

**Universidad de San Carlos de Guatemala  
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura**

**Trabajo de Graduación**

**Evaluación de microplásticos en contenido estomacal  
de las especies, Hoja (*Peprilus snyderi*) (Gilbert & Starks, 1904)  
y Barbuda amarilla *Polydactylus opercularis* (Gill, 1863)**

**Presentado por:  
T. A. Luis Pedro García Arroyave**

**Para otorgarle el título de  
Licenciado en Acuicultura**

**Guatemala, octubre de 2021**

**Universidad de San Carlos de Guatemala  
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura**

**Trabajo de Graduación**

**Evaluación de microplásticos en contenido estomacal  
de las especies, Hoja *Peprilus snyderi* (Gilbert & Starks, 1904)  
y Barbuda amarilla *Polydactylus opercularis* (Gill, 1863)**

**Presentado por:**

**T. A. Luis Pedro García Arroyave**

**Para otorgarle el título de  
Licenciado en Acuicultura**

**Asesor: M. Sc. Cristopher Giovanny Avalos Castillo**

**Guatemala, octubre de 2021**

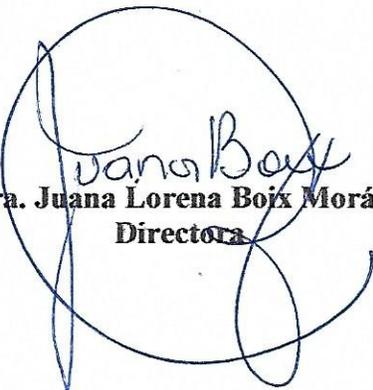
**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Centro de Estudios del Mar y Acuicultura**

**Consejo Directivo**

Presidenta	Dra. Juana Lorena Boix Morán
Secretario	Dr. Pedro Julio García Chacón
Representante Docente	M Sc. Norma Edith Gil de Castillo
Representante del Colegio de Médicos	Licda. Liliana Maricruz Maldonado Noriega
Veterinarios y Zootecnistas	
Representantes Estudiantiles	T. A. Karol Rubí Rivas Díaz T. A. Alejandra Raquel Contreras Perdomo

La directora del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-, después de conocer el dictamen favorable del M.Sc. Erick Roderico Villagrán Colón, Coordinador Académico, sobre el trabajo de graduación del estudiante universitario Luis Pedro García Arroyave, titulado “Evaluación de microplásticos en contenido estomacal de las especies Hoja *Peprilus snyderi* (Gilbert & Starks, 1904) y Barbuda Amarilla *Polydactylus opercularis* (Gill, 1863)”, da por este medio su aprobación a dicho trabajo. IMPRIMASE.

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**



**Dra. Juana Lorena Boix Morán**  
Directora

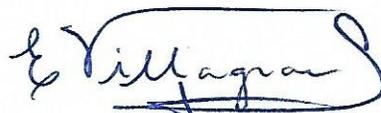


Guatemala, octubre de 2021

El Coordinador Académico del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-, después de conocer el dictamen favorable del asesor, M.Sc. Cristopher Giovanny Avalos Castillo, al trabajo de graduación del estudiante **Luis Pedro García Arroyave**, titulado: “Evaluación de microplásticos en contenido estomacal de las especies Hoja *Peprilus snyderi* (Gilbert & Starks, 1904) y Barbuda Amarilla *Polydactylus opercularis* (Gill, 1863)” da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Atentamente,

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**



**M.Sc. Erick Villagrán**  
**Coordinador Académico**



Guatemala, octubre de 2021

## **Agradecimientos**

A la Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC-.

Al Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-.

Al Laboratorio de Ciencias Biológicas y Oceanográficas -LABO-.

## **Acto que dedico**

A mis padres, en especial a mi madre, por ser el pilar de mi vida, por brindarme su apoyo incondicional, por creer en mí y por permitir que todo esto fuera posible.

A mis hermanos: por sus buenos consejos y su cariño.

A mis amigos: por su apoyo y compañía a lo largo de esta etapa.

## Resumen

La contaminación por microplásticos en los ecosistemas marinos es un problema mundial y afecta a la mayoría de especies, la ingesta de estas pequeñas partículas puede tener impactos a través de la cadena trófica, siendo también una ruta de transporte hacia los humanos que dependen de estos recursos. Además, en el proceso de degradación, los microplásticos también liberan gases de efecto invernadero, contribuyendo al calentamiento global. En países en vías de desarrollo, como Guatemala, la contaminación por plásticos no ha sido abordada como un tema de importancia nacional. Por ello el objetivo de este estudio fue evaluar la presencia de microplásticos en el tracto digestivo de dos especies de peces de importancia comercial en el Pacífico de Guatemala. Las especies se seleccionaron por la alta ocurrencia en las capturas de la pesca artesanal a lo largo de las comunidades costeras en el sur del país. Los organismos se colectaron en la comunidad de Sipacate, en el departamento de Escuintla, y se trasladaron hacia las instalaciones del laboratorio de Ciencias Biológicas y Oceanográficas de CEMA-USAC en donde se evaluaron. Se tomaron medidas biométricas de los organismos y los tractos digestivos fueron sumergidos en una solución de KOH [10%], posteriormente se filtraron, contabilizaron y clasificaron los microplásticos por su forma utilizando un estereoscopio. El rango de abundancia de microplásticos en *P. snyderi* fue de 0-9 MP/organismo, mientras que en *P. opercularis* el rango fue de 0-18 partículas de MP/organismo. Microplásticos fueron encontrados en el 40% de la población evaluada de *P. snyderi* y 36% en *P. opercularis*. Las fibras presentaron la mayor abundancia de las formas con 87% de los MP totales para *P. snyderi* y 73% para *P. opercularis*. La abundancia promedio de microplásticos fue de 0.6292 partículas de MP/organismo y 0.7924 partículas de MP/organismo, para *P. snyderi* y *P. opercularis*, respectivamente. Los resultados no mostraron correlación entre las covariables (largo total del individuo [LT], peso total del individuo [PT], y peso total del tracto digestivo [PTD], con la abundancia de microplásticos) evaluadas en las dos especies, sin embargo, sí se observó que hubo correlación negativa ( $\rho = -0.23$ ) significativa ( $p = 0.01$ ) para la población de hembras de *P. snyderi*, entre las covariables de peso del tracto digestivo y abundancia de microplásticos.

Palabras clave: *microfibras, pesca artesanal, contaminación, peso de tracto digestivo, cadena trófica.*

## Abstract

Microplastic pollution in marine ecosystems is a global issue and affect most species, ingestion of these small particles may have an impact through the food web, representing a transport route to humans who depend on these resources. In addition, in the degradation process, plastic also release greenhouse gasses, contributing to global warming. In developing countries, such as Guatemala, plastic pollution has not been addressed as a high importance issue. The aim of this study was to evaluate microplastic occurrence in fish gut of two commercially important species, in the Pacific of Guatemala. The species were selected because of their high occurrence in artisanal fish catches along the coastal communities in the south of the country. Organisms were collected in the community of Sipacate, located in the Department of Escuintla, then, transferred to CEMA-USAC Biological and Oceanographic Sciences laboratory facilities for evaluation. Biometric measurements were taken, and the digestive tracts immersed in a KOH [10%] solution, subsequently filtered, and microplastics were counted and classified according to its form using a stereoscope. Microplastics range abundance in *P. snyderi* was between 0-9 MP/org while in *P. opercularis* was between 0-18 MP/org. Microplastic were found in 40% of the evaluated population of *P. snyderi* and 36% in *P. opercularis*. Fibers showed the highest abundance with 87% of total MP for *P. snyderi* and 73% of total MP for *P. opercularis*. Average abundance of microplastics was 0.7924 MP/org and 0.6292 MP/org for *P. snyderi* and *P. opercularis*, respectively. The results show no correlation between covariates (total organism length, total organism weight, and digestive tract weight, with microplastic abundance) evaluated in any species; however, it was observed that there was a significant negative correlation for the female population of *P. snyderi*, between the covariates of digestive tract weight and microplastic abundance.

