

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

Trabajo de graduación

**Determinación de microplásticos en contenido gastrointestinal de
peces de consumo regular del lago Petén Itzá, Guatemala**

Presentado por:

T. A. Bebelyn Andrea Godoy Balcarcel

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

Guatemala, marzo de 2020

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

Trabajo de graduación

**Determinación de microplásticos en contenido gastrointestinal de
peces de consumo regular del lago Petén Itzá, Guatemala**

Presentado por:

T. A. Bebelyn Andrea Godoy Balcarcel

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

Asesores: M. Sc. Gerson Ochaeta

Lic. Carlos Mazariegos

Guatemala, marzo de 2020


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. Erick Roderico Villagrán Colón
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 de la estudiante universitaria **Bebelyn Andrea Godoy Balcarcel**, titulado "Determinación de microplásticos en contenido gastrointestinal de peces de consumo regular del lago Petén Itzá, Guatemala", da por este medio su aprobación a dicho trabajo. IMPRIMASE.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



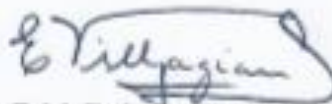
Dra. Juana Lorena Boix Morán



Guatemala, abril 2020

El Coordinador Académico del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-, después de conocer el dictamen favorable del asesor Lic. Carlos Humberto Mazariegos Ortiz, al trabajo de graduación de la estudiante universitaria **Bebelyn Andrea Godoy Balcarcel**, titulado "Determinación de microplásticos en contenido gastrointestinal de peces de consumo regular del lago Petén Itzá, Guatemala", da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



M.Sc. Erick Roderico Villagrán Colón



Guatemala, abril 2020

Agradecimientos

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, por ser mi alma mater y permitirme desarrollarme como profesional.

Al Centro de Estudios del Mar y Acuicultura y su Personal Docente, por brindarme los conocimientos necesarios para alcanzar esta meta.

A La Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Petén Itzá (AMPI), por brindarme apoyo para realizar mi EPS.

A M. Sc. Gerson Ochaeta, Lic. Carlos Mazariegos y Lic. Anaité Méndez por su asesoría y apoyo.

A los señores Julio Chan y Daniel Bolón por su apoyo y esfuerzo en la fase de campo.

Acto que dedico

A DIOS:	Por darme la vida y sabiduría en mi vida.
A MIS PADRES:	Por su amor y apoyo incondicional, por ser fuente de inspiración en mi vida.
A MI HERMANO:	Por su cariño, apoyo e impulsar el cumplimiento de mis metas.
A LA FAMILIA GODOY LOPEZ:	Por el cariño y ser parte importante en el cumplimiento de esta meta.
A MI NOVIO:	Por acompañarme en todo momento e impulsarme a seguir adelante.

Resumen

Los microplásticos son partículas menores a 5 mm cuyo origen está dado por la fragmentación de plásticos más grandes por medio de procesos físicos y mecánicos y así como también de las industrias. Los microplásticos tienen la capacidad de dispersarse a lo largo de los cuerpos de agua y sedimentos estando disponibles para la biota y la posibilidad de ser ingeridos. En los últimos años los MP's se han convertido en un problema grave de contaminación debido a que retirarlos del medio es muy costoso y la tecnología es escasa e ineficiente. La contaminación por microplásticos genera grandes impactos tanto a largo plazo como inmediatos sobre la diversidad de especies de la cadena trófica, impactos que pueden conllevar al debilitamiento de la vida silvestre y de la calidad de vida lo que representa una amenaza para los ecosistemas y salud humana. En Guatemala la información sobre los efectos del consumo de microplásticos en peces es escasa, pese a la importancia nutricional que representan para la población.

Esta investigación evaluó la presencia de microplásticos en contenido gastrointestinal de especies de importancia alimenticia en el lago Petén Itzá. Se colectaron un total de 225 peces de ocho especies diferentes, se extrajeron los tractos gastrointestinales y se les aplicó una digestión alcalina utilizando hidróxido de potasio al 10% para eliminar la mayor cantidad de materia orgánica y poder identificar con mayor facilidad los microplásticos. Se aisló, cuantificó y clasificó el microplástico proveniente de cada organismo, identificando a las especies y los sitios de muestreo con mayor cantidad de estos polímeros. Los sitios que presentaron mayor abundancia de microplásticos fueron Xucupó, San Andrés, playa blanca y San José, sitios con influencia de ríos y poblados. Las especies que presentaron mayor cantidad de microplásticos fueron *Vieja melanura* con 126 partículas y *Astyanax mexicanus* con 54. El tipo de microplástico predominante fue de tipo fibra con el 86% y el color transparente.

Abstract

The microplastics are particles smaller than 5 mm whose origin is given by the fragmentation of larger plastics through physical and mechanical processes as well as industries. Microplastics have the ability to disperse along bodies of water and sediments being available for biota and the possibility of being ingested. In recent years, MPs have become a serious pollution problem because removing them from the environment is very expensive and technology is scarcely inefficient. Microplastic pollution generates large long-term and immediate impacts on the diversity of species in the food chain, impacts that can lead to the weakening of wildlife and quality of life, which represents a threat to ecosystems and human health. In Guatemala, information on the effects of the consumption of microplastics in fish is scarce, despite the nutritional importance they represent for the population.

This research evaluated the presence of microplastics in gastrointestinal content of species of food importance in Lake Petén Itzá. A total of 225 fish from eight different species were collected, the gastrointestinal tracts were extracted and an alkaline digestion used 10% potassium hydroxide was applied to remove the greatest amount of organic matter and to more easily identify microplastics. The microplastic from each organism was isolated, quantified and classified, identifying the species and sampling sites with the greatest amount of these polymers. The sites that presented the greatest abundance of microplastics were Xucupó, San Andrés, Playa Blanca and San José, sites with influence of rivers and villages. The species that presented the greatest amount of microplastic were *Vieja melanura* with 126 particles and *Astyanax mexicanus* with 54. The predominant type of microplastic was of the fiber type with 86% and the transparent color.

Índice de contenido

Introducción	1
2. Marco teórico y estado del arte	3
2.1 Marco teórico	3
2.1.1 Lago Petén Itzá	3
2.1.2 Peces de importancia alimenticia	4
2.1.3 <i>Vieja melanura</i>	5
2.1.4 <i>Petenia splendida</i>	5
2.1.5 <i>Gambusia sexradiata</i>	5
2.1.6 <i>Astyanax mexicanus</i>	5
2.1.7 <i>Thorichthys affinis</i>	6
2.1.8 <i>Mayaherus urophthalmus</i>	6
2.1.9 <i>Parachromis managuensis</i>	6
2.1.10 <i>Rocio octofaciata</i>	7
2.1.11 Contaminación del lago Petén Itzá	7
2.1.12 Contaminación por plásticos	8
2.1.13 Microplásticos	9
2.1.14 Microplásticos primarios	9
2.1.15 Microplásticos secundarios	9
2.1.16 Impacto de los microplásticos en el medio ambiente	10
2.1.17 Microplásticos y la salud humana	10
2.2 Estado del arte	11
3.Objetivos	13
3.1 Objetivo general	13
3.2 Objetivos específicos	13
4.Materiales y métodos	14
4.1 Área de estudio	14

4.1.1 Delimitación espacial	14
4.1.2 Delimitación temporal	15
4.2 Tipo de investigación	15
4.3 Definición de variables	16
4.4 Muestreo y selección de la muestra	16
4.5 Procedimiento	16
4.6 Conteo y clasificación de microplásticos	17
4.7 Análisis de la información	17
5. Resultados y discusión	18
6. Conclusiones	29
7. Recomendaciones	30
7.1 Recomendaciones de gestión	30
7.2 Recomendaciones de investigación	30
8. Referencias bibliográficas	31
9 Anexo	37

Índice de tablas

Tabla 1.	<i>Comunidad íctica del lago Petén Itzá</i>	4
Tabla 2.	<i>Aplicación y efectos de los plásticos de mayor producción a nivel mundial en la salud de los organismos.</i>	8
Tabla 3.	<i>Variables</i>	16
Tabla 4.	<i>Número de microplásticos en tracto gastrointestinal por especie</i>	18
Tabla 5.	<i>Tipo de microplástico encontrado por especie</i>	22

Índice de figuras

Figura 1.	Puntos de muestreo	15
Figura 2	Número de microplásticos por especie	19
Figura 3.	Presencia de microplásticos por tipo de hábito alimenticio	20
Figura 4.	Porcentaje de tipos de microplásticos encontrados en ocho especies de peces de consumo	21
Figura 5.	Presencia de microplásticos por hábito alimenticio y forma de microplásticos	23
Figura 6.	Colores de microplásticos del tipo fibras (A) verde (B) morado (C) transparente (D) azul (E) rojo (F) negro	24
Figura 7.	Número de microplásticos de cada color encontrados en ocho especies de consumo	25
Figura 8.	Frecuencia relativa de microplásticos por hábito alimenticio y color	26
Figura 9.	Número de microplásticos encontrados por punto de muestreo	27

1. Introducción

Los plásticos son polímeros orgánicos sintéticos, derivados de procesos de polimerización de monómeros extraídos a partir de gas o petróleo. Su producción mundial sobrepasó los 300 millones de toneladas en el 2010 (Halden, 2010). La producción masiva de estos polímeros conlleva a problemas como la acumulación y su persistencia en el medio ambiente debido a que tienen una escasa probabilidad de degradarse.

