deportivo artificial necesita un relleno anual de entre 3 y 5 toneladas de granulo, de las cuales el 50% será liberado al medio ambiente. Por otro lado, algunos estudios han indicado que es más probable que las fibras sean el resultado de lavar ropa rica en poliéster (Browne *et al.*, 2011). Otros (Lassen *et al.*, 2015; Lusher *et al.*, 2017) también han declarado la importancia de las cuerdas utilizadas en la pesca y la industria del envío como fuente de fibra. Andrady (2011) cuantificó esta fuente y predijo que el 18% de los microplásticos encontrados provienen de la descomposición de redes y cuerdas.

En particular, el análisis de fibras sintéticas es diferente en varios estudios. Diversos grupos han analizado las fibras, pero a menudo el tamaño de la fibra sólo se mide en términos de diámetro y no de longitud, como el caso de Canadá, Qatar, Corea, Suiza, Noroeste del Océano Pacífico y los Lagos Laurentianos (Anderson *et al.*, 2017; Castillo *et al.*, 2016; Chae *et al.*, 2015; Faure *et al.*, 2015; Desforges *et al.*, 2014; Eriksen *et al.*, 2013).

El grado en que las fibras dominan las muestras, en oposición al bajo número atribuido a las formas irregulares, podría ser significativo con respecto a la fuente de los plásticos. Es más probable que las formas irregulares sean el resultado de la descomposición de plásticos más grandes por acción física.

Por otro lado, la ocurrencia de la forma de pellets en el presente estudio fue nula. Esto coincide nuevamente con los estudios citados en estuarios (Sadri & Thompson, 2014; Zhao *et al.*, 2014; Zhao *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2017; Tsang *et al.*, 2017) y en el medio marino (Güven *et al.*, 2017), en los que su presencia fue mínima.

Finalmente, la constancia en la proporción de los colores de las fibras y su coincidencia con la de otros registros (el negro y azul predominó en los tres estuarios de China (Zhao *et al.*, 2015) y en el estuario de Solent (Gallagher *et al.*, 2016); el color azul fue el más común en el Océano Pacífico y en la costa de Columbia Británica (Desforges *et al.*, 2014) que sugieren que las fuentes de dichos microplásticos son paralelas. Además, dado que los puntos de muestreo del presente estudio están localizados en un mismo sistema y que la proporción de los colores en las tres matrices (organismos, agua y sedimento) es la misma, es posible deducir que hay fuentes comunes para esos contaminantes: para el color negro, fibras textiles, neumáticos o bolsas; para el azul, redes; para el rojo, boyas o bolsas.

9.6 Microplásticos en sedimento

Se encontraron 73 microplásticos en 600 g de sedimento, recolectado en quince muestras. En época de lluvias hubo 21 microplásticos; en la de nortes, 22; y en la de secas, 30. Para las estaciones fueron las siguientes: estero Silveña, 16 partículas; estero de Larios, 22; desembocadura, 3; muelle, 29; y playa, 3.

Además, se realizó la proyección del número de microplásticos por kilogramo (Tabla 8). El promedio general de microplásticos en el estuario de Tecolutla fue de 121 ± 115 en peso seco, pero este promedio probablemente está sesgado hacia el extremo mayor ya que no se recolectaron microplásticos en algunas estaciones. De las 15 muestras tomadas, en 5 de ellas no fue posible localizar partículas. El mayor número de ellas se encontró en la época de secas en la estación Larios, seguida por la época de lluvias en la desembocadura y, por último, en la época de nortes en el muelle. Para estos casos de conteo de microplásticos no hubo diferencias significativas. En cambio, respecto a las estaciones sí las hubo: entre la desembocadura y el muelle, entre la desembocadura y Larios, entre la playa y el muelle, entre la playa y Larios, y entre Silveña y Larios (Fig. 23).

La longitud de los microplásticos encontrados fue desde 30 hasta 2500 μm . El promedio fue 411 ± 408 μm . El 64.3% midió menos de 370 μm , el 23.28%, entre 371 μm y 710 μm , y el porcentaje restante entre 711 μm y 2750 μm (Fig. 22).

No hay diferencia significativa entre la longitud de los microplásticos encontrados en diferentes épocas, pero se observa que la época con los microplásticos de mayor tamaño fue nortes, seguido de secas y lluvias (Fig. 24).

Para el caso de la longitud en las estaciones, las partículas más grandes se hallaron en el muelle, seguidas por el estero Silveña, el estero de Larios, la playa y la desembocadura. Existe diferencia significativa: el muelle con respecto al estero de Silveña (Fig. 25).

La forma más común fue fibra, con 52 microplásticos (71.23%), seguida por la forma de fragmento, con 21 (28.76%). En esta matriz se puede apreciar el mayor número de fragmentos en comparación con el agua (ningún fragmento) y los organismos (0.5% de los fragmentos) (Fig. 26 y 27).

Se identificaron seis colores en los microplásticos colectados: 45 microplásticos negros, 13 azules, 5 rojos, 4 verdes, 4 rosas y 2 amarillos. Cabe mencionar que los colores eran opacos (Fig. 28).

Tabla 8. Microplásticos en un kilogramo de sedimento (peso seco) en cinco estaciones en tres épocas climática.

Época	Estación	Partículas /kg
nortes	estero la Silveña	100
nortes	estero de Larios	200
nortes	desembocadura	0
nortes	muelle	250
nortes	línea de playa	0
secas	estero la Silveña	125
secas	estero de Larios	350
secas	desembocadura	0
secas	muelle	200
secas	línea de playa	75
lluvias	estero la Silveña	175
lluvias	estero de Larios	0
lluvias	desembocadura	275
lluvias	muelle	75
lluvias	línea de playa	0

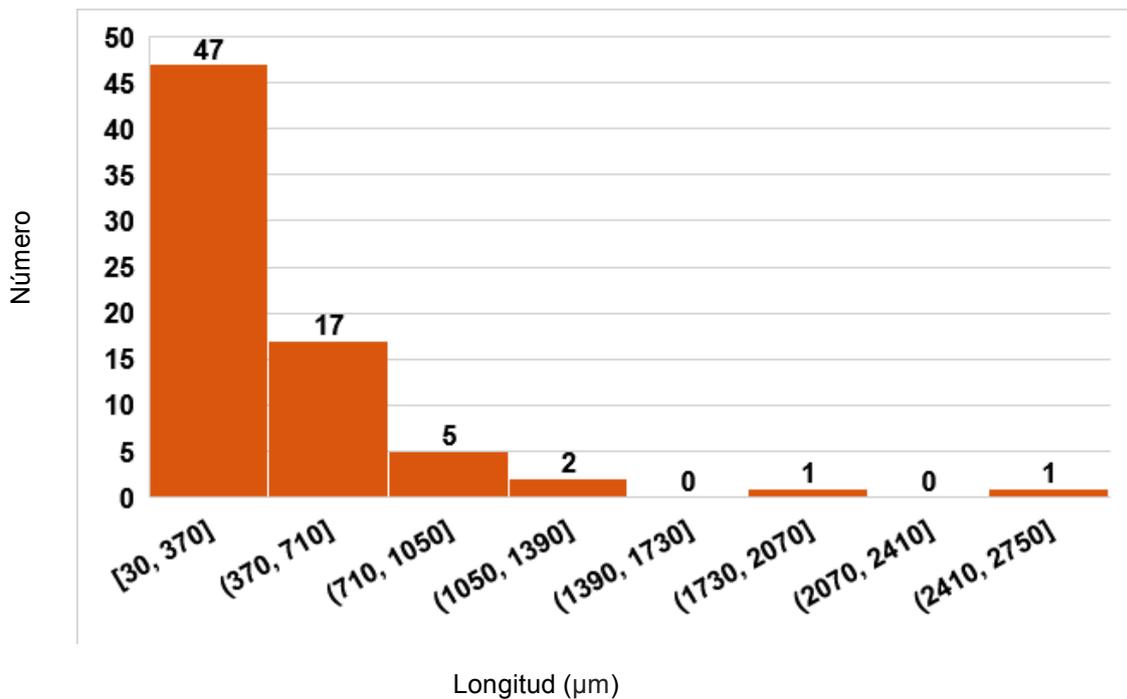


Figura 22. Longitud (µm) de los microplásticos encontrados en sedimento del estuario de Tecolutla, Veracruz.

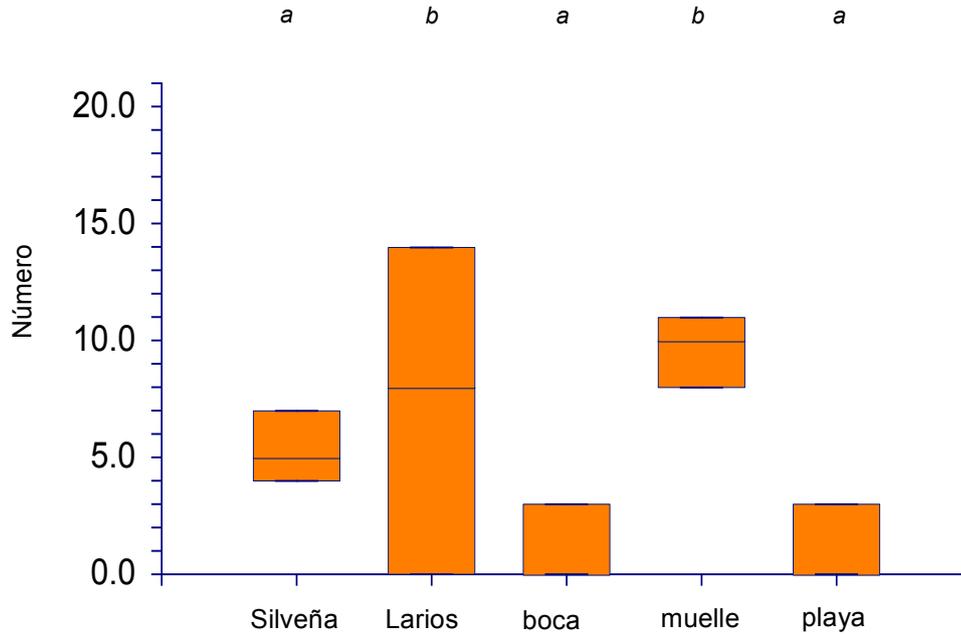


Figura 23. Número de microplásticos encontrados en sedimento en cinco estaciones del estuario de Tecolutla, Veracruz. Diferentes letras indican diferencias significativas.