Keywords: *microfibers, artisanal fishery, pollution, digestive tract, food chain.*

# Índice de contenido

<b>1. Introducción</b>	1
<b>2. Marco teórico y estado del arte</b>	3
2.1 Marco teórico	3
2.1.1 Plástico	3
2.1.2 Producción de plástico	3
2.1.3 Fuentes de microplástico	3
2.1.4 Microplásticos primarios	3
2.1.5 Microplásticos secundarios	4
2.1.6 Residuos sólidos inorgánicos	4
2.1.7 Efectos en la cadena trófica	4
2.1.8 Riesgos en bioseguridad	4
2.1.9 Efectos físicos	5
2.1.10 Efectos químicos	5
2.1.11 Aspectos generales de los hábitos alimenticios y distribución de la Hoja <i>Peprilus snyderi</i> .	5
2.1.12 Aspectos generales de los hábitos alimenticios y distribución de la Barbuda amarilla <i>Polydactylus opercularis</i> .	6
2.2 Estado del arte	7
<b>3. Objetivos</b>	9
3.1 Objetivo general	9
3.2 Objetivos específicos	9
<b>4. Materiales y métodos</b>	10
4.1 Área de estudio	10
4.2 Tipo de investigación	11
4.3 Definición de variables	11
4.4 Muestreos y selección de muestra	12
4.5 Procedimiento	12
4.6 Métodos de control para prevención de contaminación	17

4.7 Análisis de información	18
<b>5. Resultados</b>	19
<b>6. Discusión</b>	24
<b>7. Conclusiones</b>	26
<b>8. Recomendaciones</b>	27
<b>9. Referencias bibliográficas</b>	28

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b>	Distribución de <i>P. snyderi</i>	5
<b>Figura 2.</b>	Distribución de <i>P. opercularis</i>	6
<b>Figura 3.</b>	Ubicación geográfica de municipio de Sipacate, Escuintla	10
<b>Figura 4.</b>	Toma de longitud total (LT) en <i>P. snyderi</i>	12
<b>Figura 5.</b>	Toma de peso total (PT) en <i>P. snyderi</i>	13
<b>Figura 6.</b>	Corte de ventana para extracción del tracto digestivo	13
<b>Figura 7.</b>	Tracto digestivo (ciegos pilóricos, estómago e intestino)	14
<b>Figura 8.</b>	Toma de peso del tracto digestivo (PTD)	14
<b>Figura 9.</b>	Potasa cáustica	14
<b>Figura 10.</b>	Solución de hidróxido de potasio [10%]	14
<b>Figura 11.</b>	Preparación de muestras con KOH [10%]	15
<b>Figura 12.</b>	Muestras en frascos esmerilados previo a iniciar con el proceso de digestión	15
<b>Figura 13.</b>	Digestión de muestras a 40°C durante 72 horas	15
<b>Figura 14.</b>	Digestión completa luego de 72 horas	16
<b>Figura 15.</b>	Filtro, embudo y cristalería para el proceso de filtración	16
<b>Figura 16.</b>	Materia orgánica producto de la digestión del tracto digestivo	16
<b>Figura 17.</b>	Filtro utilizado como método de control para la contaminación por microfibras y estereoscopio para cuantificar los microplásticos	17
<b>Figura 18.</b>	Microfibras sintéticas en el tracto digestivo	17
<b>Figura 19.</b>	Composición porcentual de microplásticos encontrados en las dos especies evaluadas, clasificados por su forma	20
<b>Figura 20.</b>	Distribución de la abundancia de microplásticos encontrados en <i>P. snyderi</i> y <i>P. opercularis</i>	21
<b>Figura 21.</b>	Correlación de Spearman entre las covariables de peso del tracto digestivo (PTD) y abundancia de microplásticos en el grupo de hembras de <i>P. snyderi</i>	23

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b>	<i>Covariables</i>	11
<b>Tabla 2.</b>	<i>Especies, tamaño de muestra, datos biométricos, desviación estándar y ocurrencia de MP por especie.</i>	19
<b>Tabla 3.</b>	<i>Estimación de la correlación entre las covariables; Largo total del individuo (LT), Peso total del individuo (PT), y Peso total del tracto digestivo (PTD), con la abundancia de microplásticos, en dos especies (<i>P. opercularis</i> y <i>P. snyderi</i>) de importancia comercial del Pacífico de Guatemala. <math>S</math> = valor estadístico; <math>p</math> = valor de <math>p</math>; <math>\rho</math> = índice de correlación de Spearman.</i>	22

# 1. Introducción

La producción de plástico ha ido en aumento desde la creación del primer polímero hace ya más de un siglo, en promedio esta industria ha tenido un incremento de 8.7% anual desde principios de 1950 cuando se inició con la producción a nivel industrial (World Watch Institute, 2015). El plástico es un material utilizado para la fabricación de una amplia gama de productos para empaques, construcción, transporte, electricidad, agricultura, tecnología, automovilismo y alimentación (Geyer, 2020). A pesar de que en la actualidad existen más de 50 tipos de plásticos, son cuatro los polímeros que se emplean con mayor frecuencia en las diferentes industrias, entre estos: polietileno [PE], polipropileno [PP], poliestireno [PS] y polivinilo de cloruro [PVC] (Andrady, & Rajapakse, 2017). Aunque cada polímero tiene sus propias características, todos tienen en común la durabilidad, que se confiere a través de los aditivos integrados durante el proceso de fabricación (Goodship, Middleton, & Cherrington, 2016).

Los primeros reportes de contaminación por plásticos surgieron a principios de la década de los 70, se trata de una problemática a nivel mundial y representa una gran amenaza para la vida salvaje ya que esta presente en todos los hábitats acuáticos (Halsband, & Booth, 2020; Jambeck, et al, 2015). Los ríos son la fuente principal de aporte hacia los océanos, pueden tener influencia desde 50 Km hasta 200 Km a lo ancho de la zona costera según el cauce del río, la densidad poblacional y el manejo de residuos sólidos inorgánicos (Schmidt, Krauth, & Wagner, 2017). Una vez allí, estos se depositan en los sedimentos del fondo del océano, zona intermareal, en la columna y superficie de agua, pero la mayor concentración se encuentra en aguas abiertas (Erni-Cassola, Zadjelovic, Gibson, & Christie-Oleza, 2019). Al estar en el medio ambiente el plástico pierde sus propiedades y se degrada a través de procesos químicos, físico-químicos y biológicos, en piezas de menor tamaño conocidas como microplásticos (< 5 mm) (Fotopoulou, & Karapanagioti, 2017).

Los microplásticos generalmente se clasifican en dos grupos, primarios, son todos aquellos que están fabricados con tamaños pequeños, usualmente entre 2-5 mm. Los secundarios son fragmentos derivados del rompimiento de piezas de mayor tamaño tanto en la tierra como en el agua (Cole, Lindeque, Halsband, & Galloway, 2011). Estas partículas plásticas provocan varios impactos, uno de los más preocupantes es la ingesta por organismos

marinos (Li, Tse, & Fok, 2016). Además, tienen la capacidad de transferir contaminantes químicos que pueden ser perjudiciales para la salud de los consumidores secundarios y terciarios a través de la cadena trófica (Carbery, O'Connor, & Thavamani, 2018). En países en vías de desarrollo, como Guatemala, el manejo de residuos sólidos inorgánicos no es un tema considerado de urgencia, por lo tanto no existen sistemas para el manejo de la basura (Marshall, & Farahbakhsh, 2013) y la mayoría de cuerpos de agua se encuentran contaminados. Es de gran relevancia evaluar el estado de salud del recurso hidrobiológico en el país, ya que la ingesta de grandes cantidades de microplástico supone un alto riesgo en la salud de la población. El estudio de microplásticos en contenido estomacal de especies comerciales es importante para evidenciar los niveles de contaminación en productos que son para el consumo humano.

## **2. Marco Teórico y Estado del Arte**

### 2.1 Marco teórico

#### 2.1.1 Plástico

Es un material sintético que esta hecho a partir de hidrocarburos que pueden ser moldeados en diferentes formas y tamaños para fabricar una gran diversidad de objetos con distintos fines. Algunos polímeros como el polietileno [PE] o el polipropileno [PP] son sintetizados a partir de olefinas, otros como el poliestireno [PS] o poliamidas [PA] son sintetizados a partir de hidrocarburos aromáticos (van Emmerik, & Schwarz, 2019).