Los problemas de contaminación en la cuenca del lago Petén Itzá se han hecho más evidentes debido al incremento de la población dentro de la cuenca tanto por a las aguas residuales que son vertidas directamente al lago, la eliminación de desechos sólidos de los municipios cercanos y el uso de agroquímicos para cultivos (Oliva, 2005). La cuenca del lago también enfrenta procesos acelerados que presionan el ecosistema como la deforestación, el manejo de potreros y zonas ganaderas afectando la biodiversidad del lago.

La problemática de los plásticos y microplásticos se ve reflejada en el lago Petén Itzá, debido a que las comunidades asentadas en la cuenca del lago no cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales y desechos sólidos (Oliva, 2005). Un reciente estudio en aguas superficiales del lago Petén Itzá demuestra la presencia de microplásticos siendo los de tipo fibra los más abundantes (Mejía, 2019) lo que representa un riesgo físico y toxicológico para gran variedad de especies (Laist, 1997).

El estudio de la ingestión y acumulación de los microplásticos en la fauna es de gran importancia, debido a que estos procesos pueden generar un problema ecológico importante, y causar daños a nivel de individuo y población (Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection) [GESAMP], 2010). El problema de la ingesta de microplásticos no es únicamente los daños físicos internos como la acumulación y laceraciones, sino también que estos polímeros contienen sustancias químicas que son añadidas en su elaboración como: plastificantes, antioxidantes, retardantes de llama y colorantes (Sánchez, 2008). 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) (Sánchez, 2008).

Dada la relación de los microplásticos con otros contaminantes resulta crítico orientar estudios hacia su potencial polución.

Este trabajo de investigación presenta datos de la presencia de contaminación por microplásticos en tracto digestivo y el tipo de microplásticos en ocho especies de peces con el objetivo de determinar si existe evidencia de ingesta de estos contaminantes en peces de consumo del lago Petén Itzá. Además, se presentan las zonas del lago con mayor cantidad de microplásticos en contenido gastrointestinal. Esta información es importante ya que permite la elaboración de propuestas de planes de gestión ambiental para la cuenca.

2. Marco teórico y estado del arte

2.1 Marco teórico

2.1.1 Lago Petén Itzá

Lago Petén Itzá se encuentra a unos 110 msnm, tiene una extensión de 100 km² y una profundidad máxima de 165m. El lago está ubicado en el departamento de Petén, al norte de Guatemala (16 ° 55'N, 89 ° 50'W) (Brenner, 2018) y forma parte de la cuenca del río Usumacinta y la subcuenca del río San Pedro (García, & Kauffer, 2011).

El lago Petén Itzá es rico en sulfatos de calcio, por su origen geológico, además, cuenta con bajas concentraciones de iones, junto con una transparencia de hasta 7.5 m (Pérez, *et al.*, 2010), lo que lo ha hecho una fuente ideal de agua potable. Sin embargo, en los últimos años ha mostrado un incremento de nutrientes de origen antropogénico, particularmente en la parte suroeste del lago (Rosenmeier, Hodell, Brenner, Curtis, & Guilderson, 2002).

El lago Petén Itzá se encuentra incluido dentro de la Provincia íctica del Usumacinta. Esta provincia se caracteriza por presentar un centro fuerte de evolución con un alto endemismo de peces de agua dulce que derivaron de ancestros marinos. Otra de las características de esta zona es el hecho que, del total de la diversidad de la ictiofauna, el 84 % de los peces secundarios (con capacidad de tolerar ambientes salinos) lo comprenden los cíclidos y los poecílidos (Cano, 2008).

Las primeras investigaciones sobre la ictiofauna fueron realizadas por Bocourt en 1846. Posteriormente del estudio de Hubbs, en 1935, se realizó una nómina de las especies nativas por Rosen, y Bailey, en 1978, según Kihn, 2007. Basterrechea, en 1988, desarrolló un estudio de la ictiología de las aguas del lago Petén Itzá que colindan con el Biotopo en el cual encontró 10 especies de peces pertenecientes a cinco familias. Kihn, (2007), actualizó la nómina que resume un total de 19 especies, agrupadas en 7 familias (Cano, 2008).

En la actualidad, según Barrientos, y Quintana, (2012), la comunidad íctica del lago Petén Itzá está compuesta por las siguientes especies:

Tabla 1

Comunidad íctica del lago Petén Itzá

Especies

Petenia splendida, (Günther, 1862)

Ophisternon aenigmaticum (Rosen & Greenwood, 1976)

Vieja melanura (Günther, 1862)

Thorichthys meeki (Brind, 1918)

Cichlasoma urophthalmum (Günther 1862)

Dorosoma petenense (Günther 1867)

Carlhubbsia stuarti (Rosen & Bailey 1959)

Hyphessobrycon compressus (Meek 1904)

Poecilia mexicana (Steindachner 1863)

Poecilia petenensis (Günther 1866)

Belonesox belizanus (Kner 1860)

Atherinella sp.

Cichlasoma salvini (Günther 1862)

Amphilophus robertsoni (Regan 1905)

Gambusia sp.

Oreochromis niloticus (Linnaeus 1758)

Pterygoplichthys pardalis (Castelnau, 1855)

Fuente: Barrientos & Quintana, 2012

Se ha documentado la presencia de especies no nativas dentro del lago: la tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) y el pez diablo o pleco *Pterygoplichthys* sp. (Barrientos, & Quintana, 2012).

2.1.2 Peces de importancia alimenticia

El lago es la principal fuente de agua y alimento para las cabeceras municipales que se ubican a su alrededor: Flores, San Benito, San Andrés y San José (Castañeda-Salguero, 1995). Siendo la familia de los cíclidos los más consumidos en la zona debido a que predominan y al tamaño que pueden alcanzar.

2.1.3 *Vieja melanura* (Copetona)

Es una especie de cíclidos neotropicales (subfamilia Cichlinae) que se encuentra en la vertiente atlántica de América Central en el distrito del lago Petén, sistema Río Grijalva-Usumacinta, y en drenajes vecinos de México, Belice y Guatemala. Esta especie se puede encontrar en diversos hábitats, que van desde cuerpos lénticos de agua como lagunas y cenotes hasta sistemas más lóticos (McMahan et al., 2017).

2.1.4 *Petenia splendida* (Blanco)

Especie de peces de la familia Cichlidae en el orden de los Perciformes. Se encuentran en Centroamérica: vertiente atlántica desde el río Grijalva hasta el río Usumacinta (México, Guatemala y Belice) (Fishbase, 2019). Esta especie se encuentra en ríos de poco caudal, lagos, lagunas y sobre sustratos arenosos o lodosos. Se describe como un pez dulceacuícola que alcanza hasta 1 kg de peso, posee un cuerpo alto y comprimido (Ixquiac, 2010). Posee una boca grande y protactil, se alimenta principalmente de peces pequeños, en ocasiones presenta canibalismo, dentro de sus principales presas se encuentran las especies *Dorosoma petenensis* (sardina de leche), *Belonesox belizanus* (pupo), *Astyanax mexicanus* (sardina) y algunos cíclidos y poecílidos, lo que indica que presenta un nivel adentro de la red alimenticia del lago Petén Itzá (Sosa, 2009).

2.1.5 *Gambusia sexradiata* (Pultá)

Especie familia de los poecílidos, descrita por primera vez por (Hubbs, 1936), esta especie se encuentra distribuida en México, Belice y Guatemala. Por lo general, se encuentra cerca de la costa donde la vegetación está presente en los hábitats de estanques y ríos. Se alimenta principalmente de invertebrados bentónicos asociados con la vegetación y de organismos terrestres de la costa (Fishbase, 2019).

2.1.6 *Astyanax mexicanus* (Sardina plateada)

Especie de la familia Characidae, descrita por primera vez por (DeFilippi, 1853), conocida como sardina plateada por los pescadores de la zona, vive climas tropicales, se distribuye en muchos ríos y arroyos independientes de la vertiente atlántica del sur de México, Belice y Guatemala, un área conocida como América Central (Carvalho & Malabarba, 2015). Es un pez dulceacuícola de tamaño pequeño (12 cm de longitud total) generalmente vive en grupos numerosos en ríos, arroyos, lago y represas. Se considera una especie exitosa por su alta

capacidad de dispersión y adaptación a diferentes hábitats incluyendo aguas subterráneas además de presentar alta variabilidad morfológica, siendo su morfotipo más extremo en el cual no presenta ojos ni coloración (Esquivel, 2011).

2.1.7 *Thorichthys affinis* (Xixi)

Especie de cíclido descrito por primera vez por (Günther, 1862), conocida en el área de Petén como Xixi. Se encuentra distribuido en Centroamérica: río Usumacinta (Guatemala y Belice). Es una especie de agua dulce bentopelagica, que habita tanto en lagos como en ríos, prefiriendo fondos arenosos o suaves con pequeñas rocas (Fishbase, 2019) al parecer, ausente de los cenotes, es de carácter omnívoro, presenta una longitud máxima de 140 mm, su distribución es relativamente restringida, en el lago Petén Itzá y las lagunas (Miller, 2009).

2.1.8 *Mayaheros urophthalmus* (Bul)

Especie de cíclido que se encuentra en América Central. Originaria de la vertiente atlántica de la Mesoamérica tropical, desde el este de México hacia el sur hasta Nicaragua. Conocido como Bul, cíclido maya o mojarra mexicana, habita en lagos, ríos, costas rocosas, lagunas, estuarios e islas costeras. Se puede encontrar en áreas ricas en oxígeno cerca de vegetación sumergida y sobre sustratos fangosos (Fishbase, 2019). Dentro de atributos morfológicos más sobresalientes incluyen una conspicua mancha ocelada en la base de la aleta caudal (de donde proviene su nombre específico) y siete bandas oscuras, de ancho variable, sobre el cuerpo (Barrientos, 2003). Con base en sus hábitos alimenticios, la especie ha sido considerada como omnívora, con ciertas tendencias hacia la carnivoría (Caso-Chávez et al., 1986; Martínez-Palacios & Ross, 1988). Su dieta se compone, principalmente, de materia orgánica, crustáceos, camarones, anfípodos, moluscos, isópodos, poliquetos, huevos de invertebrados y restos tanto vegetales como de peces (Barrientos, 2003).