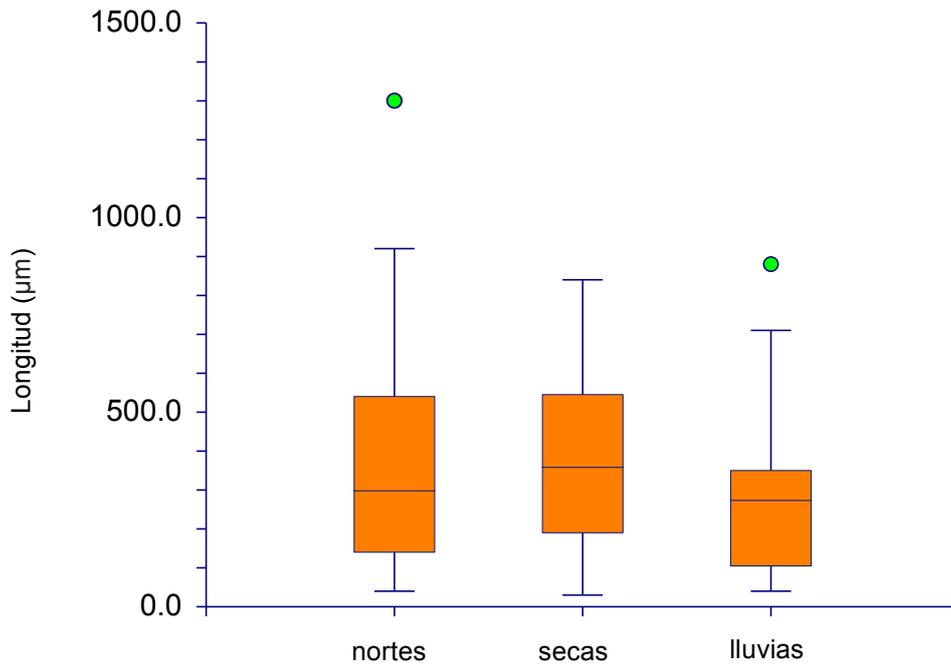


Figura 24. Longitud de microplásticos encontrados en sedimento en tres épocas del estuario de Tecolutla, Veracruz. Puntos verdes son datos extremos.

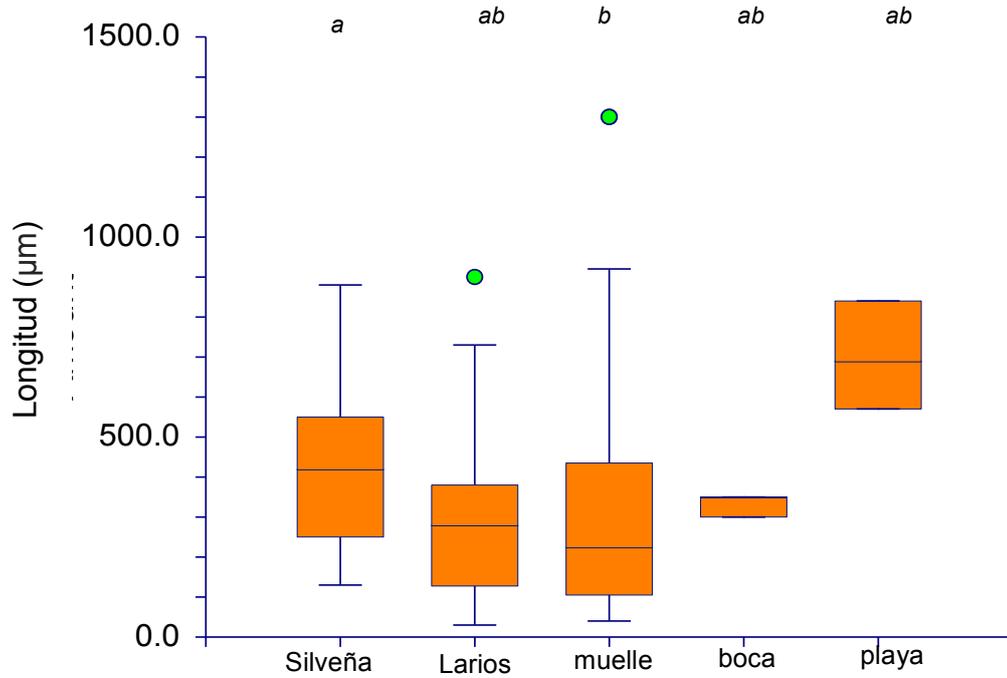


Figura 25. Longitud de microplásticos encontrados en sedimento en cinco estaciones del estuario de Tecolutla, Veracruz. Diferentes letras indican diferencias significativas. Puntos verdes son datos extremos.



Figura 26. Microplástico en forma de fragmento, color rojo, en sedimento del estuario de Tecolutla Veracruz.

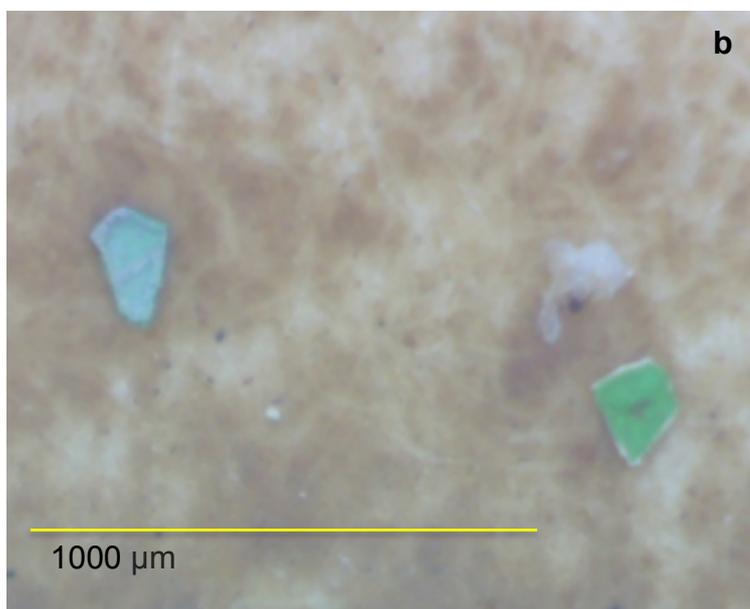
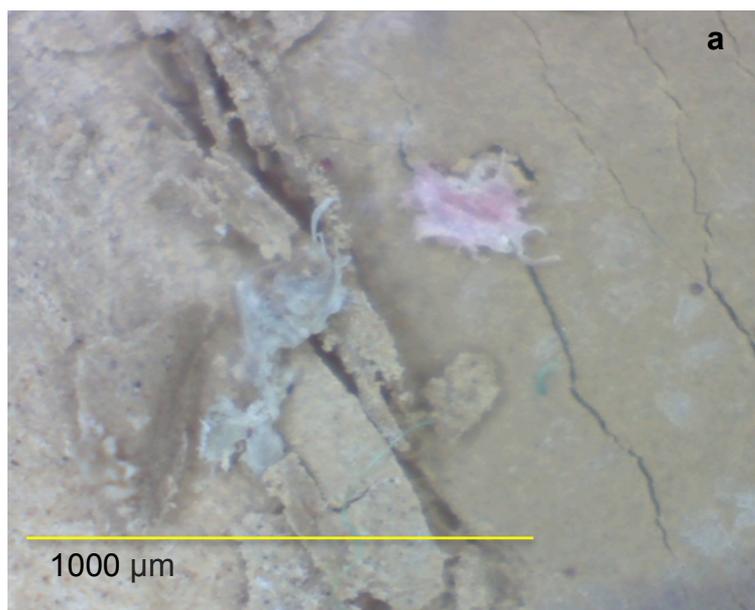


Figura 27. Microplásticos en forma de fragmento a. de color rosa y verde b. color azul y verde del estuario de Tecolutla, Veracruz.

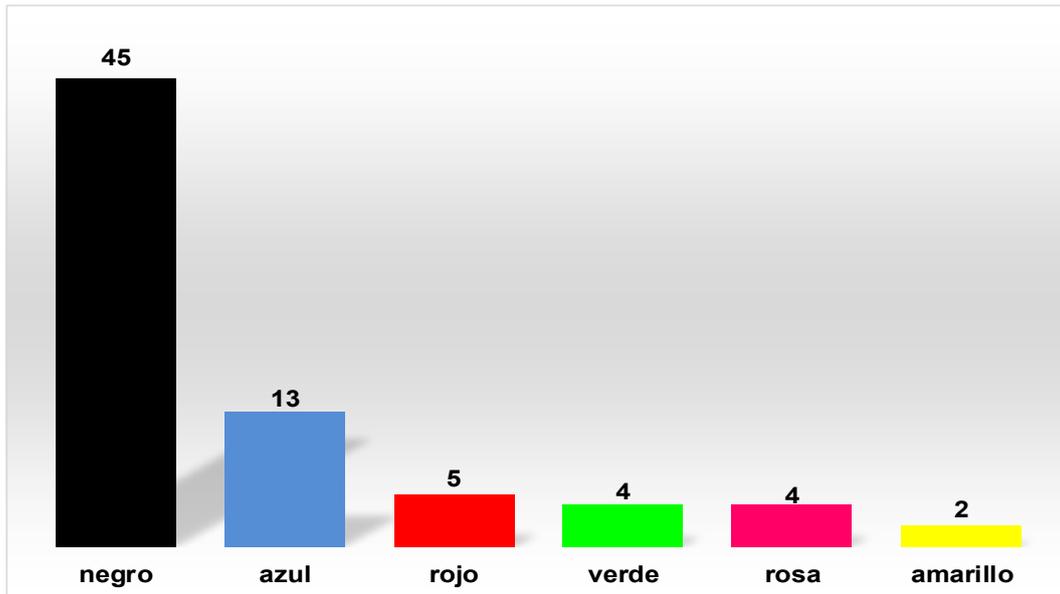


Figura 28. Número de microplásticos de cada color en sedimento del estuario de Tecolutla Veracruz.