#### 2.1.2 Producción de plástico

Desde los inicios de la producción industrial de polímeros sintéticos en los años 50, la fabricación de plástico sobrepasó la gran mayoría de materiales, con excepción de los metales y el cemento. En la década de los 60, los residuos plásticos pasaron de formar menos del 1% de todos los desechos municipales a más del 10% en 2005 en países desarrollados. Como resultado, se han acumulado en el medio ambiente y en rellenos sanitarios, luego a través de distintos procesos físicos y químicos se fragmentan en piezas de menor tamaño conocidas como microplásticos (Geyer, & Law, 2017).

#### 2.1.3 Fuentes de microplástico

Las piezas de microplástico en el medio ambiente son partículas que difieren en tamaño, composición química, forma, densidad específica y color (Auta, Emenike, & Fauziah, 2017). Debido a estos factores existen diferentes categorías para los microplásticos, generalmente se clasifican en dos grupos principales, según la fuente pueden ser primarios o secundarios.

#### 2.1.4 Microplásticos primarios

Son aquellos que estan fabricados con un tamaño igual o menor a 5 mm para la aplicación industrial o en los hogares. Son comunes en los productos de cosméticos, pastas dentales, repelentes de insectos, protectores solares, productos de limpieza y fluidos de perforación (Auta, Emenike, & Fauziah, 2017; Castañeda, Avlijas, Simar, & Ricciardi, 2014).

### 2.1.5 Microplásticos secundarios

Son producto de la fragmentación de piezas plásticas de mayor tamaño que por diferentes procesos mecánicos y químicos se degradan en partículas de menor tamaño como los mesoplásticos (5-25 mm) y microplásticos (<5 mm) (Jabeen, et al, 2016).

### 2.1.6 Residuos sólidos inorgánicos

Son todos aquellos desechos que no tienen origen biológico y han sido creados por el humano, entre estos están desechos industriales, especiales, comerciales y municipales. El mal manejo de estos residuos y su producción descontrolada puede ser un riesgo para la salud del ambiente y para el ser humano (Worrell, & Vesilind, 2012; McDougal, White, Franke, & Hindle, 1993).

### 2.1.7 Efectos en la cadena trófica

Las partículas plásticas pasan por varias transformaciones luego de ingresar a los ecosistemas marinos, estos influyen en las rutas y comportamiento entre los diferentes niveles tróficos. Al estar expuestos a las condiciones marinas, la naturaleza hidrofóbica de los microplásticos facilita la adsorción de carbono orgánico disuelto, luego comienzan a degradarse a través de rompimiento y fracturas, en piezas de menor tamaño. Esto provee superficies y estimula el crecimiento de microorganismos que forman un biofilm. El biofilm altera las propiedades físicas y químicas de los microplásticos, disfrazándolos y aparentando ser partículas con valor nutricional para la fauna. Luego, estos son ingeridos por organismos planctónicos e incrementando así la biodisponibilidad (Halsband, & Booth, 2020; Yan, et al, 2020).

### 2.1.8 Riesgos en bioseguridad

Se cree que los microplásticos pueden actuar como vectores de transporte para agentes patógenos y especies invasivas. Existen hipótesis acerca de que los microplásticos proveen resistencia a los agentes patógenos que sobreviven a las plantas de tratamiento. Luego en los océanos estas partículas son esparcidas por las corrientes marinas, dispersando especies altamente virulentas y resistentes alrededor del mundo (Tremblay, Pochon, Champeau, Baker, & Northcott, 2020).

### 2.1.9 Efectos físicos

Al ser ingeridos, los microplásticos pueden provocar obstrucciones en el tracto digestivo y provocar daños internos, como consecuencia los organismos pierden el apetito, se ven afectados nutricionalmente, y eventualmente mueren de inanición. En procesos como respiración, órganos como las branquias también pueden quedar obstruidas, disminuyendo la tasa de respiración, provocando la muerte por asfixia (Rocha-Santos, & Duarte, 2017).

### 2.1.10 Efectos químicos

En los procesos de fabricación de polímeros se utilizan grandes cantidades de aditivos, solventes y monómeros que tienen la capacidad de liberarse según las condiciones a las que sean expuestas. En muchos casos estas son sustancias lipofílicas, facilitando así su paso a través de las membranas celulares, afectando procesos reproductivos (Rocha-Santos, & Duarte, 2017).

### 2.1.11 Aspectos generales de los hábitos alimenticios y distribución de la Hoja *Peprilus snyderi*

Es una especie bentopelágica que se distribuye en aguas costeras desde Baja California Sur hasta las costas de Perú (Figura 1), habita desde los 0 metros hasta los 108 metros de profundidad. Su alimentación consiste en invertebrados béticos, ovas y larvas de otros organismos marinos. Es considerada una especie con alto potencial para las pesquerías y es altamente recurrente en las capturas de la pesca artesanal en el Pacífico de Guatemala (Dirección de Normatividad de la Pesca y la Acuicultura [DIPESCA], Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación [MAGA], & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2018; Iwamoto, Eschmeyer, & Alvarado, 2010).



*Figura 1.* Distribución de *P. snyderi* (Gilbert, & Starks, 1904)  
(Iwamoto, Eschmeyer, & Alvarado, 2010)

4.1.12 Aspectos generales de los hábitos alimenticios y distribución de la Barbuda amarilla  
*Polydactylus opercularis*

Es una especie demersal que se distribuye en las aguas costeras y estuarinas desde California hasta las costas del norte de Perú (Figura 2). Habita desde los 0 metros hasta los 20 metros de profundidad y su alimentación consiste en invertebrados béntónicos. Es una especie altamente recurrente en las capturas de la pesca artesanal en el Pacífico de Guatemala (DIPESCA, MAGA, & PNUD, 2018; Allen, Robertson, & Zapata, 2010).



*Figura 2.* Distribución de *P. opercularis* (Gill, 1863) (Allen, Robertson, & Zapata, 2010)

## 2.2 Estado del arte

En costas del Sureste del Pacífico, países como Panamá, Colombia, Ecuador, Perú y Chile, llevaron a cabo la evaluación del contenido estomacal de siete especies de peces planctívoros. Los animales se obtuvieron directamente con los pescadores, fueron almacenados en hieleras y posteriormente transportados hacia las instalaciones del laboratorio para ser analizados. Se tomó registro de variables como longitud, peso total y peso del tracto digestivo (esófago, estómago, intestino y ciegos pilóricos), que luego fue fijado en etanol al 70%. Para la obtención de microplásticos se hizo un corte longitudinal en el tracto digestivo, las paredes estomacales fueron lavadas con agua de mar (previamente filtrada en mallas de 100 µm) y el contenido fue colocado en cajas petri. Los microplásticos fueron observados con microscopio (6.5X, 50X) y clasificados según su forma (fragmento duro o suave, hilos y film), color y estado de degradación (nuevo o degradado). La identificación química de los polímeros se hizo por medio de espectroscopia infrarroja de amplio espectro (FTIR-ATR). Los resultados demostraron que únicamente en seis de 292 organismos analizados se encontraron microplásticos, el tamaño promedio de partículas osciló entre 2.4-3.8 mm, todos en estado de degradación. Los colores más comunes fueron: negro, azul y rojizo (Ory, et al, 2017).

En la provincia de Puntarenas, Costa Rica, colectaron 30 ejemplares del género *Opisthonema* (*O. libertate*, *O. bulleri*, *O. medirastre*). Las variables de longitud furcal, longitud total, peso total y peso eviscerado fueron registradas. Los órganos relacionados al tracto digestivo fueron extraídos y aislados. Luego realizaron un corte longitudinal a través del tracto gastrointestinal para retirar el contenido y lo colocaron en filtros de papel. Las paredes del tracto digestivo fueron lavadas con agua destilada y todo el material fue inmerso en una solución de hidróxido de potasio KOH (10%) durante un mínimo de 48 h para eliminar toda la materia orgánica. Para evitar la contaminación de muestras, todos los tractos fueron extraídos y preparados en un tiempo aproximado de 10 minutos o menos por muestra en un cuarto totalmente hermético. El material resultante fue filtrado al vacío utilizando filtros de celulosa, que posteriormente fueron secados y observados al estereoscopio. Los microplásticos fueron clasificados por su forma como fibras y partículas, para la identificación química se aplicó el método por espectroscopia infrarroja de amplio espectro (FTIR-ATR). Los resultados mostraron que el 100% de animales

analizados contenía microplásticos en el tracto digestivo. 1,101 piezas de plástico fueron extraídas del contenido estomacal de 30 organismos. Las fibras fueron la forma más abundante con un 79.5% de incidencia y las partículas con un 20.5%. El rango promedio de piezas de microplástico por organismo fue entre 32-42 MP's/org (Bermúdez-Guzmán, et al, 2020).