2.1.9 *Parachromis managuensis* (Guapote)

Especie de peces de la familia Cichlidae, Se encuentra en la vertiente atlántica de Centroamérica (fishbase, 2019). Habita lagos, prefiere aguas turbias y fondos lodosos de los lagos altamente eutrofizados, se encuentra en arroyos y estanques con detritus y fondos de arena. Comúnmente se encuentra en lagos de inundación cálidos con concentraciones de oxígeno bajas. Son altamente predadores, se alimentan principalmente de pequeños peces y macroinvertebrados (Amador del Ángel, Guevara, Brito & Huerta. 2014.). *P. managuensis* muestra una estrategia

reproductiva con períodos de desove muy cortos, influenciando la capacidad de colonización en el sistema de los ríos Grijalva-Usumacinta (Pérez-Vega et al., 2006).

2.1.10 *Rocio octofasciata* (Mojarra)

Especie de peces de la familia Cichlidae, conocida como mojarra, Se encuentra distribuida en la vertiente atlántica de Centroamérica: desde el río Papaloapan (México) hasta el río Ulúa (Honduras) (Fishbase, 2019). Habita Arroyos, lagunas, humedales, manantiales, estanques, zanjas, en agua clara a turbia o lodosa; corriente nula a moderada; fondo de limo, lodo, arena, arcilla, grava, roca, hojarasca, ramas, a profundidades hasta 1.5 m, por lo general 1 m o menos (Miller, 2009) Es Omnívora, se alimenta de invertebrados acuáticos y algas filamentosas (Valtierra-Vega & Schmitter-Soto, 2000).

2.1.11 Contaminación del lago Petén Itzá

El lago es fuente de consumo doméstico, irrigación, recreación, turismo, navegación comercial en pequeña escala y pesca con fines nutricionales y comerciales. Una de las actividades que está causando la contaminación del lago es la mala disposición de desechos domésticos, que implica dos vías:

- a. Eliminación de residuos líquidos, especialmente aguas residuales domésticas hacia el lago, sin ser previamente tratadas.
- b. Eliminación inadecuada materia orgánica y basura hacia el lago, y que son arrastrados por la corriente, o por el viento hacia otros lugares (Galindo, 2011).

La cuenca del lago ha sufrido un incremento en la proporción de deforestación en las últimas décadas, provocando deficiencia de nutrientes en suelos ribereños, reduciendo la transpiración de las plantas y una disminución en la retención de humedad en los suelos. Existen pruebas que la urbanización influye en el proceso de eutrofización de los cuerpos de agua a través del desfogue directo de las aguas negras como ocurre al oeste del lago Petén Itzá donde las aguas ricas en nutrientes entran al agua, influyendo la dominancia de cianobacterias y cianofitas que reciben el nitrógeno y fósforo antropogénico (Brenner, 2002).

2.1.12 Contaminación por plásticos

El plástico son polímeros derivados del petróleo, mediante el agregado de varios aditivos químicos. La principal característica que hace este material atractivo para el ser humano es su durabilidad, a la vez es también su mayor problema ya que es extremadamente resistente a su degradación (Derraik, 2002).

La contaminación por plásticos y sus derivados, se ha convertido en una gran problemática ya que el transporte de esta deriva de distintas fuentes, siendo las fuentes terrestres y oceánicas las más comunes. Dentro de los residuos polímeros plásticos más comunes en ambientes acuáticos están, el polietileno de alta densidad, el polietileno de baja densidad, el polipropileno y el polietileno tereftalato (Tabla 2). Como resultado, estos polímeros son también los residuos plásticos más comunes en el ambiente, especialmente en ambientes acuáticos. (Vandermeersch *et al.*, 2015).

Tabla 2.

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

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,	Irrita los ojos, nariz y garganta; puede causar mareos e inconsciencia; migra a los alimentos y almacena la grasa corporal;

	cubiertos, CD, tanques, jarras, materiales de construcción	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).

2.1.13 Microplásticos

Partículas que miden menos de 5 mm de longitud y son de naturaleza polimérica. De acuerdo a su origen, pueden ser primarios o secundarios. Los microplásticos tienen capacidad potencial de contaminantes hidrófobos, es decir, que son repelidas por el agua o que no se pueden mezclar con ella, que luego pueden bioacumularse en la cadena alimenticia, causar daños a la biota y, finalmente, afectar la dinámica de poblaciones (Thompson, 2000).

2.1.14 Microplásticos primarios

Partículas plásticas con una composición química variable, cuyo tamaño no sobrepasa los 5 mm, su presentación es como microesferas (Duis & Coors, 2016; Fendall & Sewell, 2009) que una parte de estos constituye el “material crudo” o la materia prima de la industria plástica, otra es utilizada por parte de la industria cosmética y farmacéutica, como exfoliantes en productos de aseo personal (Barnes, 2002; Gregory, 1983; Khordagui & Abuhilal, 1994) pasta de dientes, detergentes, partículas microscópicas que se utilizan en la limpieza de radiadores, o en el campo de la medicina como un vector para sustancias químicas que se usan en los medicamentos (Gatta, Knickmeier, & Thiel, 2009)

2.1.15 Microplásticos secundarios

Partículas que se producen a partir de la fragmentación de otros plásticos, por el contacto con diferentes factores físicos, químicos y biológicos conocidos como fragmentos, o bien, de la liberación de fibras sintéticas de prendas de ropa de lana y de terciopelo, que por lo general está

hecho de poliéster o acrílico, que llegan a los desagües, luego de ser lavados (Gatta, Knickmeier & Thiel, 2009). Dentro de la categoría de los fragmentos se encuentran los microplásticos conocidos como film o bien como laminas o películas plásticas, se caracterizan por ser delgados, finos y transparentes (Jabeen, 2016). Se sabe que algunas partículas provienen de pinturas y barnices (Hidalgo-Ruz, 2012), también pueden provenir de productos agrícolas, combustibles fosiles e impresiones 3D (FAO, 2017).

2.1.16 Impacto de los microplásticos en el medio ambiente

Los microplásticos presentan un tamaño muy similar al zooplancton, organismos de los que se alimentan muchas especies, lo que conlleva a una ingesta directa de estos contaminantes durante la predación (Opitz, 2017). El impacto más probable de la ingesta de microplásticos en peces es la obstrucción física del sistema digestivo, lo cual puede causar que el animal pare de alimentarse debido a la sensación de llenura. Los animales que ingieren gran cantidad de plásticos, mueren por inanición (Cole et al., 2011).

Está demostrado que la ingesta de microplásticos, en larvas de peces causa problemas reproductivos y amenazas en su supervivencia (Lønnstedt & Eklöv, 2016). Otro problema grave que pueden causar los microplásticos es el transporte indirecto de larvas de peces que quedan enganchadas en ellos y que pueden acabar convirtiéndose en especies invasoras (Cole et al., 2011)

2.1.17 Microplásticos y la salud humana

En términos de riesgos para la salud humana, los microplásticos como contaminantes en el medio ambiente más amplio representan una preocupación porque se ha demostrado que pueden ser ingeridos por una amplia gama de organismos acuáticos, tanto marinos como de agua dulce, y por lo tanto tienen el potencial de acumularse a través de los alimentos. El riesgo de ingerir microplásticos contenidos en otros tejidos depende del grado en que se produzca la captación de microplásticos y la translocación y redistribución y retención dentro de otros tejidos corporales (Wright et al., 2013).

Los riesgos para la salud relacionados a los microplásticos se atribuyen a la presencia de la amplia gama de aditivos plásticos que pueden contener (Araujo et al., 2002). Los polímeros clasificados como los más peligrosos fueron aquellos producidos a partir de monómeros

clasificados como carcinogénicos, mutagénicos o ambos, lo que lleva a clasificaciones de alto riesgo (Koch & Calafat, 2009).

2.2 Estado del arte

Investigaciones alrededor del mundo han confirmado la presencia de microplásticos en cuerpos de agua y en organismos capturados en medios naturales, distintas investigaciones han sido dirigidas a especies de importancia comercial debido al daño ecológico de las poblaciones y a las repercusiones que pueden llegar a surgir en el mercado comercial.

Estudios de campo han demostrado la ingesta de microplásticos por parte de muchas especies de peces comerciales (bentónicos y pelágicos), por ejemplo, del Canal de la Mancha, las cantidades observadas en los intestinos de los peces son generalmente muy bajas, generalmente en el rango de <1 a 2 partículas por individuo que ingirió microplásticos (Lusher, McHugh & Thompson, 2013), el Mar del Norte el porcentaje de individuos que ingirieron microplásticos varió de 2.6 por ciento en el Mar del Norte, un 18 por ciento en el Mediterráneo Central (Romeo et al., 2015), a 28 por ciento en el mar Adriático (Avio et al., 2015).