Para el caso de la obtención de microplásticos en muestras de sedimento del estuario de Tecolutla, se siguieron las metodologías empleadas por diversos autores (Castañeda *et al.*, 2014; Stolte *et al.*, 2015; Fisher *et al.*, 2016; Frias *et al.*, 2016; Retama *et al.*, 2016; Peng *et al.*, 2017), donde realizan la flotación por medio de una sal. Además, es necesario tomar muestras de diferentes capas de los sedimentos, pues por los estudios citados se esperaba encontrar mayor número de microplásticos en sedimento y no fue así, ya que se consideran sumideros de microplásticos. Al igual que las otras dos matrices (agua y organismos), es necesario estandarizar métodos de muestreo y cuantificación.

Los microplásticos en sedimento fueron frecuentes en todo el estuario de Tecolutla. Esto es consistente con los resultados de otras regiones del mundo, donde se ha encontrado que los polímeros de un tamaño menor a 5 mm son el tipo más abundante dentro de los residuos marinos. En comparación con los estudios que utilizaron la misma unidad (microplásticos por kg en peso seco), su abundancia en el presente estudio fue menor que en los estudios registrados en Hong Kong, Huatulco, Italia, Inglaterra y Chang Jiang (Fok & Cheung, 2015; Retama *et al.*, 2016; Fisher *et al.*, 2016; Vaughan *et al.*, 2017; Peng *et al.*, 2017) pero mayor que en Alemania (Stolte *et al.*, 2015).

Las posibles fuentes son las mismas que en las matrices de agua y organismos, aunque podrían ser más antiguas, pues estas se precipitan y no se mueven como en el medio acuático ni son llevadas por los peces que son móviles.

Existieron estaciones donde no se encontraron microplásticos. Esto no es consistente con las partículas encontradas en agua y organismos, ya que, en la desembocadura, los peces que fueron capturados tenían microplásticos en sus tractos digestivos. Esto podría atribuirse al método: los microplásticos del sitio pudieron haber sido de una densidad diferente y no flotar con el cloruro de zinc ($ZnCl_3$).

Los microplásticos se acumulan en mayor cantidad en aguas dulces en comparación con aguas marinas (Browne *et al.*, 2010; Castañeda *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2016). Esto es consistente con los resultados obtenidos: la mayor cantidad de microplásticos se encontró en lugares de agua dulce, como el estero de Larios y el muelle.

La época con mayor número de microplásticos fue la de secas debido a la precipitación de las partículas. En lluvias y nortes hubo una gran circulación de materiales donde se registró mayor actividad. Seguramente, la fuerza de las corrientes hizo salir a flote el material ahí presente. La estación con más microplásticos fue el muelle, donde se localizan los restaurantes y las embarcaciones, que generan residuos. Posteriormente, debido a la escasa actividad, dichos residuos no sufrieron fragmentación inmediata y las fracciones grandes se hundieron sin tener el mismo recorrido que otras partículas situadas en la zona marina o que están en la desembocadura y son movidas por las corrientes. La prevalencia de microplásticos en el sedimento de Tecolutla aumenta la probabilidad de su ingestión por vertebrados detritívoros y por organismos bentónicos. En el presente estudio, se encontraron partículas de colores brillantes en el contenido estomacal de las especies detritívoras, como *Ariopsis felis*, a diferencia de especies con otros hábitos alimenticios, por lo que se deduce que esas partículas pudieron adquirirse de los sedimentos.

El número de microplásticos que midieron menos de 370 μm (47 de 73) coincide con los resultados de otros estudios (Castañeda *et al.*, 2014; Vaughan *et al.*, 2017): en el medio marino concuerda con los resultados reportados en Brasil (Frias *et al.*, 2016). La investigación en el Golfo de México (Wessel *et al.*, 2016), indicó que la clase de microplásticos más común, con un 38.6%, fue de partículas que midieron de 200 a 1,000 μm . Entre más pequeños son los microplásticos, más implicaciones tienen en los filtradores del sistema estuarino (FitzPatrick, 1980).

La época nortes tuvo las partículas de mayor longitud. Esto pudo deberse a un arrastre de material por las lluvias y su posterior estancamiento para después, con la fuerza de las corrientes, salir a flote.

La estación muelle tuvo las partículas de mayor longitud. Se encontraron piezas con apariencia de pintura, lo cual podría indicar que son desechos generados por las embarcaciones estacionadas en el muelle. Tecolutla es un lugar turístico y es constante el mantenimiento de las lanchas y la soltura de pintura.

Con respecto a la forma, debido a la precipitación del material se colectaron más microplásticos en forma de fragmento, a diferencia de lo observado en agua y organismos. Sin embargo, predominó la forma de fibra. Podría especularse que, en época de secas y por la disminución de la actividad eólica, los fragmentos tendieron a precipitarse y enterrarse. Posteriormente, en lluvia existió arrastre de materiales que con la fuerza de los vientos se disiparon. La presencia de fragmentos que se han depositado y conservado se puede explicar por las características del Golfo de México, el cual tiene un área de 1.6 millones de km² y un tiempo de residencia de agua de 3 meses a 250 años (Wessel *et al.*, 2016). Por lo tanto, la basura plástica en el Golfo de México tardará más tiempo en degradarse.

No se encontraron pellets en sedimento (usualmente empleados para la fabricación de otros plásticos). A partir de esto se deducen dos posibilidades: la ausencia de industrias en la región que pudieran aportar microplásticos primarios al sistema, o su presencia junto con un sistema de aguas residuales eficiente. Por lo tanto, las partículas en el lugar son resultantes de la descomposición de plásticos más grandes (microplásticos secundarios) (Thompson *et al.*, 2009; Tsang *et al.*, 2017; Lusher *et al.*, 2017). Esto coincide con otros estudios en sistemas costeros, en los que tampoco se hallaron pellets, tal vez gracias al buen manejo de aguas residuales en las industrias próximas a sus puntos de muestreo (Stolte *et al.*, 2015; Frias *et al.*, 2016; Retama *et al.*, 2016; Wessel *et al.*, 2016).

La obtención de muestras del fondo del sistema permitió capturar los polímeros en fragmentos que se habían depositado a causa de su densidad o de la carga adicional del biofilm (Oberbeckmann *et al.*, 2015). Se recomienda, al igual que en el agua, tomar muestras a diferentes profundidades.

La forma encontrada en el presente estudio coincide con los realizados en el Golfo de México y en Chang Jiang (93% de fibras) (Wessel *et al.*, 2016; Peng *et al.*, 2017); aunque en China (Zhao *et al.*, 2014) el color más abundante fue el transparente, seguido de negro y azul. Se debe tener en cuenta que China es el primer productor de polímeros y que Chang Jiang es la ciudad más grande, por lo que tienen una mayor variedad de materiales a la mano, a diferencia de Tecolutla, que es un poblado.

Los colores coinciden con los encontrados en el sistema de agua y en los organismos. Sin embargo, los colores son más opacos: el rosa y el amarillo pudieron estar más expuestos a las condiciones ambientales. Se ha reportado que los restos de pintura contienen sustancias cancerígenas y disruptivas endocrinas que podrían afectar a la biota del lugar (Teuten *et al.*, 2007; Pinto da Costa *et al.*, 2016).

En general, en el trabajo de campo y de laboratorio se tomaron las medidas necesarias para evitar la contaminación durante los procesos de análisis. Sin embargo, se sugiere implementar medidas más rigurosas en futuros estudios, así como estandarizar un método más efectivo para la obtención de microplásticos. Por otro lado, existen diversos trabajos en diferentes lugares del mundo acerca de

microplásticos en medios acuáticos, pero no es posible comparar todos los resultados obtenidos porque las cifras registradas están en diferentes unidades y no existe un método estandarizado para la obtención y conteo de microplásticos.

10. Microscopia Electrónica de Barrido

El microscopio electrónico de barrido reprodujo imágenes de alta resolución de la superficie de las partículas encontradas y catalogadas como microplásticos en el estuario de Tecolutla a partir de muestras del tracto gastrointestinal de diez especies ictiológicas, agua y sedimento.

El microscopio electrónico de barrido proporciona imágenes tridimensionales. En las imágenes se pueden apreciar los detalles de manera profunda: la textura, tamaño (longitud y ancho) y forma de las partículas, en contraste con lo observado con el microscopio estereoscópico y con el microscopio Celestron, con los que sólo fue posible tomar el largo de las partículas y observar de manera somera las imágenes. Además de sus usos en investigación, el microscopio electrónico tiene aplicaciones en la industria para la medición de los espesores y conteo de capas, además del control de calidad. Con respecto a la forma de los microplásticos, el microscopio electrónico de barrido permite comparar el tipo de fibras, como lo hacen en la industria textil.