En las costas de Lima, Perú, se evaluó la presencia de microplásticos en contenido estomacal de tres especies de peces comerciales (*Odontesthes regia*, *Cheilodactylus variegatus* y *Anisotremus scapulari*). Los animales fueron adquiridos directamente con los pescadores y de puestos de venta, luego almacenados en hielo y transportados hacia las instalaciones de laboratorio para su posterior evaluación. El tracto digestivo fue extraído (estómago e intestinos) y el contenido fue colocado en cajas petri. Para la extracción de microplásticos las muestras fueron inmersas en una solución de hidróxido de potasio KOH (10%), luego fueron agitadas y puestas a calentar a 60 °C durante 24 h. El material obtenido fue filtrado al vacío utilizando filtros de celulosa, en los casos de digestión incompleta, la solución fue diluida en 100 mL de solución salina (120g/NaCl) mezclado con un varilla de vidrio y reposada durante 10 minutos para formar un precipitado. Para la identificación visual el material fue observado con estereoscopio (40X) y los microplásticos fueron clasificados según sus características físicas como color, geometría y estructura. Para el control de calidad, se utilizó bata de algodón, guantes de látex y el material seleccionado para manipular muestras fue de vidrio y metal. Se colocó un filtro de papel mojado en las áreas de trabajo para su posterior observación y determinación de contaminación externa. Los resultados mostraron que todos los organismos muestreados contenían microplásticos, la forma más abundante fueron las fibras, seguido de fragmentos y por último film. El color más abundante en las partículas de microplástico fue el azul (52.53%), rojo (26.26%), negro (17.17%), verde (1.33%), café (1.33%) y morado (1.33%) (De La Torre, 2019).

### 3. Objetivos

#### 3.1 Objetivo general

Analizar la ocurrencia de microplásticos en contenido estomacal de las especies *Peprilus snyderi* y *Polydactylus opercularis*.

#### 3.2 Objetivos específicos

Determinar la abundancia de microplásticos en *P. snyderi* y *P. opercularis*.

Clasificar los microplásticos en el contenido estomacal de *P. snyderi* y *P. opercularis*.

Estimar la frecuencia de tipos de microplásticos en contenido estomacal de *P. snyderi* y *P. opercularis*.

## 4. Materiales y métodos

### 4.1 Área de estudio

Las muestras para la investigación fueron tomadas en la comunidad de Sipacate en el departamento de Escuintla, Guatemala, con coordenadas geográficas 14°00'38.9" N y 91°17'02.4" O (Figura 3) y analizadas en las instalaciones del laboratorio de Ciencias Biológicas y Oceanográficas del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, en la ciudad universitaria zona 12 de la ciudad capital.

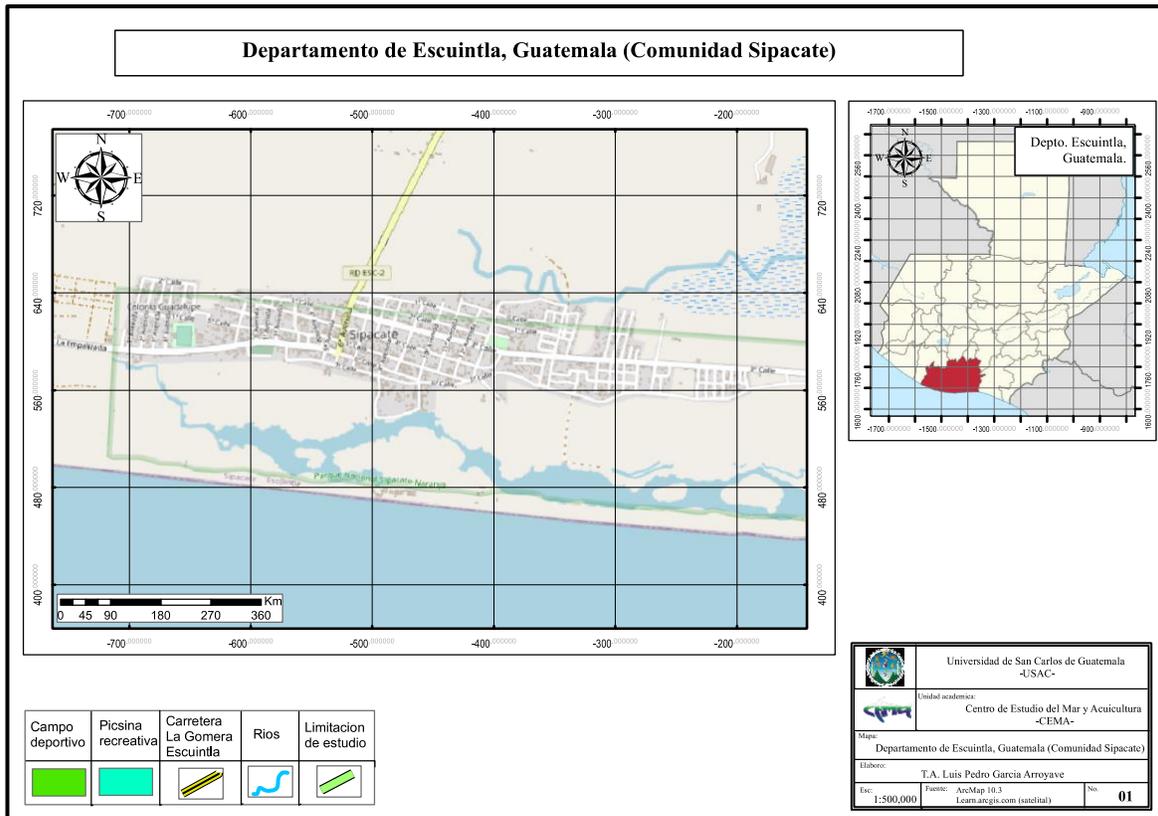


Figura 3. Ubicación geográfica del municipio de Sipacate, Escuintla

## 4.2 Tipo de investigación

Distintas variables (cuantitativas y cualitativas) fueron tomadas en cuenta para poder aplicar métodos estadísticos y con ello obtener los resultados más acertados y una interpretación certera, por lo tanto, el tipo de enfoque de la investigación fue mixto. Se aplicó estadística descriptiva para evaluar si existe una relación entre las distintas variables de los organismos y la abundancia de microplásticos en cada uno.

## 4.3 Definición de variables

En el proceso de la investigación se tomaron variables biométricas de los organismos capturados de la pesca artesanal. También se tomaron en cuenta variables de los microplásticos colectados del contenido estomacal.

Tabla 1

### *Covariables*

<b>Variable</b>	<b>Definición teórica de la variable</b>	<b>Definición operativa</b>	<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Escala</b>
<b>Longitud total (LT)</b>	Distancia desde el extremo anterior del organismo hasta el extremo posterior de la aleta caudal	Distancia desde el extremo anterior del organismo hasta el final de la aleta caudal.	Medición	Ictiómetro	Centímetros
<b>Peso total (PT)</b>	Peso del organismo sin eviscerar	Medida de peso en gramos del organismo	Medición	Balanza electrónica	Gramos
<b>Peso de tracto digestivo (PTD)</b>	Peso de los órganos relacionados con la digestión (estómago, intestinos, ciegos pilóricos)	Medida de peso en gramos del tracto digestivo del organismo	Medición	Balanza electrónica	Gramos

<b>Forma de microplástico</b>	Clasificación de la partícula según su forma	Forma de la partícula	Observación	Clasificación estándar	Fragmento, microesfera, film, fibra
<b>Abundancia</b>	La cantidad se expresa como número de unidades	Número de partículas de microplástico	Observación	Regla Bomba de vacío	Microplásticos/organismo

#### 4.4 Muestreo y selección de muestra

Los muestreos se realizaron por conveniencia, eligiendo los organismos disponibles en el espacio de tiempo establecido. El tamaño de muestra seleccionado fue de 30 organismos mensuales para cada una de las especies (*P. snyderi* y *P. opercularis*), al finalizar el estudio fueron analizadas un total de 337 ejemplares.