Los peces recolectados en los mercados de pescado contenían microplásticos, incluido el 25 por ciento de los peces capturados en la costa oeste de los Estados Unidos de América y el 28 por ciento de los peces capturados en aguas indonesias (Rochman et al., 2015). Los microplásticos se han observado de manera similar en peces de agua dulce comprados en el mercado, como perca del Nilo *Lates niloticus* (Linnaeus, 1758) y *Tilapia nilotica* *O. niloticus* el Lago Victoria (Tanzania), con el 20 por ciento de cada especie que contiene microplásticos en sus tractos digestivos (Biginagwa et al., 2016). Veintisiete especies de peces recolectados en los mercados de pescado de Shanghai (Jabeen et al., 2016) originados de fuentes marinas (Estuario Yangtze, Mar del Sur de China y Mar del Este de China y de agua dulce (Lago Taihu) también tuvieron diversos grados de contaminación microplástica (de 1.1 a 7.2 artículos por individuo).

Para los animales que se alimentan por filtración la ingesta de plásticos es un proceso no selectivo. Sin embargo, para aquellos organismos cuyo método de alimentación es más selectivo es decir los no filtradores, como los peces, los microplásticos se pueden asimilar a través de la ingesta de presas contaminadas o al ingerirlos accidentalmente cuando se confunden con alimento (Lusher et al., 2016; Rummel et al., 2016). Un estudio publicado por Lönnstedt &

Eklöv, (2016) sugiere que cuando hay microplásticos en abundancia es posible que las larvas de perca (*Perca fluviatilis*) que acaban de eclosionar prefieran los microplásticos a su dieta natural de zooplancton.

En Toluca Veracruz, Sánchez (2018) realizó una investigación de partículas microplásticas en contenido intestinal, en 155 peces se encontraron 882 microplásticos con una longitud de 40-4180 μm . Se estimó que cada organismo consumió 4.72 piezas. 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.

En lago de Atitlán, Guatemala López (2018), estimó la abundancia de partículas microplásticas menores a 300 μm a través de transeptos con red de plancton. Encontró un promedio de 128,763 unidades Km^2 , el tipo de microplásticos dominante fue de tipo fragmento. López (2018) recomienda considerar variables climáticas y actividades antropogénicas, así como investigar la presencia de microplásticos en la biota y la adsorción de contaminantes. También se realizó una investigación con sedimentos en playas de unos de los pueblos del lago Atitlán, donde compara el área de cobertura por macroplásticos y la densidad microplástico antes y después de la época de mayor turismo (semana santa). Donde se determinó una densidad promedio de microplásticos de 15.94 g m^{-3} (Mejía, 2018).

Recientemente se realizó una investigación de microplásticos en aguas superficiales del lago Petén Itzá, donde se determinó que la abundancia relativa de partículas microplásticas fue de 147,588.8 km^{-2} . La abundancia de partículas de microplástico fue mayor en el área de influencia de ríos y arroyos, seguido por el de la PTAR, los poblados y por último control, lo que confirma el manejo inadecuado de residuos y desechos sólidos y líquidos que son vertidos directamente en los afluentes superficiales. Al estar influenciados por la presencia de centros urbanos (Mejía, 2019).

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar la presencia de microplásticos en especies de peces de importancia para consumo y lugar de captura en el lago Petén Itzá.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar la presencia de microplásticos en contenido gastrointestinal de ocho especies de peces de importancia alimenticia en el lago Petén Itzá.
- Determinar el tipo y color de los microplásticos en contenido gastrointestinal de ocho especies de peces de importancia alimenticia en el lago Petén Itzá.
- Establecer las zonas del lago Petén Itzá con mayor presencia de microplásticos en tracto gastrointestinal de peces de importancia alimenticia para la zona.

4. Materiales y métodos

4.1 Área de estudio

4.1.1 Delimitación espacial

La investigación se llevó a cabo en el lago Petén Itzá, ubicado al centro del departamento de Petén, este es un lago de origen cárstico, con una extensión aproximada de 100 km² y una profundidad máxima de 160 m (Pérez, et al., 2010). El lago es la principal fuente de agua y alimento para las cabeceras municipales que se ubican a su alrededor: Flores, San Benito, San Andrés y San José (Castañeda-Salguero, 1995).

La colecta de las muestras se realizó en 14 estaciones distribuidas en el lago. Los sitios fueron registrados a través de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS, Garmin) (Figura 1). Los puntos de muestreo se escogieron de acuerdo a las siguientes características: influencia pesquera, la proximidad con los poblados, desembocadura de ríos y arroyos y los puntos menos influenciados por actividades antropogénicas tomados como punto control, las coordenadas y los puntos de muestreo se describen en Anexo 1.

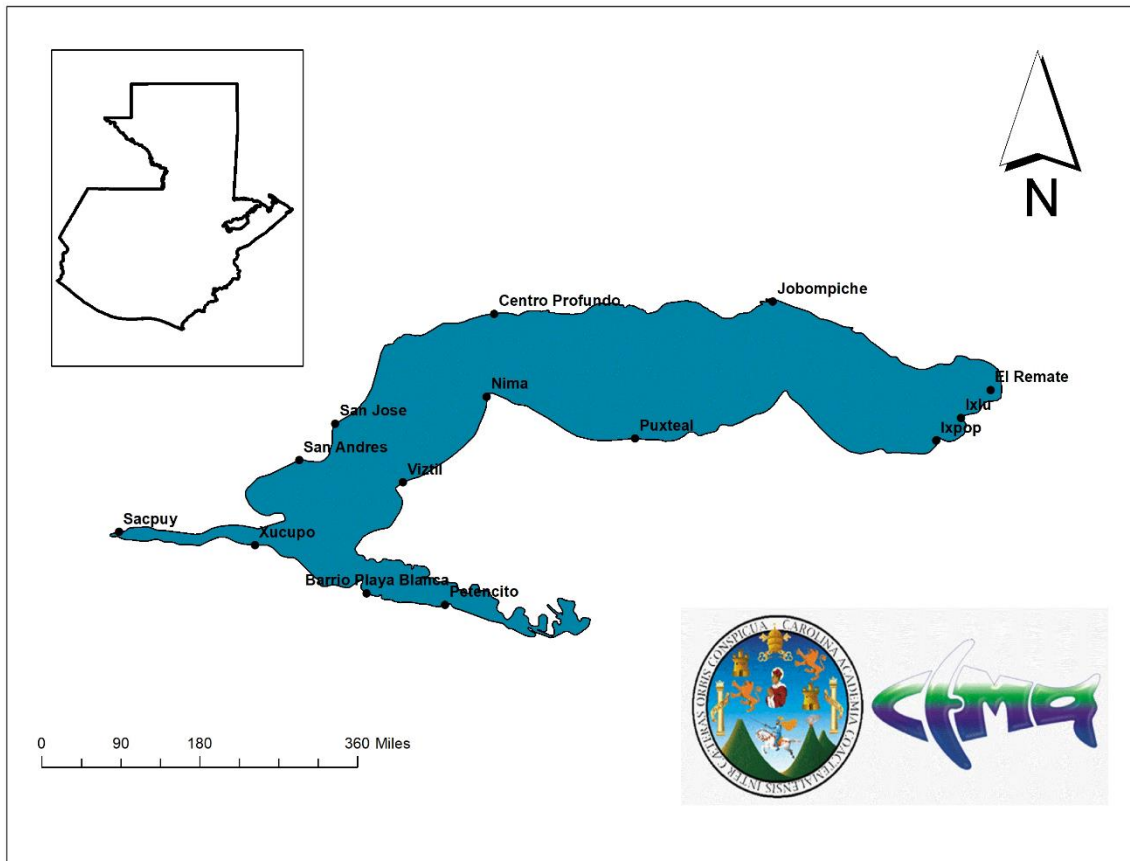


Figura 1. Puntos de muestreo

4.1.2 Delimitación temporal

Seis colectas de peces fueron realizadas durante el mes de julio a septiembre del año 2019.

4.2 Tipo de investigación.

La investigación tuvo un enfoque mixto, cualitativo con el propósito de determinar la presencia de microplásticos en especies de peces de consumo del lago Petén Itzá, y cuantitativo porque se registró la cantidad de microplásticos por especie y las zonas del lago con mayor presencia de microplásticos en tracto digestivo. La investigación fue de tipo exploratorio.

4.3 Definición de variables.

Durante el desarrollo de la investigación se registraron las siguientes variables (Tabla 3).

Tabla 3.

Variables e indicadores del estudio

Tipo de variable	Variable	Indicador
Variables respuesta	Tipo de microplástico	Microesfera, fibra fragmento o film
Variables explicativas	Número de partículas por individuo	Especie

4.4 Muestreo y selección de la muestra.

La selección de las especies se realizó por la importancia que poseen para el consumo de los pobladores que habitan la cuenca del lago Petén Itzá, estas especies están compuestas principalmente por cíclidos como el pez blanco y las mojaras, dentro de la selección también se incluyen especies de menor tamaño como poecílidos y carácidos que son consumidos en menor cantidad pero que también forma parte de la cadena alimenticia de algunos ciclidos.

4.5 Procedimiento.

La colecta de los especímenes se hizo a través de pesca científica, para lo que se necesitó un permiso de pesca científica con número PPC-2019-003, una licencia de investigación Serie A No. 004591 y un permiso de colecta No. DRP07-2019. La captura de los organismos se realizó utilizando tres artes de pesca: trasmallo malla No. 3, trasmallo malla No. 5, atarraya de 3.5 mm y línea individual con anzuelo de 2.54 cm.

Una vez obtenidos los peces se identificaron mediante claves taxonómicas, bases de datos y catálogos en línea (Miller, 2009 y Fishbase). Así mismo se colectaron los datos biométricos básicos de cada uno: el peso (g) con una balanza portable y la longitud total (cm) por medio de un ictiómetro.