Vianello *et al.* (2013) y Retama *et al.* (2016) realizaron la toma de fotografías con Microscopia Electrónica de Barrido. En ambos estudios se puede apreciar la predominancia de la forma de fibras y lo que podrían ser señales de fragmentación. Esto coincide con las imágenes tomadas para el presente estudio.

En las imágenes, tomadas a 35 X y 37 X (Fig. 29 y 30), es posible apreciar, a grandes rasgos, diversas fibras existentes en el tracto gastrointestinal de los peces y en el agua del estuario de Tecolutla. Existen de diferentes tamaños y estructuras, desde rectas hasta onduladas. Además, se pueden apreciar partículas de sedimentos, por lo que es necesario realizar una limpieza más profunda de las muestras colectadas y someter las muestras a un tratamiento más rígido para eliminar la materia orgánica que pudiese persistir.

Fueron seleccionadas algunas partículas obtenidas del tracto gastrointestinal de los peces del estuario y fueron inspeccionadas. Se midió su largo y su ancho. Algunas partículas presentan enroscamiento y poca desintegración en el ancho (Fig. 34 y 35).

En los peces hubo variedad de partículas. Algunas fibras mostraron un patrón giratorio: incluso en el ancho se puede apreciar el giro y una textura desgastada en la superficie (Fig. 35). Es posible decir que hay estructuras que son más fáciles de poblar por microorganismos, como lo es la anterior. Con el tiempo, estas partículas pueden recorrer grandes distancias y arribar a otros lugares. Esto, sumado a la acumulación del biofilm propiciada por la textura, contribuye a su hundimiento, lo que hace que exista un mayor número de materiales disponibles para la biota del fondo. Por ejemplo, se han registrado microplásticos en organismos que habitan profundidades, como en el mediterráneo.

Cabe enfatizar que en las imágenes se observan distintas texturas. Ellas corresponden al tipo de material, pero también a la degradación sufrida a través del tiempo debido a la foto degradación, la temperatura, la salinidad, la acción mecánica y otros factores biológicos y químicos combinados. Es posible que, entre más aberturas tengan las partículas, más pueden ser capaces de captar sustancias o alojar microorganismos, además de dar origen a otras fibras o fragmentos más pequeños (Fig. 31, 32 y 33).

Para comparar y conocer la textura de polímeros que no han pasado por procesos de intemperización, se tomaron imágenes de muestras de popotes y bolsas de plástico utilizadas en los supermercados. Estos muestran una textura uniforme en comparación con las imágenes tomadas de las partículas de los microplásticos del estuario de Tecolutla (Fig. 36). Es importante reconocer todas las texturas posibles: ello podría decir cuántos microplásticos puede generarse en cierto tiempo y con ciertas condiciones ambientales.

Aunado a las fotografías de microscopia electrónica de barrido de los microplásticos, se realizó un análisis elemental de estos materiales con Espectroscopia de Energía Dispersada (EDS). Los elementos que fueron registrados en orden descendente son: arsénico, cobre, hierro, aluminio, cloro, calcio, fósforo, silicio, azufre, sodio, oxígeno y carbono (Fig. 37 y 38). En el análisis elemental se observa la presencia de metales (cobre y arsénico), estos pudieron estar presentes en el lugar y adherirse en la superficie de los microplásticos, lo que confirma su papel como vector de otros contaminantes (Rochman *et al.*, 2014).

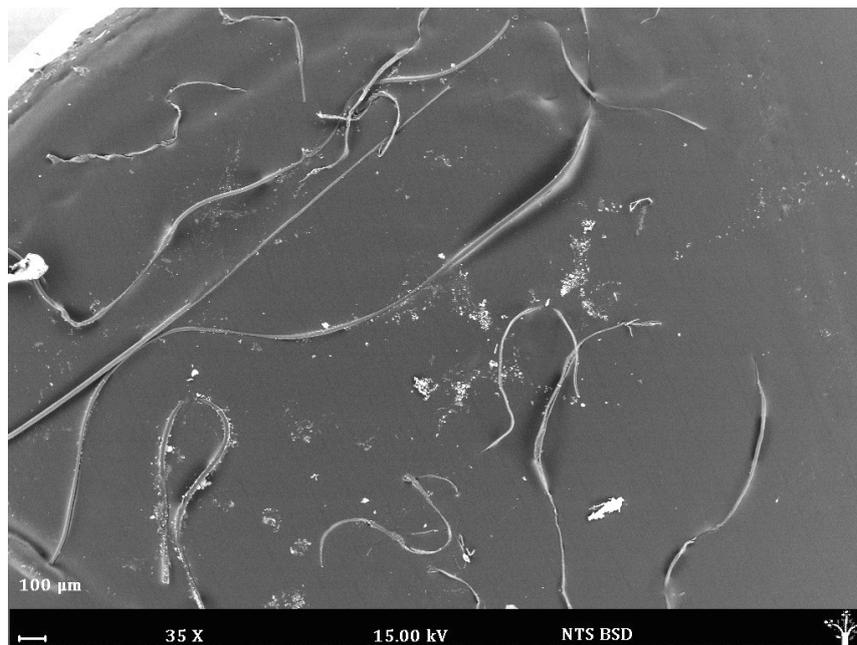


Figura 29. Microplásticos presentes en agua del estuario de Tecolutla Veracruz.

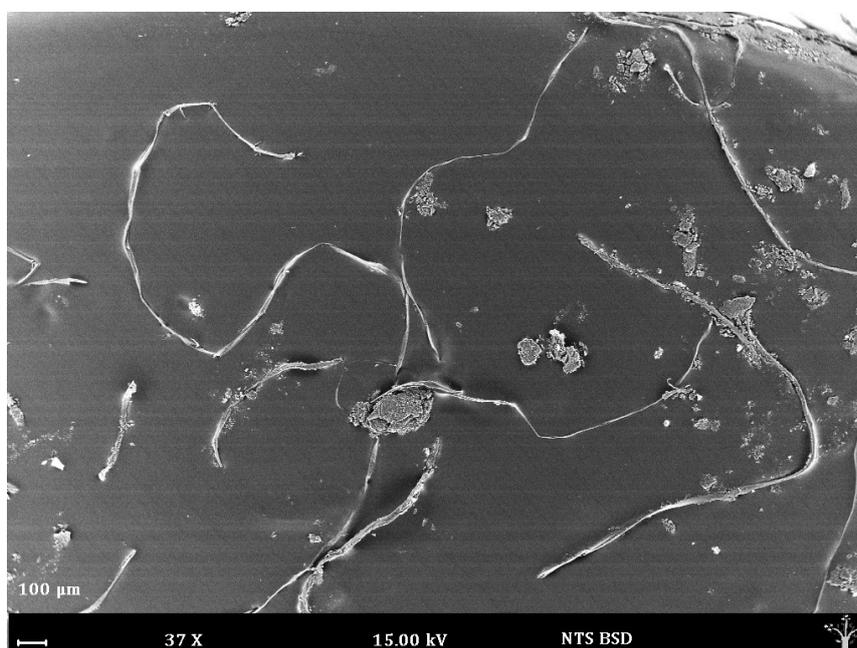


Figura 30. Microplásticos presentes en peces del estuario de Tecolutla Veracruz.

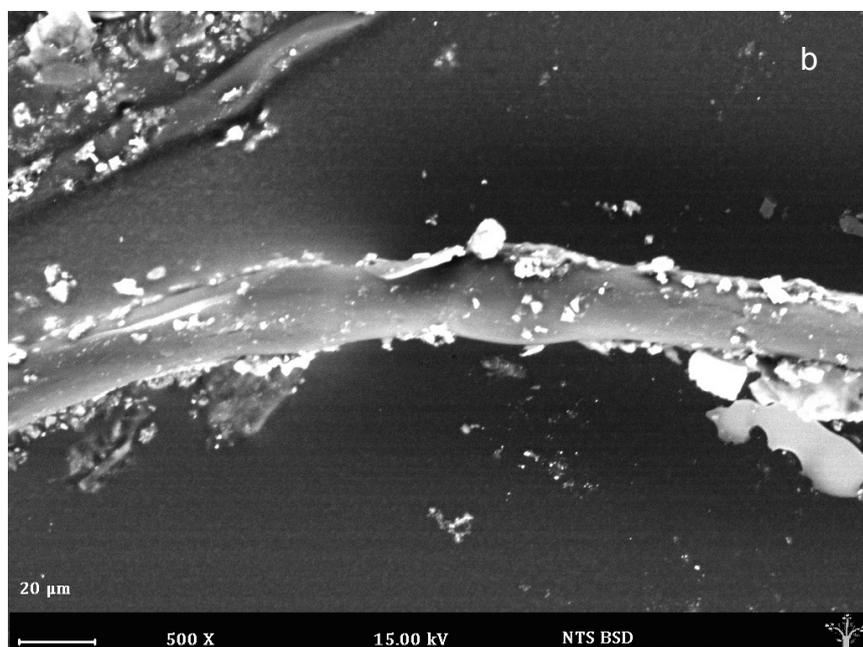
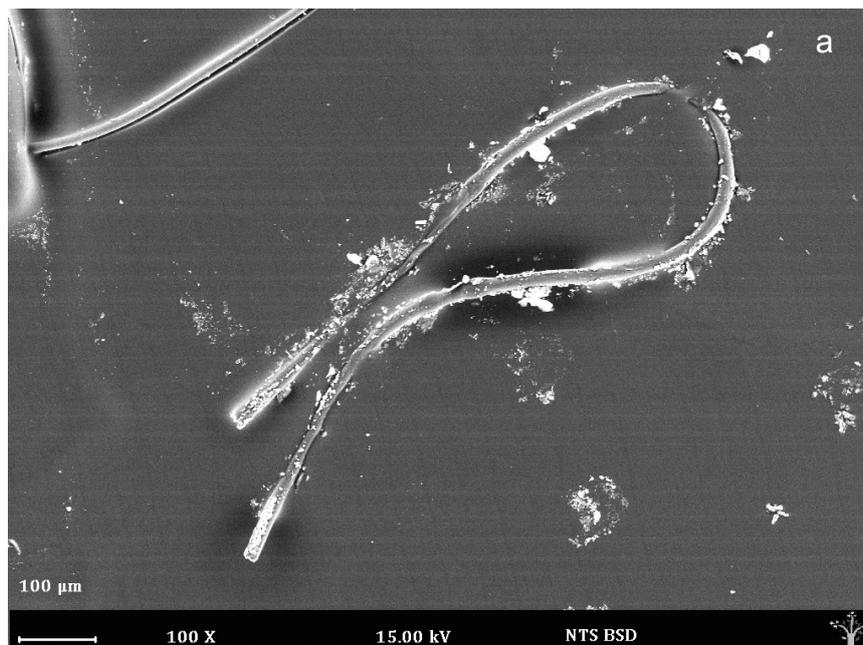


Figura 31. Microplástico en forma de fibra en muestras de agua del estuario de Tecolutla Veracruz con a. 1671.5 μm. de largo y b. 20.44 μm de ancho.