#### 4.5 Procedimiento

Se aplicó la metodología establecida por Foekema et al (2013), combinada con el protocolo establecido por Karami et al (2016). Se registraron medidas biométricas como longitud total (LT), peso total (PT) y peso de tracto digestivo (PTD) de cada uno de los organismos.



*Figura 4.* Toma de longitud total (LT) en *P. snyderi*



*Figura 5.* Toma de peso total (PT) en *P. snyderi*

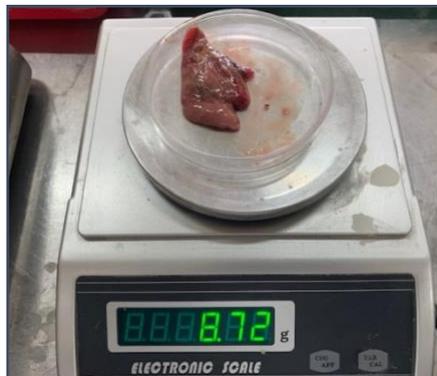
Se realizó un corte longitudinal desde el poro anal hasta el opérculo, luego se retiró el tracto digestivo, fue pesado y posteriormente colocado en un frasco esmerilado.



*Figura 6.* Corte de ventana para la extracción del tracto digestivo



*Figura 7.* Tracto digestivo (ciegos pilóricos, estómago e intestino)

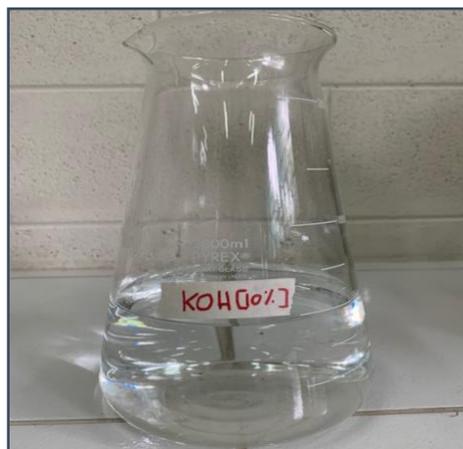


*Figura 8.* Toma de peso del tracto digestivo (PTD)

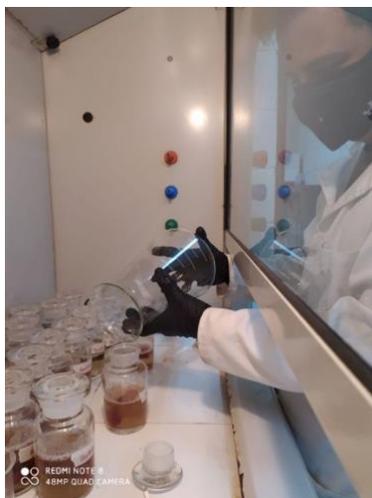
El proceso de digestión se realizó utilizando una solución de hidróxido de potasio KOH [10%] en el cual fue inmerso el contenido, considerando una relación de peso volumen de 3:1. Para preparar la solución de KOH [10%], fueron diluidos 100 g de potasa cáustica en 1000 mL de agua desmineralizada. Este procedimiento se llevó a cabo dentro de una campana de extracción.



*Figura 9.* Potasa cáustica



*Figura 10.* Solución de hidróxido de potasio [10%]



*Figura 11.* Preparación de muestras con KOH [10%]

En el proceso de digestión se adaptó la metodología de Karami et al (2016), que establece que los tractos digestivos sean colocados en frascos dentro de una incubadora a 40 °C durante 24-72 horas, esto para reducir el periodo de digestión de tres semanas que indica la metodología de Feoekema et al (2013). Las muestras fueron evaluadas después de 24 horas y 48 horas para observar el proceso de digestión.



*Figura 12.* Muestras en frascos esmerilados previo a iniciar con el proceso de digestión



*Figura 13.* Digestión de muestras a 40 °C durante 24-72 horas



*Figura 14.* Digestión completa luego de 72 horas

El material obtenido fue filtrado por gravedad y luego observado al estereoscopio, posteriormente las partículas fueron clasificadas por su forma.



*Figura 15.* Filtro, embudo y cristalería para el proceso de filtración

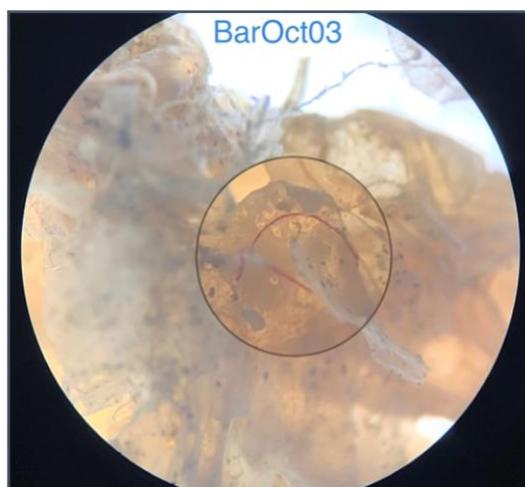


*Figura 16.* Materia orgánica producto de la digestión del tracto digestivo

Durante el proceso de observación y cuantificación de microplásticos, para cada muestra fue colocado un filtro con agua, esto como método de control para contabilizar las microfibras sintéticas. Luego de observar la muestra de tracto digestivo, el filtro control también fue observado al estereoscopio. Las fibras fueron sometidas a pruebas de calor como un método para confirmar si eran de origen sintético o de origen biológico. Se calentó una aguja de disección con un mechero y posteriormente la aguja fue colocada cerca de las fibras para observar si había reacción termo-oxidativa, fueron contabilizadas todas las que presentaron reacción.



*Figura 17.* Filtro utilizado como método de control para la contaminación por microfibras y estereoscopio para cuantificar los microplásticos



*Figura 18.* Microfibra sintética en tracto digestivo

#### 4.6 Métodos de control para prevención de contaminación

Para la reducción de contaminación por fibras u otros tipos de microplásticos, la toma de medidas biométricas y la extracción de los tractos digestivos fue realizada en un período no mayor a 10 minutos por organismo. El proceso de digestión se llevó a cabo dentro de una campana de extracción, procurando el menor tiempo posible para cada uno de los tractos digestivos.

#### 4.7 Análisis de la información

Se realizó la prueba de Shapiro Wilk y se determinó que la distribución de los datos biométricos registrados y la abundancia de microplásticos, no tenían normalidad. Posteriormente se aplicó la prueba de Spearman para evaluar si existía correlación entre los datos biométricos y la abundancia de microplásticos. Todos los análisis fueron realizados empleando el paquete de 'PerformanceAnalytics' (Peterson et al., 2021) en el lenguaje estadístico R (R Core Team, 2021).