Los peces fueron almacenados en hieleras y trasladados al laboratorio donde se realizó la extracción del tracto gastrointestinal. Cada extracto fue etiquetado y empacado en bolsas herméticas, y congelado para su posterior análisis.

Se obtuvo un total de 225 muestras de tractos gastrointestinales correspondiente a ocho especies de peces. Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio del Centro Universitario de Petén - CUDEP-.

Previo al procedimiento de los tractos GI estos se descongelaron a temperatura ambiente. Se utilizó un método modificado de Rochman (2015) para extraer los microplásticos, una vez descongeladas las muestras se colocaron en beakers de 250 ml agrupados por especie y punto de muestreo por motivo de tiempo en uso de laboratorio.

Para la digestión alcalina se utilizó una solución de Hidróxido de potasio—KOH- al 10% relación 1:3 m/v de tejido e incubadas por de 24 horas en un horno (Mettler) a una temperatura de 60° C.

El producto de la digestión fue pasado por un tamiz de 0.210 mm utilizando agua destilada, el producto resultante fue colocado en cajas de Petri y colocadas en un horno por 24 horas a 90° C para eliminar el exceso de agua.

Para evitar la contaminación cruzada todas las herramientas y artículos de vidrio se enjuagaron con agua destilada.

4.6 Conteo y clasificación de microplásticos

Utilizando un estereoscopio de disección y aumento de 40X y pinzas, se realizó un conteo de las partículas en cada muestra y una clasificación de acuerdo a Jabeen (2016), siguiendo la categorización de acuerdo a sus propiedades físicas en: fibras (alargadas), fragmentos (piezas angulares pequeñas), micro esferas (esféricas, ovoides), film (laminas delgadas, transparentes).

4.7 Análisis de la información

La información se analizó mediante estadística descriptiva y gráficos en R Studio 1.0.153.

5. Resultados y discusión

Se colectaron un total de 225 peces, los cuales pertenecen a 8 especies diferentes. De los 225 tractos gastrointestinales estudiados se encontró un total de 316 partículas de origen antropogénico. La siguiente tabla (Tabla 4) muestra la ingesta de microplásticos por pez.

Tabla 4.

Número de microplásticos en tracto gastrointestinal por especie

Familia	Especie	Habito alimenticio	No. de organismos	No. De partículas por especie
Cichlidae	<i>Vieja melanura</i>	Omnívoro	69	126
Characidae	<i>Astyanax mexicanus</i>	Omnívoro	33	54
Cichlidae	<i>Thorichthys affinis</i>	Omnívoro	30	5
Poeciliidae	<i>Gambusia sexradiata</i>	Omnívoro	35	23
Cichlidae	<i>Rocio octofaciata</i>	Omnívoro	4	19
Cichlidae	<i>Mayaheros urophthalmus</i>	Omnívoro	10	21
Cichlidae	<i>Parachromis managuensis</i>	Carnívoro	7	15
Cichlidae	<i>Petenia splendida</i>	Carnívoro	37	53
Total			225	316

El número de microplásticos más alto se registró en la especie *V. melanura* con un total de 126 partículas, esta una especie bentopelágica y omnívora (Figura 3). Lo que se puede asociar a que por su hábito alimenticio y posición en la columna de agua la ingestión de partículas se deba al consumo incidental durante la actividad alimentaria debido al tamaño y ser confundido con sedimentos (Sánchez, 2018), además de la capacidad filtradora que posee esta especie. La segunda especie con mayor cantidad de microplásticos fue *A. mexicanus* con 54 partículas, al igual que *V. melanura* es bentopelágica y de hábito alimenticio omnívoro, pero se alimenta principalmente de pequeños insectos, crustáceos y gusanos.

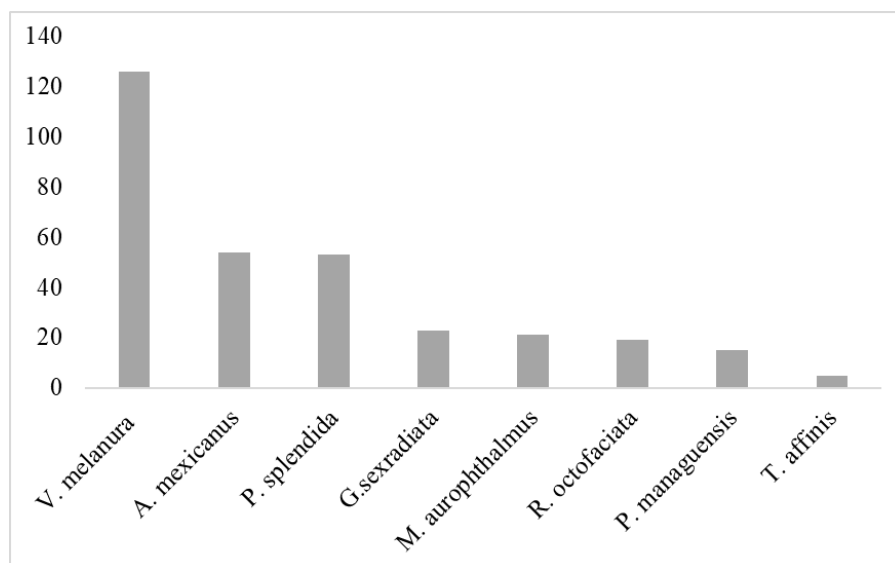


Figura 2. Número de microplásticos por especie

Para *P. splendida* se registraron 53 partículas, como se puede observar en la figura 2, esta cantidad de partículas pertenece únicamente a los organismos colectados en el punto con mayor influencia antropogénica, mientras que para los organismos encontrados en los otros puntos de muestreo no se registró ninguna partícula. Este resultado puede explicarse debido a que los microplásticos ingeridos por organismos carnívoros llegan a ellos a través de la cadena trófica (Sánchez, 2018), lo que indica que está consumiendo organismos de las zonas más contaminadas y que presentan microplásticos en su organismo.

En la especie *T. affinis* únicamente se encontraron 5 partículas, esto sugiere que puede estar influenciado a que se alimenta principalmente de zooplancton y que el tamaño del microplástico que está ingresando a la especie sea de un menor tamaño ya que se estima que se encuentran en un rango de 108 a 816 micrómetros (Desforges, 2015) y el tamiz utilizado para este estudio fue de 0.210 mm.

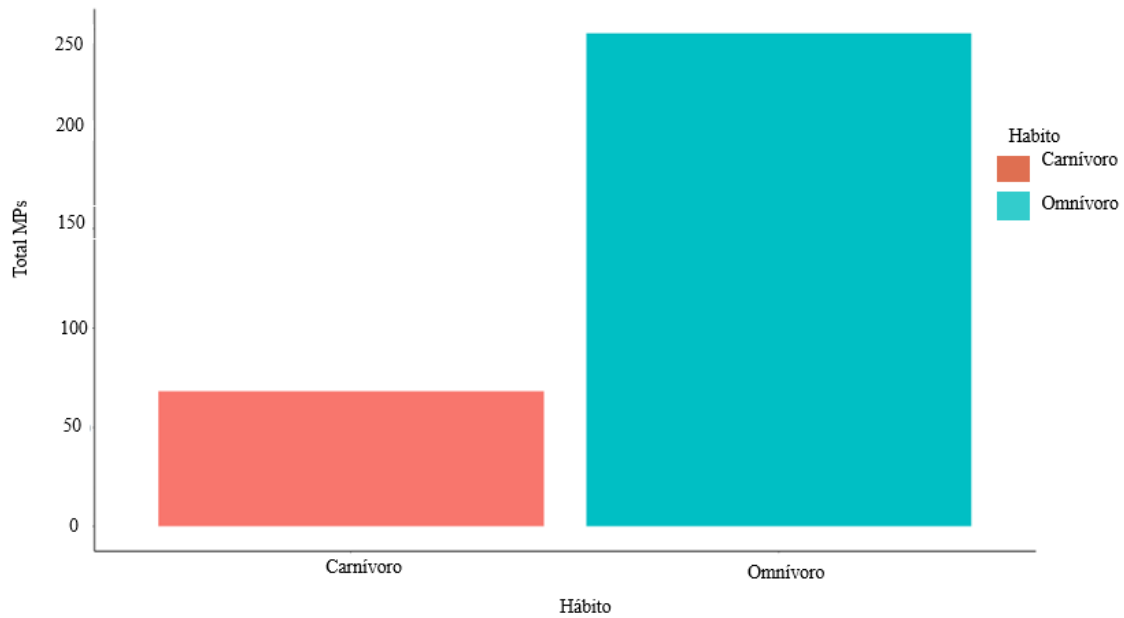


Figura 3. Presencia de microplásticos por tipo de hábito alimenticio

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 el alimento, a diferencia del de los peces herbívoros y omnívoros, que tienen un intestino largo y frágil (Figura 3) (Lagler, et al., 1990; Granado, 2002).