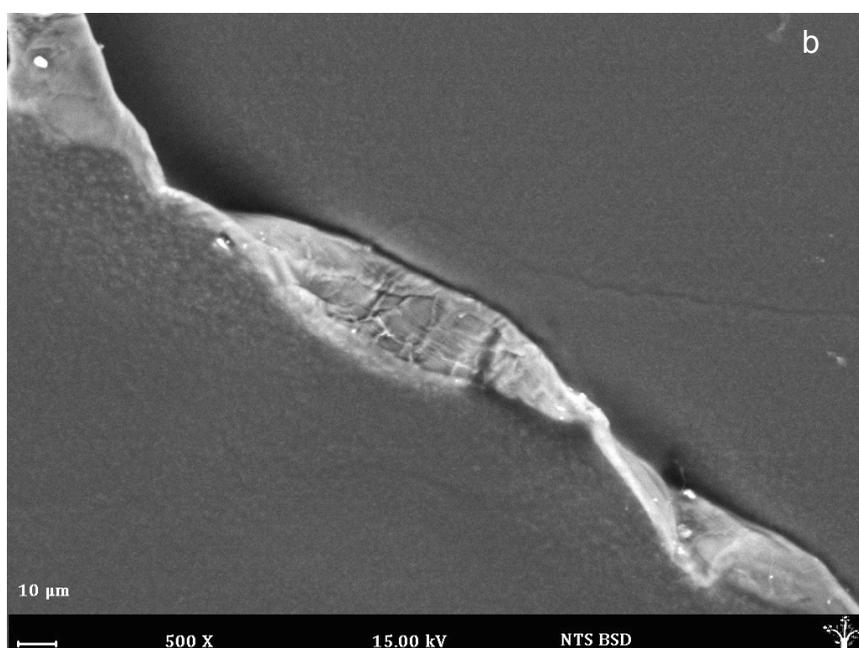
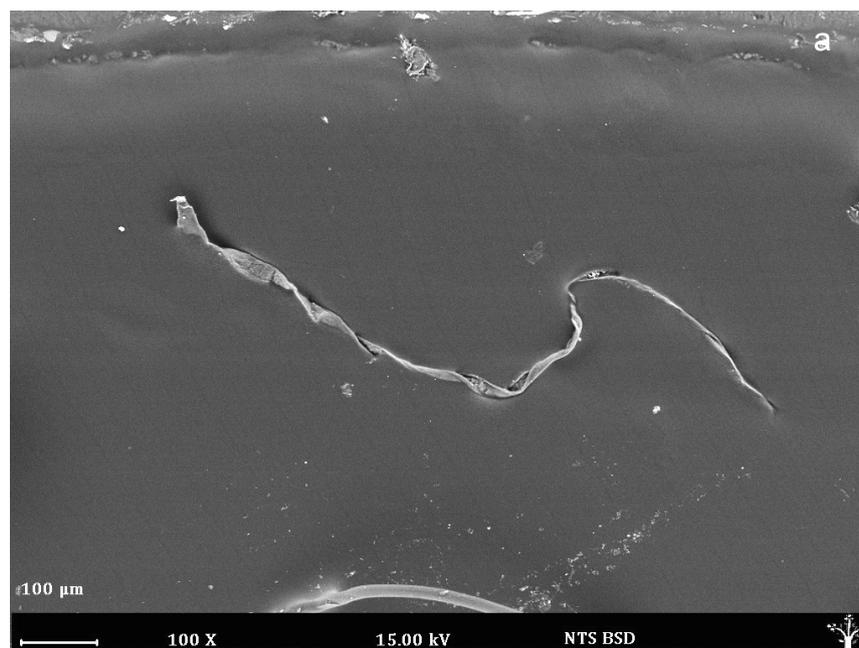


Figura 32. Microplástico en forma de fibra en muestras de agua del estuario de Tecolutla Veracruz con a. 972 µm. de largo y b. 20.28 µm de ancho.

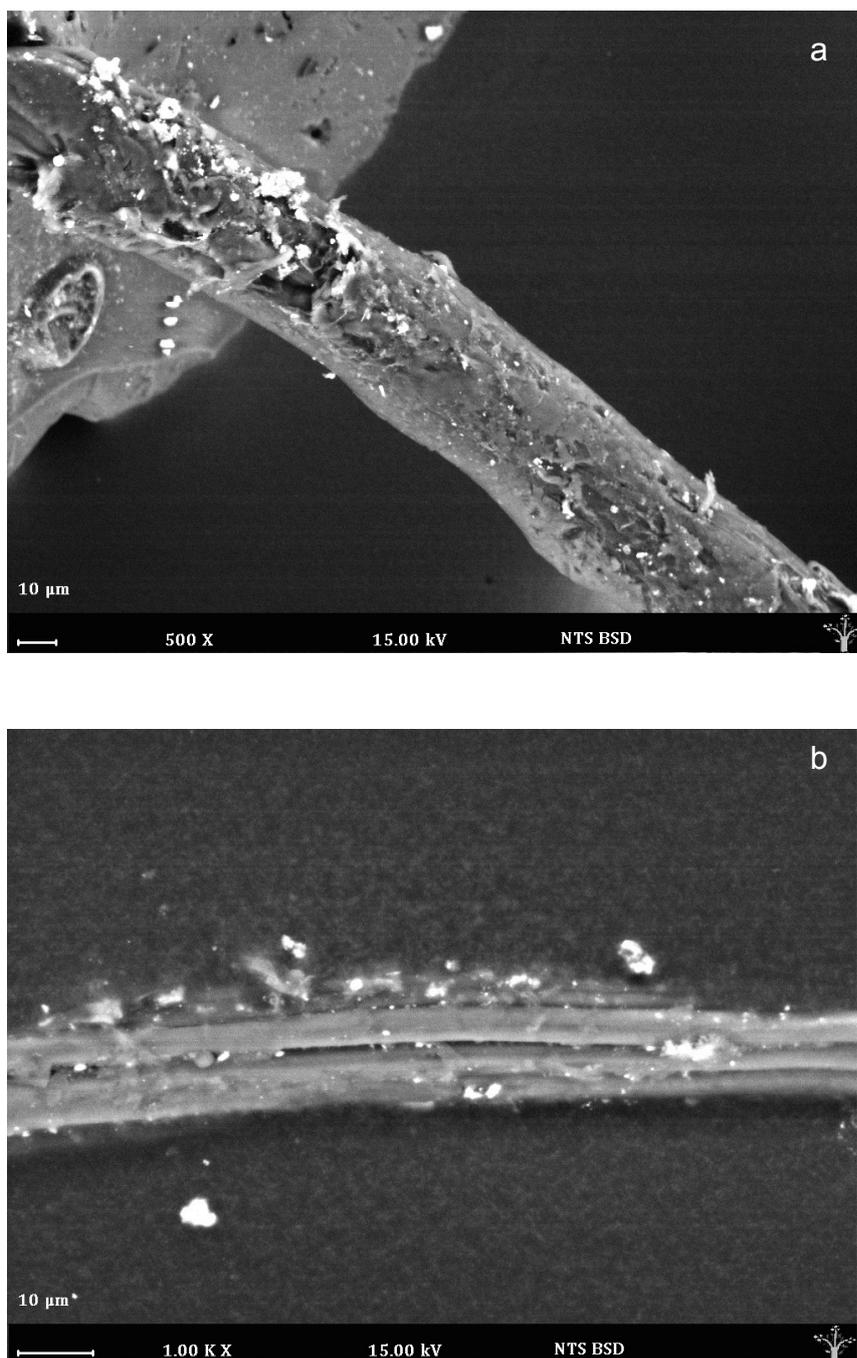


Figura 33. Microplásticos en forma de fibra en muestras de agua del estuario de Tecolutla Veracruz, muestran diferentes tipos de fragmentación con a. 38.90 μm . y b. 17.31 μm de ancho.