## 5. Resultados

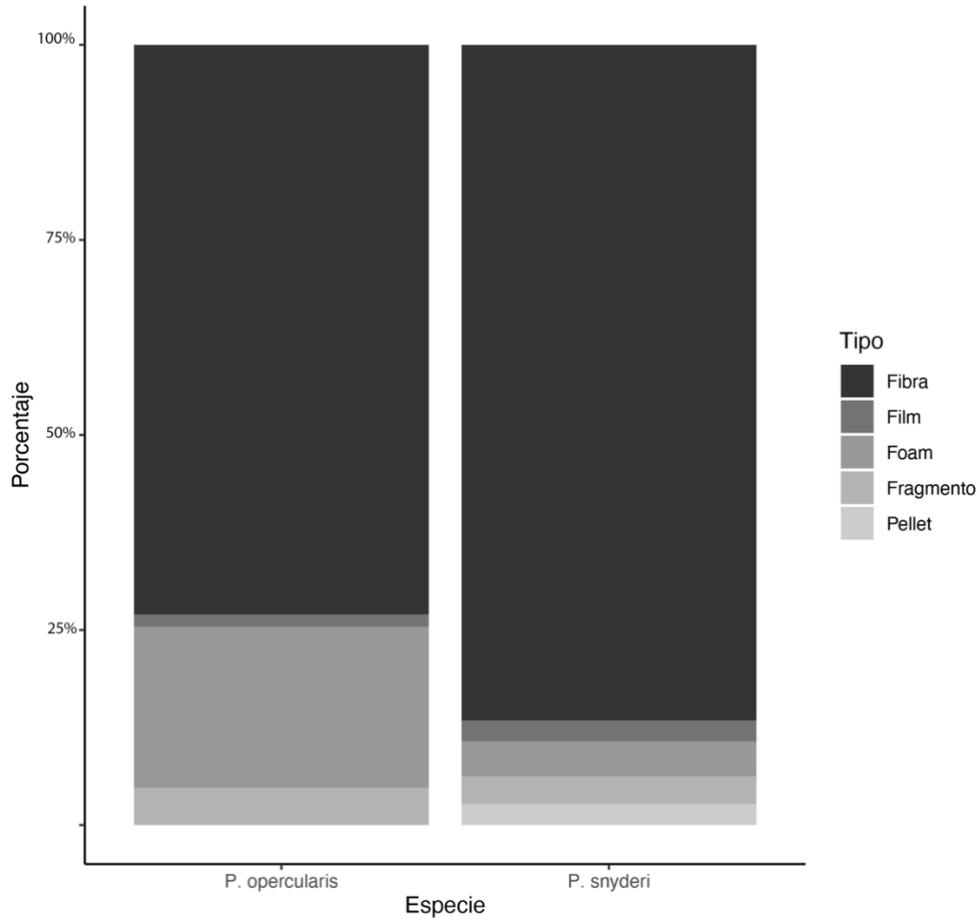
Durante el período de octubre de 2020 a marzo de 2021, fueron evaluados 337 tractos digestivos, de los cuales, 178 pertenecen a ejemplares de *P. snyderi* y 159 de *P. opercularis*. Partículas de microplástico fueron encontradas en el 40% y 36% de los organismos de *P. snyderi* y *P. opercularis*, respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2

*Especies, tamaño de muestra, datos biométricos y ocurrencia de MP por especie*

<b>Especie</b>	<b>Tamaño de muestra (n)</b>	<b>Peso promedio (g) + Desv. Est. (g)</b>	<b>Longitud promedio (cm) + Desv. Est. (cm)</b>	<b>Ocurrencia de microplásticos por especie (%)</b>
<i>Peprilus snyderi</i>	178	209.50 ± 47.90	26.45 ± 2.16	40
<i>Polydactylus opercularis</i>	159	210.21 ± 51.44	29.03 ± 2.15	36

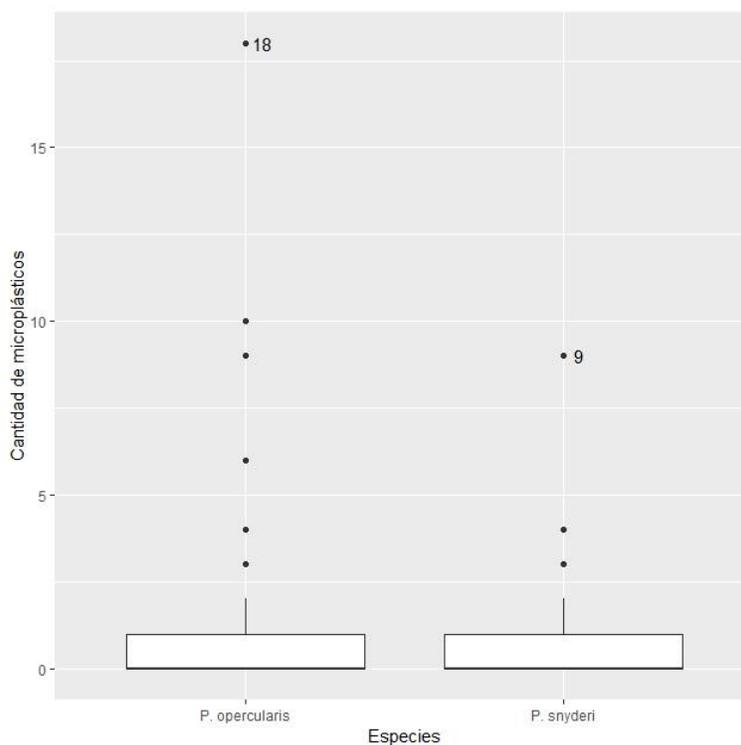
Se pudo observar que las fibras fueron la forma con mayor abundancia en *P. snyderi* (87%) y *P. opercularis* (73%) (figura 19). Para *P. snyderi* la segunda forma con mayor abundancia fue el foam (4%), seguido de film, pellet y fragmento con 3% respectivamente. Para *P. opercularis* la segunda forma con mayor abundancia fue el foam (21%), seguido de fragmento (5%) y film (1%).



*Figura 19.* Composición porcentual de microplásticos encontrados en las dos especies evaluadas, clasificados por su forma

La abundancia media de microplásticos para *P. snyderi* fue de 0.6292 partículas por tracto digestivo. Se determinó que la abundancia media de microplásticos para *P. opercularis* fue de 0.7924 partículas de microplástico por tracto digestivo.

Se encontraron un total de 112 partículas de microplástico en 178 ejemplares de *P. snyderi*, y 126 partículas de microplástico en 159 individuos de *P. opercularis*. Se pudo observar que la distribución de la abundancia de microplásticos en los tractos digestivos de las dos especies analizadas fue entre 0-1 partícula de microplástico por organismo (Figura 21). El ejemplar con mayor abundancia para *P. opercularis* presentó 18 microplásticos en el tracto digestivo. En *P. snyderi*, el espécimen que presentó mayor abundancia fue de 9 microplásticos.



*Figura 20.* Distribución de la abundancia de microplásticos encontrados en *P. snyderi* y *P. opercularis*

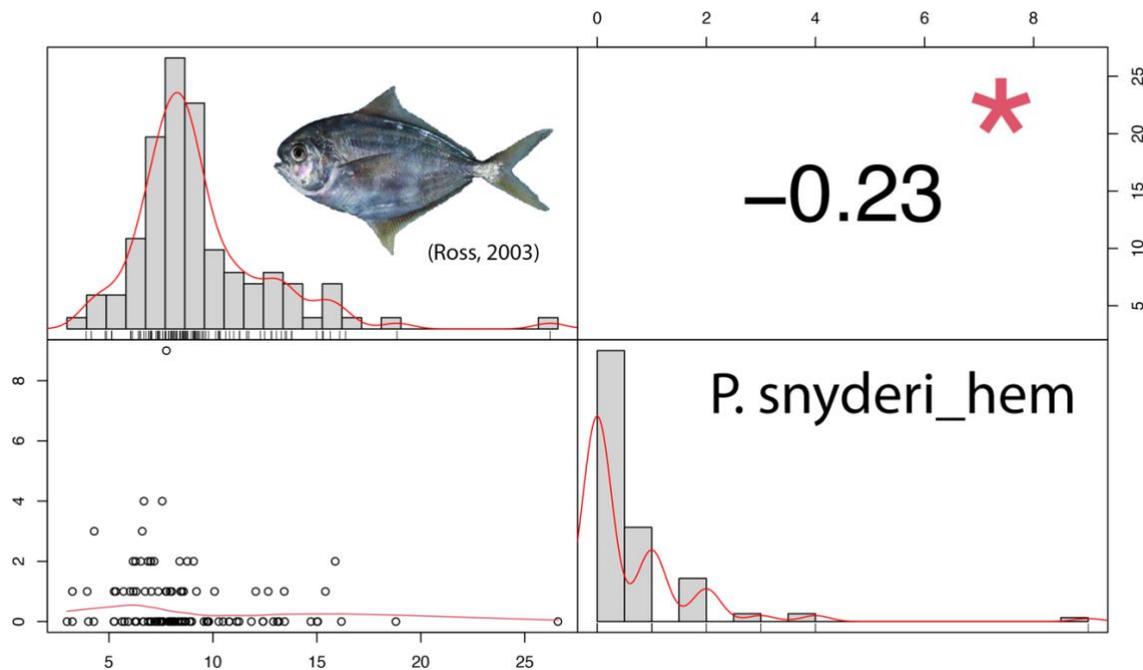
Tabla 3

*Estimación de la correlación entre covariables; Largo total (LT), Peso total (PT), y Peso total del tracto digestivo (PTD), con Abundancia de microplásticos, en dos especies (P. opercularis y P. snyderi) de importancia comercial del Pacífico de Guatemala. S = valor estadístico; p = valor de p; rho = índice de correlación de Spearman*