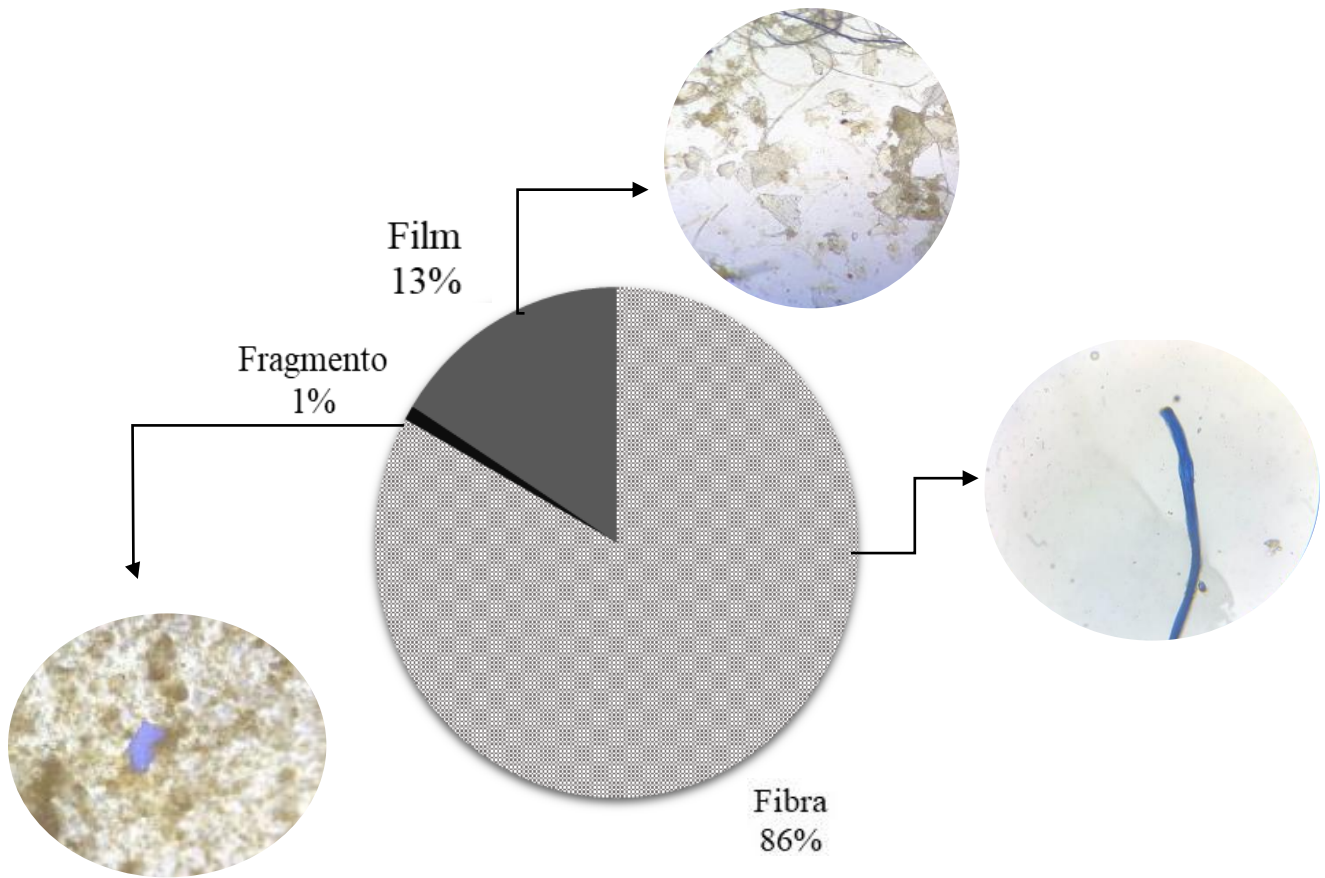


Figura 4. Porcentaje de tipos de microplásticos encontrados en ocho especies de peces de consumo

Tabla 5.

Tipo de microplástico por especie

Especie	Tipo de microplástico		
	Fibra	Fragmento	Film
<i>V. melanura</i>	115	2	9
<i>A. mexicanus</i>	51		3
<i>T. affinis</i>	5		
<i>A. alvarezi</i>	23		
<i>R. octofaciata</i>	19		
<i>M. aurophthalmus</i>	8		13
<i>P. managuensis</i>	15		
<i>P. splendida</i>	37	1	15
Total	273	3	40

Se encontraron partículas de tres tipos: fragmentos, fibras y film como se muestra en la Figura 4. El tipo de microplásticos encontrado más frecuente fueron las fibras (86%) correspondiente a 273 partículas de este tipo en las ocho especies (Tabla 5). Las fibras tienen su origen principalmente de la degradación de textiles, siendo la fuente de ingreso principal las aguas de origen doméstico y hotelero, ya que se estimó que en cada lavado de ropa se desprenden alrededor 1900 fibras (Browne, *et al.*, 2010).

Otra fuente importante de fibras es la descomposición de artes y cuerdas de pesca, se estima que al menos el 18% de los microplásticos encontrados vienen de esta fuente (Andrady, 2011). Así como también la rápida descomposición de los polímeros más grandes en el lugar, debido a las altas temperaturas y la acción mecánica de las corrientes favorecen la degradación de los plásticos que se arroja directamente al lago.

El segundo tipo más abundante fue el film (13%) que son películas delgadas y transparente, una de las principales fuentes de estos polímeros son los productos agrícolas (FAO, 2017) también las pinturas y barnices que se desprenden de las embarcaciones, o bien como materia prima industrial que viajan por medio de los desagües (Hidalgo-Ruz, 2012)

Los fragmentos encontrados únicamente representaron el 1% de los microplásticos, ya que solo se encontraron tres partículas de este tipo. El mismo fenómeno fue observado en el estuario de Tecolutla, Veracruz, donde el consumo de fragmentos representó únicamente el 0.5%, situación

que se puede atribuir a que, por su forma, tamaño y naturaleza, tienden a precipitar. Por lo tanto, están disponibles para otros organismos como los filtradores no selectivos u organismos bentónicos (Sánchez, 2018).

No se encontraron microesferas, datos que concuerdan con el estudio de microplásticos en aguas superficiales del lago Petén Itzá en donde únicamente se encontraron tres partículas de este tipo que conformaron menos de 0.2% del total de las partículas encontradas (Mejía, 2019). Es posible que no se encontraran este tipo de microplásticos ya que son fabricadas en dimensiones muy pequeñas y el tamiz utilizado no pudo retener este tipo de partículas.

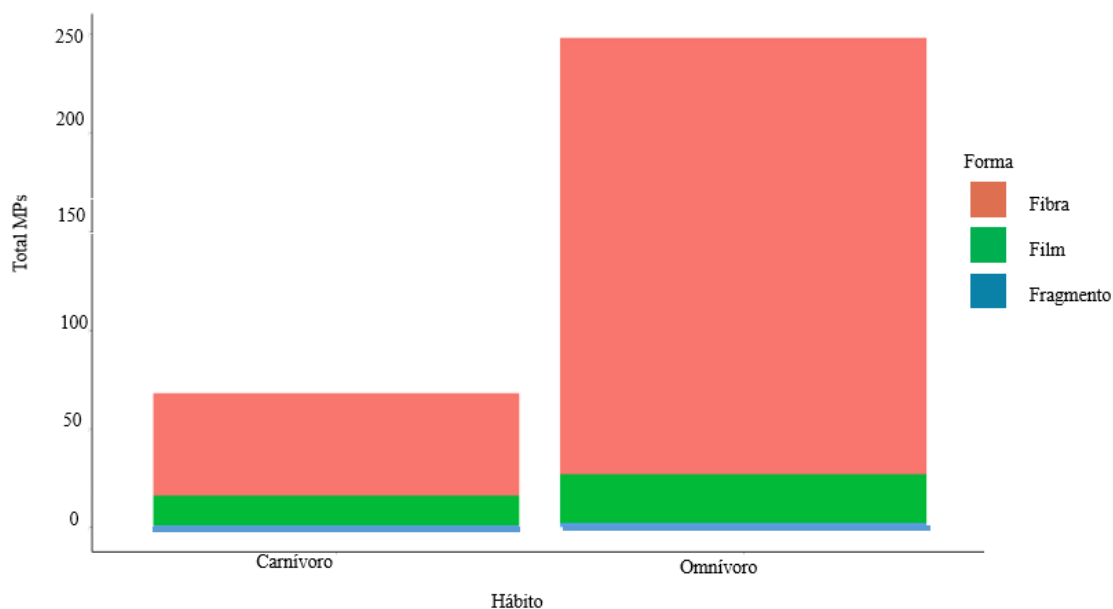


Figura 5. Presencia de microplásticos por hábito alimenticio y forma de microplásticos.

Los resultados de la Figura 5 muestran que los peces omnívoros presentaron la mayor cantidad de fibras y film lo que se asocia a que poseen una dieta más amplia (Mizraji, et al., 2017) y la capacidad filtradora que poseen algunas de las especies evaluadas. También es probable que la forma de fibra sea confundida como fitoplancton (Lusher, et al., 2013) por el contrario, los

fragmentos y las microesferas por su tamaño y forma tienden a precipitarse en los fondos y ser menos consumidos.