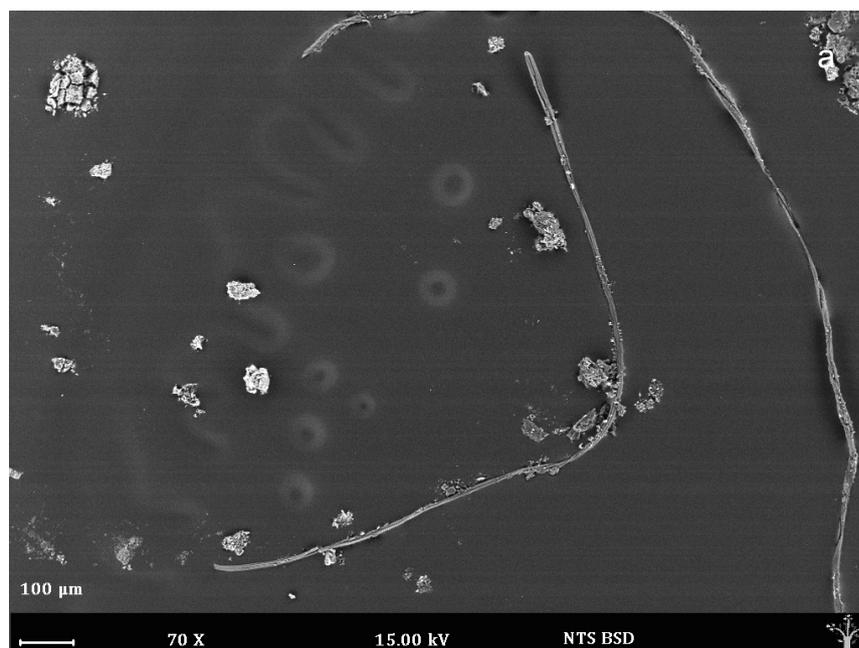


Figura 34. Microplástico en forma de fibra en peces del estuario de Tecolutla Veracruz con a. 1540.2 μm . de largo y b. 11.95 μm de ancho.

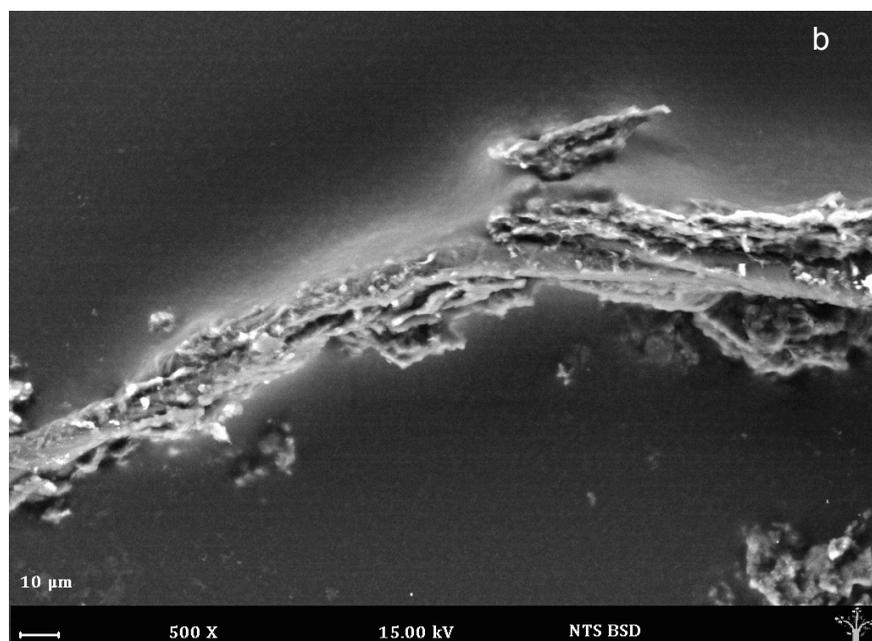
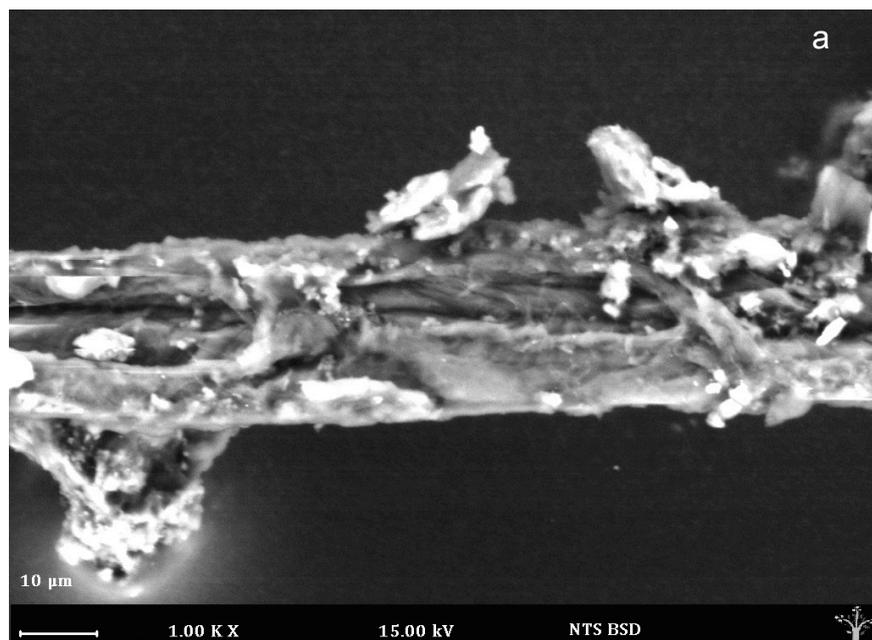


Figura 35. Microplásticos en forma de fibra en peces del estuario de Tecolutla Veracruz, muestran diferentes tipos de fragmentación con a. 26.26 μm. y b. 14.48 μm de ancho.

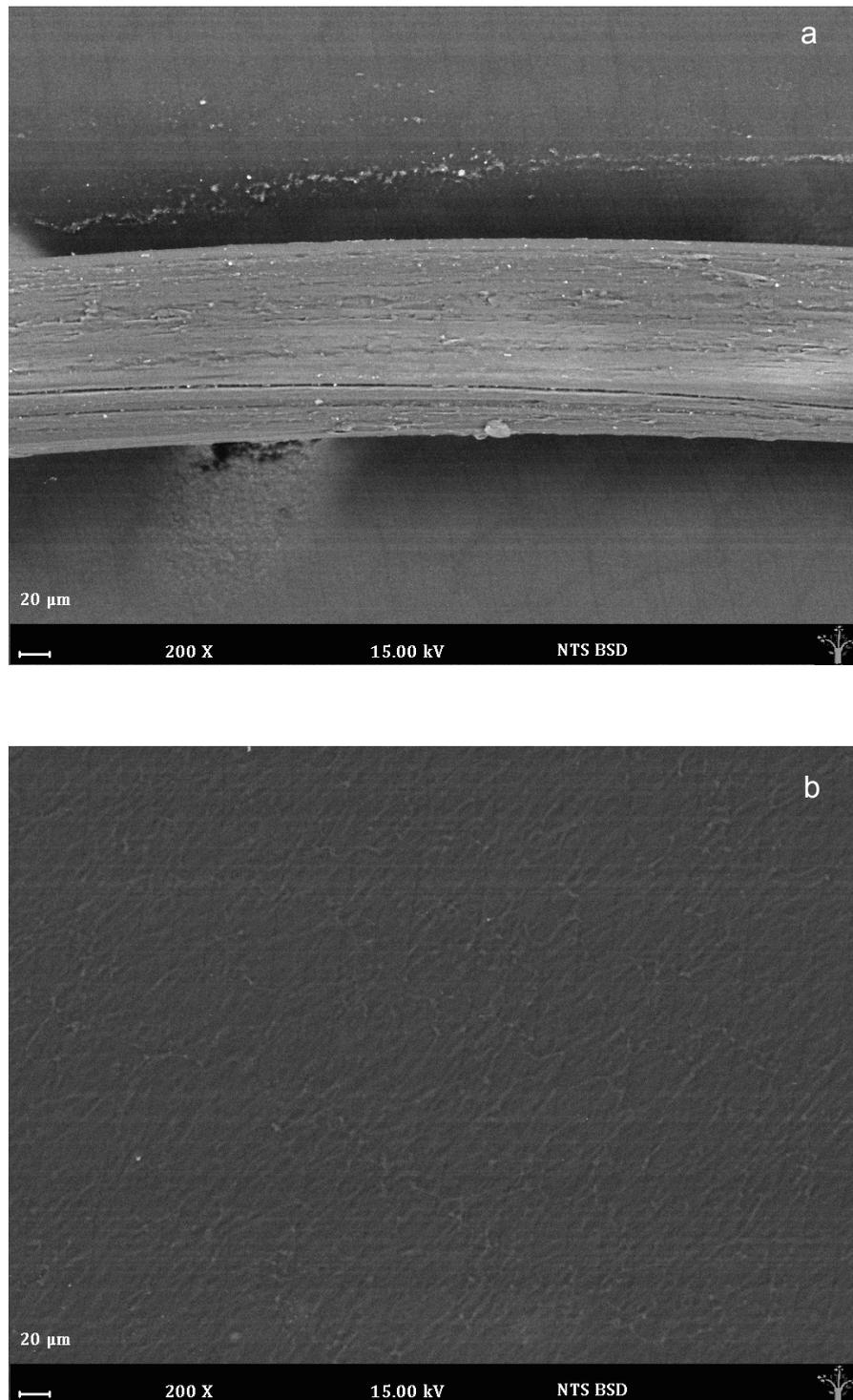


Figura 36. Muestras de a. popote y b. bolsa sin exposición a factores ambientales.