<b>Grupo de estudio</b>	<b>S</b>	<b>p</b>	<b>rho</b>
<b><i>P. opercularis</i></b>			
<b>Población</b>			
<b>LT</b>	770404	0.05	-0.15
<b>PT</b>	779924	0.09	-0.13
<b>PTD</b>	731495	0.24	-0.09
<b>Hembras</b>			
<b>LT</b>	497542	0.06	-0.16
<b>PT</b>	483403	0.14	-0.13
<b>PTD</b>	467918	0.28	-0.09
<b>Machos</b>			
<b>LT</b>	1747.4	0.95	0.013
<b>PT</b>	1832.9	0.88	-0.035
<b>PTD</b>	1765.4	0.99	0.003
<b><i>P. snyderi</i></b>			
<b>Población</b>			
<b>LT</b>	936901	0.97	0.003
<b>PT</b>	994031	0.44	-0.057
<b>PTD</b>	1058833	0.09	-0.13
<b>Hembras</b>			
<b>LT</b>	229853	0.5	-0.065

<b>PT</b>	248993	0.11	-0.15
<b>PTD</b>	266490	0.01	-0.23
<b>Machos</b>			
<b>LT</b>	48793	0.37	0.11
<b>PT</b>	49641	0.45	0.09
<b>PTD</b>	54278	0.94	0.008

Se observó que los resultados de la población de hembras de *P. snyderi* mostraron una correlación negativa significativa entre las covariables de peso del tracto digestivo (PTD) y la abundancia de microplásticos.



*Figura 21.* Correlación de Spearman entre las covariables de peso del tracto digestivo (PTD) y abundancia de microplásticos en el grupo de hembras de *P. snyderi*

## 6. Discusión

En las especies evaluadas se encontró que las fibras fueron la forma con mayor abundancia, presentes en un 87% en *P. snyderi* y 73% en *P. opercularis*. Esto concuerda con los resultados del estudio llevado a cabo por Mazariegos-Ortiz, Xajil-Sabán, Blanda & Delvalle-Borrero (2021), en donde el 82% de microplásticos encontrados fueron fibras. También concuerdan con los resultados obtenidos por Pazos, Maiztegui, Colautti, Paracampo, & Gómez (2017) en Río de la Plata, Argentina, en donde las fibras tuvieron una abundancia del 96%. Se observó que las fibras fueron ingeridas en gran parte por las larvas y juveniles de peces en un estudio desarrollado por Rebelein, Int-Veen, Kamman, & Scharsack (2021). Las fibras (microplásticos secundarios) provenientes de artes de pesca, indumentarias y otros artefactos textiles alrededor del mundo, son una de las formas de microplástico con mayor presencia en los ecosistemas acuáticos, en su gran mayoría están asociadas a la industria textil. Están compuestas principalmente por polímeros como poliamidas, acrílicos, polipropileno, poliéster y polietileno tereftalato.

A pesar de que se requieren investigaciones con un enfoque distinto para determinar los daños que implica la ingestión de microplásticos en etapas tempranas de peces, existe la posibilidad de que sean una potencial fuente para la transferencia de estas pequeñas piezas hacia los humanos, especialmente en las especies de interés comercial. Los aditivos empleados para la fabricación de polímeros generan gran preocupación por el impacto que pueden causar en la salud de los humanos. El polietileno y polipropileno contienen químicos que pueden causar daño en la piel, en algunos casos afectan los cromosomas, provocando infertilidad, obesidad y cáncer (Sharma, & Chatterjee, 2017).

El promedio de microplásticos (MP) por organismo para *P. snyderi* y *P. opercularis*, fue de 0.6292 MP/org y 0.7924 MP/org, respectivamente, estos resultados difieren de los obtenidos por Mizraji *et al*, en un estudio llevado a cabo en Concepción, Chile, en donde se obtuvo un valor promedio de 61 MP/organismo con un máximo de 238 MP/org. Los valores máximos para *P. snyderi* y *P. opercularis* fueron de 9 MP/org y 18 MP/org. Estas diferencias pueden ser resultado de varios factores como la aplicación de distintos métodos

para el aislamiento de microplásticos, hábitos alimenticios de las especies seleccionadas y la densidad poblacional del área de captura.

Los resultados de la investigación no demostraron alguna correlación entre las diferentes variables de peso total del individuo, largo total del individuo y peso del tracto digestivo con la abundancia de microplásticos. Sin embargo, para el grupo de hembras en *P. snyderi*, se pudo observar que hubo correlación negativa significativa entre el peso del tracto digestivo y la abundancia de microplásticos, a mayor peso del tracto digestivo, menor abundancia de microplásticos. Mizraji, *et al* (2017), observaron que hubo correlación negativa significativa entre la cantidad de microplásticos y el factor K, sugiriendo que las fibras podrían afectar al crecimiento de los peces ya que están asociadas a problemas en la salud de varias especies de organismos marinos.

## 7. Conclusiones

Microplásticos fueron encontrados en los tractos digestivos en dos especies de importancia comercial del Pacífico de Guatemala. Las formas encontradas fueron fibras, film, foam, fragmentos y pellet, siendo las fibras la forma más abundante de los microplásticos totales contabilizados.

Los rangos de abundancia de microplásticos en cada una de las especies *P. snyderi* y *P. opercularis* fue de 0-9 partículas de MP/org y 0-18 partículas de MP/org, respectivamente. Se encontraron microplásticos en el 40% de la población evaluada de *Peprilus snyderi* y 36% de la población evaluada de *Polydactylus opercularis*.

La correlación negativa significativa en la Hoja (*Peprilus snyderi*), en el grupo de hembras, se debe complementar con otros análisis como el factor de condicion K para una mejor interpretación de resultados. Las fibras estan asociadas a problemas fisiológicos en distintas especies de organismos marinos en diferentes etapas del ciclo de vida.

## **8. Recomendaciones**

Es recomendable llevar a cabo estudios para analizar la ocurrencia de microplásticos en tractos digestivos de especies de importancia comercial en diferentes etapas del ciclo de vida.

Se recomienda aumentar el número de muestras, puntos de muestreo, y período de estudio en las especies evaluadas, para comparar si la densidad poblacional costera de las comunidades y la estacionalidad, son un factor de importancia en la abundancia de microplásticos.

Realizar estudios en especies que se ubican en diferentes niveles de la cadena trófica y evaluar la transferencia de microplásticos a través de la misma, ya que es en los niveles más bajos en donde la bioacumulación comienza a generarse.

## 9. Referencias bibliográficas

- Abbing, R. M. (2019). *Plastic soup: An atlas of ocean pollution*. Washington DC: Island Press.
- Allen, G., Robertson, R., & Zapata, F. (2010). *Polydactylus opercularis: The IUCN Red List of Threatened Species 2010* [en línea]. Recuperado noviembre 1, 2020, de <https://www.iucnredlist.org/species/183977/8209909>
- Andrady, L., & Rajapakse, N. (2017). Additives and chemicals in plastics. *Hazardous chemicals associated with plastics in the marine environment*, 78, 1-18.
- Auta, H. S., Emenike, C. U., & Fauziah, S. H. (2017). Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environmental International*, 102, 165-176.
- Bermúdez-Guzmán, L., Alpízar-Villalobos, C., Gatgens-García, J., Jiménez-Huezo, G., Rodríguez-Arias, M., ... Rojas-Jimenez, K. (2020). Microplastic ingestion by a herring *Opisthonema* sp. in the Pacific coast of Costa Rica. *Regional Studies in Marine Science*, 38, 1-8.
- Carbery, M., O'Connor, W., & Thavamani, P. (2018). Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environmental International*, 115, 400–409.
- Castañeda, R., Avlijas, S., Simard, M. A., & Ricciardi, A. (2014). Microplastic pollution in St. Lawrence River sediments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71, (12), 1767-1771.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar. Pol. Bul.*, 62, 2588-2597.
- Dantas, N., Duarte, O., Ferreira, W., Ayala, A., Rezende, C., & Feitosa, C. (2020). Plastic intake does not depend on fish eating habits: Identification of microplastics in the stomach contents of fish on an urban beach in Brazil. *Mar. Pol. Bul.* 153, 1-8.