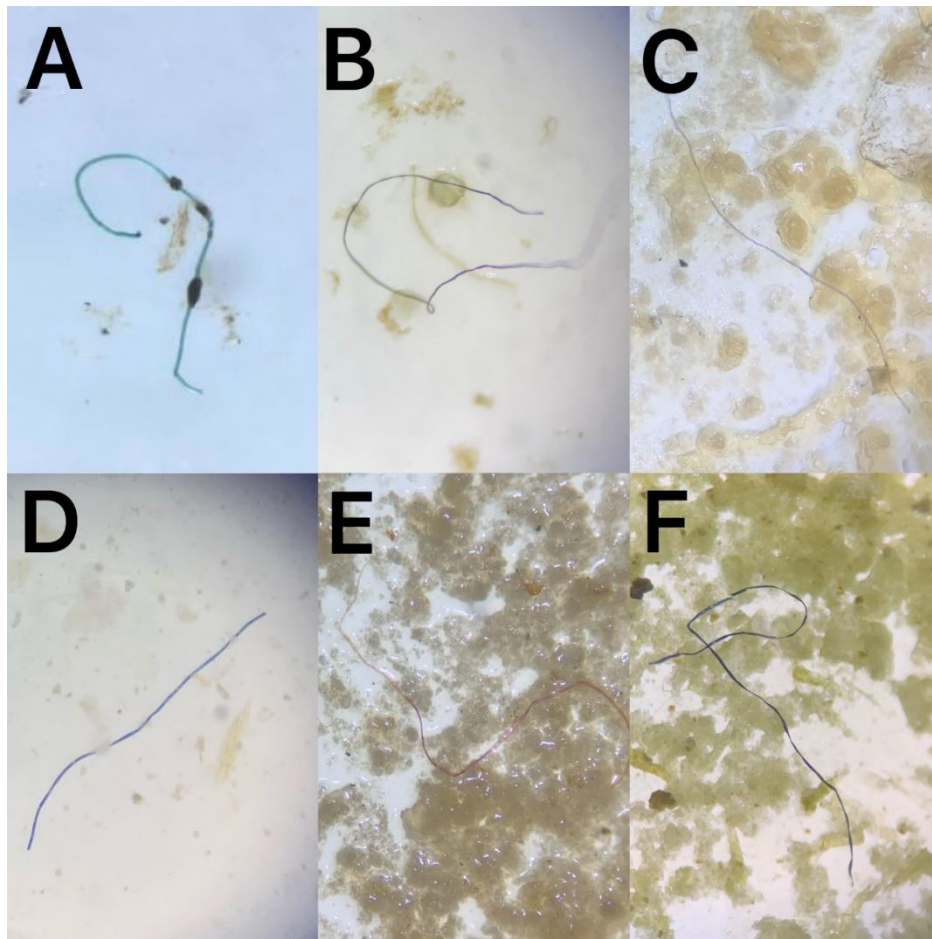


Figura 6. Colores de microplásticos del tipo fibras (A) verde (B) morado (C) transparente (D) azul (E) rojo (F) negro

En el contenido estomacal de las especies evaluadas se encontraron fibras de color verde, morado, transparente, azul, rojo y negro (Figura 4). La presencia del color negro podría estar relacionado a las fibras de textiles y bolsas de basura (Andrady, et al., 2011; Lassen, et al., 2015; Nieto, & Montoto, 2017).

El color blanco o transparente está asociado al poliéster (Hidalgo-Ruz, 2012), se asocia que las partículas de color azul y verde provienen de las redes de pesca (Lusher, et al., 2013) y el color

rojo se asocia a boyas de ese mismo color, así como también a la alta producción y consumo de ciertas marcas de refresco cuyas tapas de rosca son de color rojo, que son consideradas una fuente más de partículas plásticas de este color (Lassen, et al., 2015).

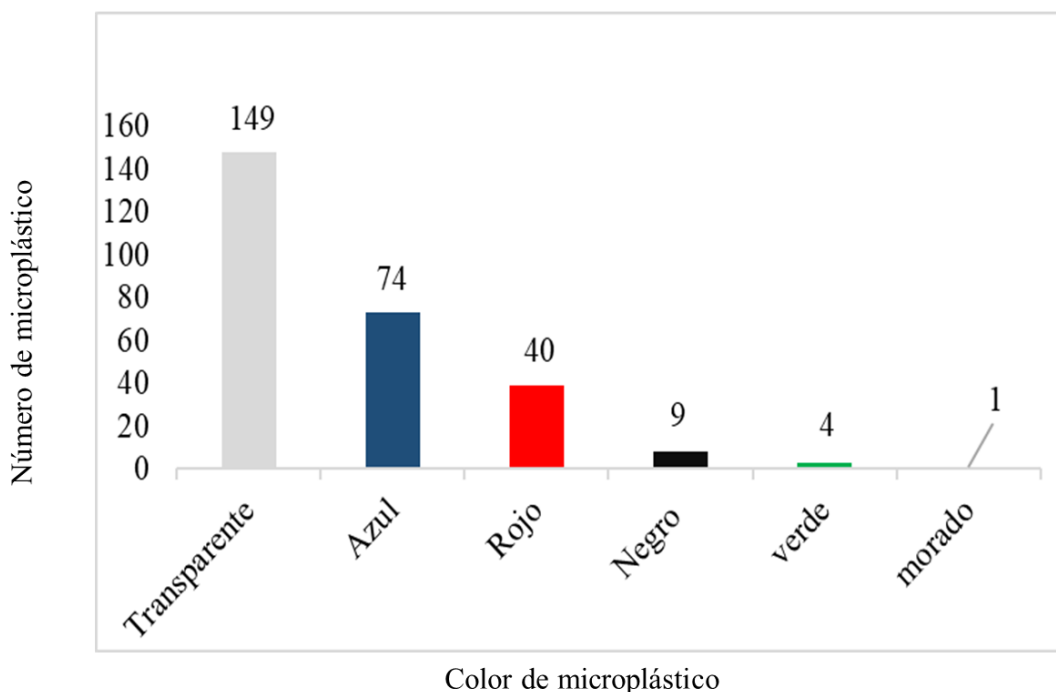


Figura 7. Número de microplásticos de cada color encontrados en ocho especies de consumo

Para el caso del lago Petén Itzá el color predominante fue el transparente de las cuales se encontraron 149 partículas (Figura 5) que corresponde al film y la mayor cantidad de las fibras, el segundo color más frecuente fue el azul con 74 partículas y rojo con 40 partículas. Lo que evidencia la procedencia de los microplásticos siendo principalmente la degradación de los textiles debido a que el lago se encuentra expuesto a constante contaminación debido a efluentes de las aguas domésticas de los poblados cercanos y hoteles, además de la gran actividad agrícola y el uso excesivo de plásticos de un solo uso alrededor de la cuenca.

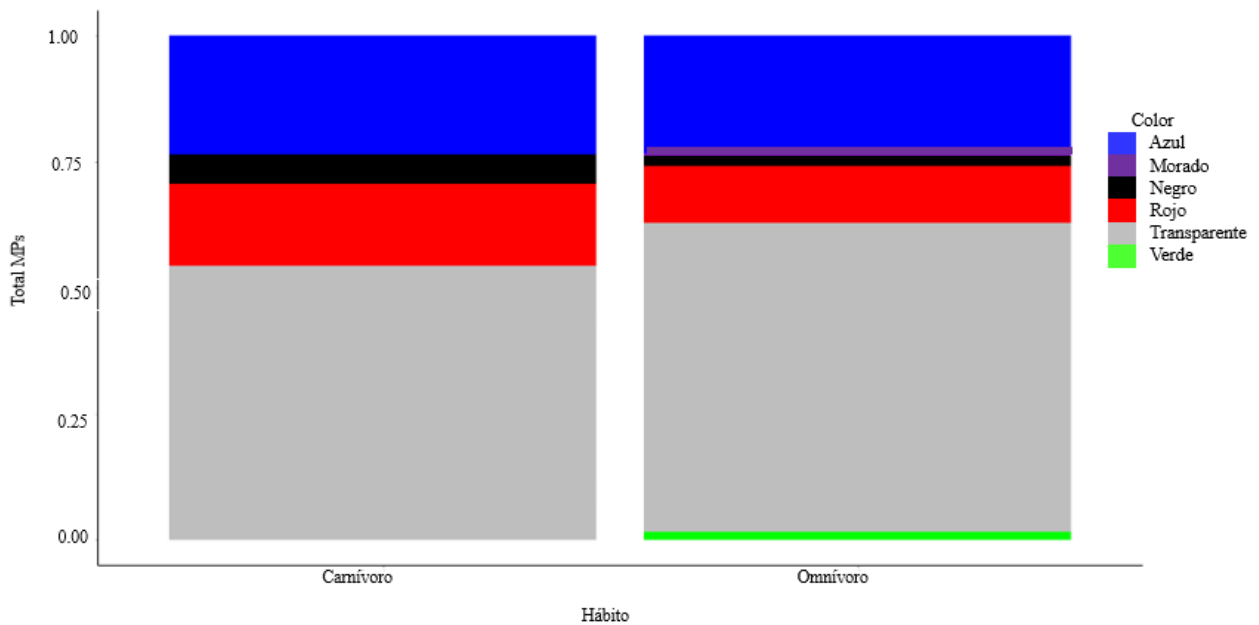


Figura 8. Frecuencia relativa de microplásticos por hábito alimenticio y color

El color de microplásticos que consumieron tanto carnívoros como omnívoros con mayor frecuencia fue el transparente con casi un 50% y un 25% de color azul (Figura 8) sin embargo, 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).

Los peces carnívoros son susceptibles al consumo de los plásticos en el medio acuático ya que utilizan principalmente la quimio y mecanorecepción como herramienta para la obtención de sus presas. Los aditivos de los MPs liberan olores parecidos a los de las presas, por lo que pueden consumir polímeros en lugar de alimento (Sánchez, 2018).