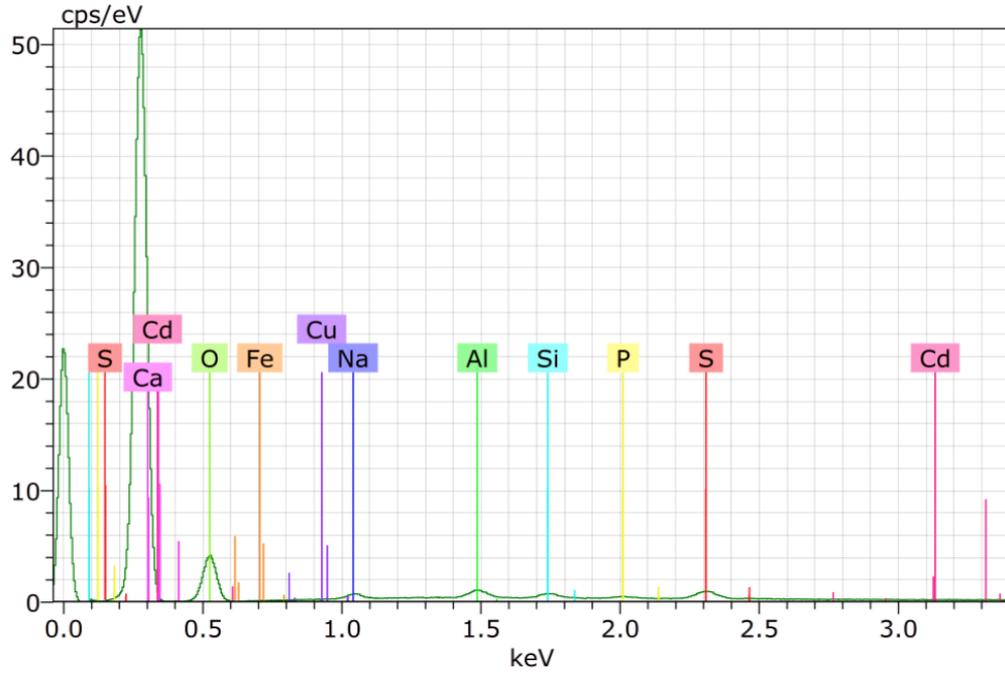


Figura 37. Análisis elemental de los microplásticos del estuario de Tecolutla, Veracruz.



Figura 38. Análisis elemental e imagen tomada con microscopio electrónico de barrido de microplástico presente en el estuario de Tecolutla, Veracruz.

11. Conclusiones

Este estudio proporciona el primer registro de polímeros plásticos en el tracto digestivo de 10 especies de peces teleósteos de consumo humano, agua y sedimento del estuario de Tecolutla, Veracruz, y contribuye al, hasta ahora escaso, conocimiento de la temática en México.

Los microplásticos existen ubicuamente en el estuario de Tecolutla, Veracruz, y las concentraciones de estos son mayores en agua salobre que en agua marina.

En los peces, el hábito y la dieta influyen en la ingesta de microplásticos, siendo mayor en peces demersales y carnívoros.

El mayor número de microplásticos se presenta en diferente época y estación para las diferentes matrices ambientales; así, para agua es la época de nortes y la estación estero la Silveña y para sedimento la época de secas y la estación del muelle.

La forma más común fue la de fibra y los colores de mayor predominio fueron el negro, azul y rojo, de lo que se puede inferir que las fuentes de microplásticos más probables son: redes, fibras textiles, botellas de agua, bolsas desechables, llantas y taparoscas.

Existe presencia de metales en los microplásticos del estuario de Tecolutla, Veracruz, lo que confirma que los polímeros son vectores de otros compuestos.

Para resolver el problema de los microplásticos será necesario que las industrias, el gobierno y los pobladores trabajen en conjunto para disminuir el uso de plásticos y dar un manejo adecuado a los residuos.

En relación con el aspecto educativo, es necesario desarrollar campañas activas, en las cuales las personas generen conciencia acerca de las afectaciones ocasionadas al medio ambiente con el uso de polímeros. Además de implementar acciones eficientes para la gestión de sus residuos.

A nivel individuo es necesario disminuir el uso de plásticos por medio de acciones, tales como utilizar bolsas de tela en lo posible, prescindir del uso de popotes, sustituir el uso de botellas plásticas por termos, comprar productos exfoliantes de materiales naturales como semillas y cáscaras entre otras acciones.

12. Referencias

- Anastasopoulou, A., Mytilineou, C., Smith, J. C., & Papadopoulou, N. K. (2013). Plastic debris ingested by deep-water fish of the Ionian Sea (Eastern Mediterranean). *Deep-Sea Research I*, 11-13.
- Anderson, P. J., Warrack, S., Langen, V., Challis, K. J., Hanson, L. M., & Rennie, D. M. (2017). Microplastic contamination in Lake Winnipeg, Canada. *Environmental Pollution*, 225, 223-231.
- Andrady, A. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1596-1605.
- Bakir, A., Rowland, S., & Thompson, R. (2014). Transport of persistent organic pollutants by microplastics in estuarine conditions. *Estuarine, Coastal and Science*, 140, 14-21.
- Basura en los océanos, un reto internacional (2011). Retorna.
- Bellas, J., Martínez-Armental, J., Martínez-Cámara, A., & Besada, V. M.-G. (2016). Ingestion of microplastics by demersal fish from the Spanish Atlantic and Mediterranean coasts. *Marine Pollution Bulletin*, 55-60.
- Browner, T., & Kershaw, P. (2010). Proceedings of the GESAMP International Workshop on Microplastic particles as a vector in transporting persistent, bioaccumulating and toxic substances in the ocean. Paris: GESAMP Reports and Studies.
- Browne, M. A., Galloway, T. S., & Thompson, R. (2010). Spatial Patterns of Plastic Debris along Estuarine Shorelines. *Environmental Science Technology*, 44, 3404-3409.
- Browne, M., Galloway, T., & Thompson, R. (2007). Microplastic- An emerging contaminant of potential concern? *Integrated Environmental Assessment and Management*, 3 (4), 559-566.
- Chae, D.-H., Kim, I.-S., Kim, S.-K., Song, Y. K., & Shim, J. W. (2015). Abundance and Distribution Characteristics of Microplastics in Surface Seawaters of the Incheon/Kyeonggi Coastal Region. *Arch Environ Contam Toxicol*, 69, 269-278.
- Castañeda, R. A., Avlijas, S., Simard, A. M., & Ricciardi, A. (2014). Microplastic pollution in St. Lawrence River sediments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71, 1767-1771.
- Castillo, B. A., Al-Maslamani, I., & Obbard, J. P. (2016). Prevalence of microplastics in the marine waters of Qatar. *Marine Pollution Bulletin*, 111, 260-267.

- Castillo, H. (1999). Análisis geográfico del municipio de Tecolutla, Veracruz. Tesis de licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía, México.
- Colección Nacional de Peces. (2017). Recuperado el 18 de Mayo de 2017, de Colección Nacional de Peces: <http://www.ib.unam.mx/cnpe/>
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin* , 62, 2588-2597.
- Comisión Nacional Para El Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (27 de Agosto de 2010). Recuperado el 2 de Junio de 2016, de CONABIO: www.conabio.gob.mx
- CONAPESCA. (28 de Febrero de 1991). Recuperado el 4 de Junio de 2016, de CONAPESCA: www.gob.mx/conapesca.
- De la Lanza, E., Cáceres, C., Adame, S., & Hernández, S. (1999). *Diccionario de Hidrología y Ciencias afines*. México: Plaza y Valdéz.
- Desforges, W. J.-P., Galbraith, M., Dangerfield, N., & Ross, S. P. (2014). Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin* , 79, 94-99.
- Enciclopedia del plástico. (1997). México: Instituto Mexicano del Plástico Industrial
- Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., y otros. (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin*, 77, 177-182.
- Faure, F., Demars, C., Wieser, O., Kunz, M., & Felipe de Alencastro, L. (2015). Plastic pollution in Swiss surface waters: nature and concentrations, interaction with pollutants. *Environmental Chemistry*, 12, 582-591.
- Fischer, K. E., Paglialonga, L., Czech, E., & Tamminga, M. (2016). Microplastic pollution in lakes and lake shoreline sediments - A case study on Lake Bolsena and Lake Chiusi (Central Italy). *Environmental Pollution* , 213, 648-657.
- FishBase. (27 de Abril de 1997). Recuperado el 7 de Diciembre de 2016, de FishBase: <http://www.fishbase.org/search.php>
- FitzPatrick, E. (1980). *Suelos, su formación, su clasificación y distribución*. México: Compañía Editorial Continental.
- Fok, L., & Cheung, P. (2015). Hong Kong at the Pearl River Estuary: A hotspot of microplastic pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 99, 112-118.

- Frias, J., Gago, J., Otero, V., & Sobral, P. (2016). Microplastics in coastal sediments from Southern Portuguese shelf waters. *Marine Environmental Research*, 114, 24-30.
- Glaser, J. (2015). Microplastics in the environment. *Clean Technologies Environmental Policy*, 17, 1383-1391.
- Güven, O., Gökdag, K., Jovanovic, B., & Erkan, K. (2017). Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish. *Environmental Pollution*, 223, 286-294.
- Gallagher, A., Rees, A., Rowe, R., Stevens, J., & Wright, P. (2016). Microplastics in the Solent estuarine complex, UK: An initial assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 102, 243-249.
- Gewert, B., Plassmann, M., & MacLeod, M. (2015). Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environmental Science Processes and impacts*, 17, 1531-1521.
- Geyer, R., & MacCready, P. (2014). The Estuarine Circulation. *The Annual Review in Advance*, 46, 175-197.
- Gomes de Carvalho, D., & Baptista, N. J. (2016). Microplastic pollution of the beaches of Guanabara Bay, Southeast Brazil. *Ocean & Coastal Management*, 128, 10-17.
- Granado, L. C. (2002). *Ecología de peces*. España: Universidad de Sevilla.
- Góngora, P. (2014). La industria del plástico en México y el mundo . *Comercio Exterior*, 64 (5), 4.
- INEGI. (6 de Febrero de 2005). Recuperado el 20 de Junio de 2016, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía : http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30158.pdf
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. (2 de Abril de 2003). Recuperado el 14 de Marzo de 2016, de Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM30veracruz/municipios/30158a.html>
- Inventario Nacional de Plantas Municipales. (12 de Marzo de 2016). Recuperado el 12 de Marzo de 2018, de Inventario Nacional de Plantas Municipales de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/197610/Inventario_2015.pdf

- Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C., & Mu, J. (2017). Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh water of China. *Environmental Pollution*, 221, 141-149.
- Jambeck, R. J., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, R. T., Perryman, M., Andrady, A., y otros. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347, 768-771.
- Lagler, K., Bardach, J., Miller, R., & Dora, M. (1990). *Ictiología*. México: AGT.
- Lassen, C., Hansen, F., Magnusson, K., Hartmann, N., Rehne-Jensen, P., Nielsen, T., y otros. (2015). *Microplastics: Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark*. Copenhagen K: Danish Environmental Protection Agency.
- Lavender, K., & Thompson, R. (2014). Microplastics in the seas. *Science*, 345, 144-145.
- Li, W., Tse, H., & Fok, L. (2016). Plastic waste in the environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of the Total Environment*, 566-567, 333-349.
- Lusher, A., Hollman, P., & Mendoza-Hill. (2017). *Microplastics in fisheries and aquaculture*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Lusher, A., McHugh, M., & Thompson, R. (2013). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Pollution Bulletin*, 67, 94-99.
- Miller, R. (2009). *Peces dulceacuícolas de México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Miranda, D. d., & Freire de Carvalho-Souza, G. (2016). Are we eating plastic-ingesting fish? *Marine Pollution Bulletin*, 103, 109-114.
- Morales, M. (2014). *Introducción a la ciencia y tecnología de los plásticos*. México: trillas.
- Nadal, M., Alomar, C., & Deudero, S. (2016). High levels of microplastic ingestion by the semipelagic fish bogue *Boops boops* (L.) around the Balearic Islands. *Environmental Pollution*, 214, 517-523.
- Napper, I., Bakir, A., Rowland, S., & Thompson, R. (2015). Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. *Marine Pollution Bulletin*, 99, 178-185.

- Neves, D., Sobral, P., Ferreira, L. J., & Pereira, T. (2015). Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast. *Marine Pollution Bulletin* , 101, 119-126.
- Nieto, R. E., & Montoto, T. (2017). Basuras marinas y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global. España: *Ecologistas en Acción*.
- Oberbeckmann, S., Lo'öder, M., & Labrenz, M. (2015). Marine microplastic-associated biofilms – a review. *Environmental Chemical* , 12, 551-562.
- Odum, P., & Barrett, G. (2006). *Fundamentos de Ecología* . Cengage Learning.
- PlasticsEurope. (5 de Febrero de 2004). Recuperado el 23 de Febrero de 2016, de PlasticsEurope: <http://www.plasticseurope.org/es>
- Peng, G., Banshang, Z., Yang, D., su, L., Shi, H., & Li, D. (2017). Microplastics in sediments of the Changjiang Estuary, China. *Environmental Pollution*, 225, 283-290.
- Phillips, B. M., & Bonner, H. T. (2015). Occurrence and amount of microplastic ingested by fishes in watersheds of the Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 100, 264-269.
- Pinto da Costa, J., Santos, P., Duarte, A., & Rocha-Santos, T. (2016). (Nano)plastics in the environment -Sources, fates and effects. 566-567, 16-26.
- Possatto, F., Barletta, M., Costa, M., Ivar do Sul, J., & Dantas, D. (2011). Plastic debris ingestion by marine catfish: An unexpected fisheries impact *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1098-1102.
- Retama, I., Jonathan, M., Shruti, V., Velumani, S. S., Priyadarsi, D. R., & Rodríguez, E. P. (2016). Microplastics in tourist beaches of Huatulco Bay, Pacific coast of southern Mexico. *Marine Pollution Bulletin* , 113, 530-535.
- Rochman, C.M., Hentschel, B.T. & Teh S.J. (2014). Long-Term Sorption of metals is similar among plastic types: implications formplastic debris in aquatic environments. *Plos One* 9 (1).
- Rojo, N. E., & Montoto, T. (2017). Basuras marinas y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global . España: *Ecologistas en Acción*.
- Romeo, T., Pietro, B., Pedá, C., Consoli, P., Andaloro, F., & Fossi, M. C. (2015). First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 95, 358-361.

- Rummel, D., Löder, G. M., Fricke, F. N., Lang, T., Griebeler, E.-M., Janke, M., y otros. (2016). Plastic ingestion by pelagic and demersal fish from the North Sea and Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 102, 134-141.
- Sadri, S. S., & Thompson, C. R. (2014). On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar Estuary, Southwest England. *Marine Pollution Bulletin*, 81, 55-60.
- Santillo, D., Miller, K., & Johnston, P. (2017). Microplastics as Contaminants in Commercially Important Seafood Species. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 13 (3), 516-521.
- Santos, S.-C. J., Silva, B. J., José de Franca, E., Barbosa de Araújo, M. C., & Gusmao, F. (2017). Microplastics ingestion by a common tropical freshwater fishing resource. *Environmental Pollution*, 221, 218-226.
- Servicio Meteorológico Nacional. (25 de Junio de 1996). Recuperado el 31 de Enero de 2017, de CONAGUA: <http://smn.cna.gob.mx/es/>
- Stolte, A., Forster, S., Gerdt, G., & Schubert, H. (2015). Microplastic concentrations in beach sediments along the German Baltic coast. *Marine Pollution Bulletin*, 99, 216-229.
- Tekman, M., Gutow, L., & Bergmann, M. (4 de septiembre de 1993). AWI-LITTERBASE. Recuperado el 31 de enero de 2016, de LITTERBASE: litterbase.awi.de
- Teuten, L. E., Rowland, J. S., Galloway, S. T., & Thompson, R. (2007). Potential for Plastics to Transport Hydrophobic Contaminants. *Environmental Science Technology*, 41, 7759-7764.
- Thompson, C., Swan, H., S., Moore, J., C., & Sall, S.vom, F. (2009). Our plastic age. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 364 (1526), 1973-1976.
- Thompson, R. C., Olsen, Y., & Mitchell, R. P. (2004). Lost at Sea: Where is all the plastic? *Science*, 304, 838.
- Thompson, R., Moore, C., Saal, F., & Swan, S. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of Royal Society B.*, 364, 2153-2166.
- Tsang, Y., Mak, C., Liebich, C., Lam, S., Sze, T.-P. E., & Chan, K. (2017). Microplastic pollution in the marine waters and sediments of Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 115, 20-28.

- Vázquez, F., Florville-Alejandre, T., Herrera, M., & Díaz de León, L. M. (2008). Metales pesados en tejido muscular del bagre *Ariopsis felis* en el sur del golfo de México. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 36 (2), 223-233.
- Vandermeersch, G., Cauwennberghe, V., Colin, J., Antonio, M., Kit, G., Gabriella, F., y otros. (2015). A critical view on microplastic quantification in aquatic organisms. *Environmental Research*, 143, 46-55.
- Vaughan, R., Turner, D. S., & Rose, L. N. (2017). Microplastics in the sediments of a UK urban lake. *Environmental Pollution*, 229, 10-18.
- Veracruz-gob. (17 de Marzo de 2018). Recuperado el 12 de Marzo de 2018, de Veracruz: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187445/Veracruz.pdf>
- Vianello, A., Boldrin, A., Guerriero, P., V., M., Rella, R., Sturaro, A., y otros. (2013). Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification. *Estuarine, Coastal and shelf Science*, 130, 54-61.
- Wang, W., Anne, N., Li, Z., & Wang, J. (2017). Microplastics pollution in inland freshwaters of China: A case study in urban surface waters of Wuhan, China. *Science of the Total Environment*, 575, 1369-1374.
- Werlinger, C., Alveal, K., & Romo, H. (2004). *Biología marina y oceanografía: conceptos y procesos (Vol. 1)*. (C. N. Lectura, Ed.) Chile.
- Wessel, C. C., Lockridge, R. G., Battiste, D., & Cebrian, J. (2016). Abundance and characteristics of microplastics in beach sediments: Insights into microplastic accumulation in northern Gulf of Mexico estuaries. *Marine Pollution Bulletin*, 109, 178-183.
- Wright, S., Thompson, R., & Galloway, T. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution*, 178, 483-492.
- Zhao, S., Zhu, L. W., & Li, D. (2014). Suspended microplastics in the surface water of the Yangtze Estuary System, China: First observations on occurrence, distribution. *Marine Pollution Bulletin*, 86, 562-568.
- Zhao, S., Zhu, L. W., & Li, D. (2015). Microplastics in three urban estuaries, China. *Environmental Pollution*, 206, 597-604.



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00035

Matrícula: 2161801567

EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN PECES COMERCIALES, AGUA Y SEDIMENTO DEL ESTUARIO DE TECOLUTLA, VERACRUZ.

En la Ciudad de México, se presentaron a las 13:00 horas del día 31 del mes de mayo del año 2018 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DR. JONATHAN MUTHUSWAMY PONNIAH
DR. ABRAHAM KOBELKOWSKY DIAZ
DR. ANTONIO ZOILO MARQUEZ GARCIA

Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretario el último, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS (ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE)

DE: LIRIO JAZMIN SANCHEZ HERNANDEZ



LIRIO JAZMIN SANCHEZ HERNANDEZ
ALUMNA

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

Aprobar

Acto continuo, el presidente del jurado comunicó a la interesada el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.

REVISÓ

LIC. JULIO CESAR DE LARA ISASSI
DIRECTOR DE SISTEMAS ESCOLARES

DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CBI

DR. JESUS ALBERTO OCHOA TAPIA

PRESIDENTE

DR. JONATHAN MUTHUSWAMY PONNIAH

VOCAL

DR. ABRAHAM KOBELKOWSKY DIAZ

SECRETARIO

DR. ANTONIO ZOILO MARQUEZ GARCIA