- De La Torre, G., Dioses-Salinas, D. C., Pérez-Baca, B. L., & Santillán, L. (2019). Microplastic abundance in three commercial fish from the coastal of Lima, Perú. *Brazilian Journal of Natural Sciences*, 2 (3), 171-177.
- Dirección de Normatividad de la Pesca y Acuicultura [DIPESCA], Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación [MAGA], & Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2018). *Caracterización de la pesca artesanal en el Pacífico de Guatemala: Proyecto “Conservación y uso sostenible de la biodiversidad en áreas protegidas marino costeras (AMP’s)”*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales [MARN], Consejo Nacional de Áreas Protegidas [CONAP], PNUD-GEF, y Fundación Defensores de la Naturaleza [FDN].
- Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H., & Amato, S. (2013). Microplastic pollution in the surface water of the Laurentian Great Lakes. *Mar. Pol. Bul.*, 77 (1-2), 177-81.
- Erni-Cassola, G., Zadejelovic, V., Gibson, M., & Christie-Oleza, J. (2019). Distribution of plastic polymer types in the marine environment: A meta-analysis. *Journal of Hazardous*, 369, 691-698.
- Farrell, P., & Nelson, K. (2013). Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Envir. Pol.*, 177, 1-3.
- Foekema, E. M., De Grujjer, C., Mergia, M. T., van Franeker, J. A., Murk, A. T. J., & Koelmans, A. A. (2013). Plastic in North Sea fish. *Environ. Sci. Technol.*, 47 (15), 8818-8824.
- Fotopoulou, K. N., & Karapanagioti, K. (2017). Degradation of various plastics in the environment. *Hazardous Chemicals Associated with Plastics in the Marine Environment*, 78, 71-92.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all microplastics ever made. *Sci. Adv.*, 3 (7), 1-5.



- Geyer, R. (2020). A brief history of plastics. *Mare Plasticum-the Plastic Sea*, 31-48.
- Goodship, V., Middleton, B., & Cherrington, R. (2016). *Design and manufacture of plastic components for multifunctionality: Structural composites, injection molding, and 3D printing*. Chaddford, Pennsylvania: Elsevier.
- Guzzeti, E., Sureda, A., Tejada, S., & Faggio, C. (2018). Microplastic in marine organism: Environmental and toxicological effects. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 64, 164-171.
- Halsband, C., & Booth, M. (2020). *Particulate plastics in terrestrial and aquatic environments: Ecological impacts of particulate plastics in marine ecosystems*. Boca Ratón, Florida: CRC Press.
- Iwamoto, T., Eschmeyer, W., & Alvarado, J. (2010). *Peprilus snyderi*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010* [en línea]. Recuperado noviembre 1, 2020, de <https://www.iucnredlist.org/species/183549/8132904>
- Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C., Mu, J., & Shi, H. (2016). Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environmental Pollution*, 221, 141-149.
- Jambeck, J., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T., Perryman, M., Andrady, A., ... Law, K., (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Mar. Pol.*, 347 (6223), 768-771. DOI:10.1126.
- Lebreton, L., van der Zwet, J., Damsteeg, J-W., Slat, B., Andrady, A., & Reisser, J. (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nat. Commun.*, 8, 15611.
- Li, W. C., Tse, H. F., & Fok, L. (2016). Plastic in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of the Total Environment*, 566-567, 333-349.
- Marshall, R. E., & Farahbakhsh, K. (2013). Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. *Waste Management*, 33, 988-1003.



- Mazariegos-Ortíz, C., Xajil-Sabán, M., Blanda, E., & Delvalle-Borrero, D. (2021). Ocurrencia de microplásticos en el tracto digestivo de peces en la Reserva natural de Usos Múltiples Monterrico, Guatemala. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 30 (2), 2188.
- McDougal, F. R., White, P. R., Marina, F., & Hindle, P. (1993). *Integrated solid waste management: A life cycle inventory*. (2a ed.). Garsington Road, Oxford, Reino Unido: Blackwell Science Professional.
- Mizraji, R., Ahrendt, C., Perez-Venegas, D., Vargas, J., Pulgar, J., Aldana, M., Ojeda, P., Duarte, C., & Galbán-Malagón. (2017). Is the feeding type related with the content of microplastics in intertidal fish gut? *Marine Pollution Bulletin*, 116 (1-2), 498-500.
- Ory, N., Chagnon, C., Felix, F., Fernández, C., Ferreira, J. L., Gallardo, C., ... Thiel, M. (2018). Low prevalence of microplastic contamination in planktivorous fish species from the southeast Pacific Ocean. *Mar. Pol. Bul.*, 127, 211-216.
- Plastics Europe. (2019). *An analysis of European plastics production, demand and waste data for 2019*. Wommel, Bélgica: Association of Plastics Manufacturers in Europe.
- Pazos, R., Maiztegui, T., Colautti, D., Paracampo, A., & Gómez, N. (2017). Microplastics in gut contents of coastal freshwater fish from Río de la Plata estuary, Argentina. *Marine Pollution Bulletin*, 122 (1-2), 85-90.
- Peterson, B., Carl, P., Boudt, K., Bennett, R., Ulrich, J., Zivot, E., Cornilly, D., Hung, E., Lestel, M., Balkissoon, K., Wuertz, D., Christidis, A., Martin, R., Zhou, Z. & Shea, J. (2020). Package "PerformanceAnalytics". R package version 2.0.4, 1-235.
- R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rebelein, A., Int-Veen, I., Kammann, U., & Scharsack, J. (2021). Microplastic fibers – Underestimated threat to aquatic organisms? *Science of the Total Environment*, 777, 146045.



- Rocha-Santos, T. A. P., & Duarte, A. C. (2017). *Comprehensive analytical chemistry: Characterization and analysis of microplastics*. Amsterdam, Holanda: Elsevier.
- Ross, R. (2003). *Perpilus snyderi* [en línea]. Recuperado marzo 10, 2021, de <https://www.fishbase.se/summary/Peprilus-snyderi.html>
- Ryan, P. (2016). Ingestion of plastics by marine organisms. *Hazardous Chemicals Associated with Plastics in the Marine Environment*, 78, 235-266.
- Sharma, S., & Chatterjee, S. (2017). Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: A short review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 21530-21547.
- Schmidt, C., Krauth, T., & Wagner, S. (2017). Export of plastic debris by rivers into the sea. *Environ. Sci. Technol*, 51, 12246-12253.
- Tremblay, L. A., Pochon, X., Champeau, O., Baker, V., & Northcott, G. L. (2020). *Particulate plastics in terrestrial and aquatic environments: The current status of plastics A New Zealand Perspective*. Boca Ratón, Florida: CRC Press.
- Van Emmerik, T., & Schwarz, A. (2019). Plastic debris in rivers. *WIREs Water*, 7, (1), 1-24.
- World Watch Institute. (2015). Global plastic production rises, recycling lags [en línea]. Recuperado octubre 3, 2020, de <http://www.vitalsigns.worldwatch.org>
- Worrell, W., & Vesilind, P. A. (2012). *Solid waste engineering*. (2a ed.). Stamford, Connecticut: Cengage Learning.
- Yan, Y., Li, Q., Bolan, S. S., Bolan, N. S., Ok, Y. S., Kirkham, M. B., & Kwon, E. E. (2020). *Particulate plastics in terrestrial and aquatic environments: Interaction of dissolved matter with particulate plastics*. Boca Ratón, Florida: CRC Press