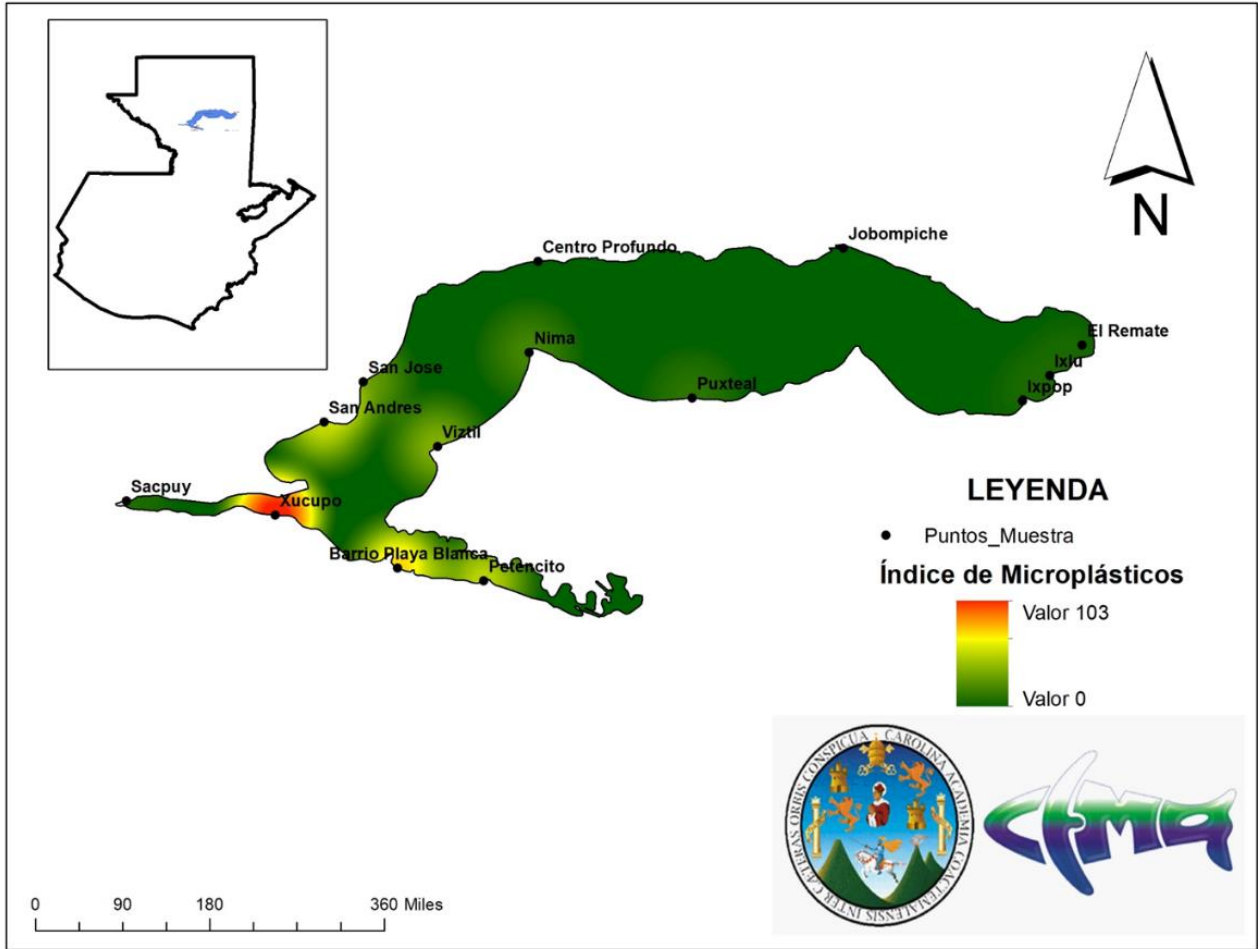


Figura 9. Número de microplásticos encontrados por punto de muestreo.

La figura 9 muestra como en los puntos con mayor influencia urbana se presenta la mayor cantidad de microplásticos en GI. El punto de muestreo donde se encontró mayor cantidad fue Xucupó, en este punto se encontraron un total de 103 partículas en 6 de las 8 especies estudiadas, este punto se encuentra influenciado por el arroyo del mismo nombre el cual tiene una carga alta de contaminación, además recibe el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Empresa municipal de agua potable y alcantarillado -EMAPET- para el municipio de Flores y San Benito (Castillo, 2016) la cual únicamente cuenta con un tratamiento secundario y no está diseñada para remover partículas de microplásticos, motivo por el cual las especies en este punto están expuestas a residuos antropogénicos, datos que también se relacionan al estudio de Mejía (2019), que indica que la desembocadura de la planta de tratamiento presenta una abundancia de 203,193.76 microplásticos/km² en aguas superficiales.

El segundo sitio con mayor presencia de estos polímeros fue San Andrés con 39 partículas, este poblado no cuenta con servicio de alcantarillado que conecte a la planta de tratamiento por lo que las aguas de tipo especial y ordinario de la zona son vertidas directamente al lago.

El punto Petencito es un sitio muy cercano a poblados que presenta una gran influencia por el turismo y actividades pesqueras por lo que también se registró una cantidad considerable de partículas.

En el punto centro profundo no se reportaron microplásticos, probablemente debido a la profundidad y lejanía de los focos de contaminación del lago. El segundo sitio donde no se encontraron microplásticos fue Jobompiche pese a que este si es un lugar poblado puede que no se realicen actividades que generen alto impacto, además posee un bosque de galería en la costa de la zona compuesta por vegetación riparia y plantas macrófitas, que podrían disminuir la cantidad de sólidos en suspensión (Castillo, 2016).

6 Conclusiones

Este estudio proporciona el primer registro de polímeros plásticos en contenido gastrointestinal de ocho especies de importancia alimenticia del lago Petén Itzá: *V. melanura*, *P. splendida*, *G. sexradiata*, *A. mexicanus*, *T. affinis*, *M. aurphthalmus*, *P. managuensis* y *R. octafaciata*.

La forma más abundante de microplásticos fue del tipo fibra presente en las ocho especies analizadas y en 12 de los puntos muestreados siendo los colores de mayor predominio el transparente, azul y rojo.

Las zonas con mayor abundancia de microplásticos corresponde a los sitios: Xucupó, San Andrés, Playa Blanca y San José siendo estos los puntos de mayor influencia por contaminación de origen antropogénico.

7 Recomendaciones

7.1 Recomendaciones de gestión

Las instituciones encargadas del cuidado y protección del ambiente tal como el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, la Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible del lago Petén Itzá, Consejo Nacional de Áreas Protegidas y Dirección de Normatividad de la Pesca y Acuicultura, en conjunto con las autoridades municipales que conforman la cuenca del lago, deben generar campañas de concientización ambiental dirigidas a todo tipo de población, generar planes para manejo adecuado de desechos sólidos y políticas para reducir y controlar la contaminación.

Es necesario que las autoridades municipales en conjunto con las departamentales propongan alternativas viables para disminuir el uso de plásticos de un solo uso, como: promover las bolsas reciclables, optar por el vidrio o el cartón, comprar a granel, utilizar y llevar utensilios para evitar desechables, pañales de tela, moda sustentable, etc.

7.2 Recomendaciones de investigación

Se recomienda investigar la presencia de plastificantes, contaminantes orgánicos persistentes -COP's- y metales pesados en músculos de peces, debido a la presencia de microplásticos en contenido gastrointestinal.

Investigar la ingesta de microplásticos en consumidores de primer orden y determinar cómo infieren estos polímeros en las cadenas tróficas

8 Referencias bibliográficas

- Amador del Ángel, L. E., Guevara-Carrió, E. D. C., Brito-Pérez, R., & Endañú-Huerta, E. (2014). Aspectos biológicos e impacto socio-económico de los plecos del género *Pterygoplichthys* y dos cíclidos no nativos en el sistema fluvio lagunar deltaico Río Palizada, en el Área Natural Protegida Laguna de Términos, Campeche. *Universidad Autónoma del Carmen. Centro de Investigación de Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias Naturales. Informe final SNIB-CONABIO Ficha técnica pez diablo Pterygoplichthys pardalis, proyecto No. GN004 México D. F.*
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1596-1605.
- Avio, C. G., Gorbi, S., & Regoli, F. (2015). Experimental development of a new protocol for extraction and characterization of microplastics in fish tissues: First observations in commercial species from Adriatic Sea. *Marine Environmental Research*, 111, 18-26.
- Avio, C. G., Gorbi, S., Milan, M., Benedetti, M., Fattorini, D., d'Errico, G., Pauletto, M., Bargelloni, L., Araujo, P., Sayer, C., Poco, J., & Giudici, R. (2002). Techniques for reducing residual monomer content in polymers: A review. *Polymer Engineering and Science*, 42, 1442–1468.
- Barnes, D. K. (2002). Biodiversity: Invasions by marine life on plastic debris. *Nature*, 416 (6883), 808-809.
- Barrientos, C., Quintana, Y., Elías, D. J., & Rodiles-Hernández, R. (2018). Peces nativos y pesca artesanal en la cuenca Usumacinta, Guatemala. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89, 118-130.
- Barrientos, R. (2003). *The Mayan cichlid Ciclasoma urophthalmus: An overview* [en línea]. Recuperado noviembre 4, 2019, de <https://cichlidae.com/reference.php?id=2116&lang=es>
- Biginagwa, F. J., Mayoma, B. S., Shashoua, Y., Syberg, K., & Khan, F. R. (2016). First evidence of microplastics in the African Great lakes: Recovery from Lake Victoria Nile perch and Nile tilapia. *Journal of Great Lakes Research*, 42 (1), 146-149.
- Brenner, M. (2018). The lake Petén Itzá watershed. En Rice, P. M., & Rice, D. S. (Eds.), *Historical and archaeological perspectives on the Itzas of Petén, Guatemala* (pp. 68-84). Louisville: University Press of Colorado.
- Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M., & Thompson, R. C. (2008). Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environ. Sci. and Technol.*, 42 (13), 5026-5031.

- Cano, M. (2008). *Tolerancia del estadio juvenil de Petenia splendida Günther 1862 a diferentes salinidades*. Tesis para optar grado de licenciado en biología. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Carvalho, F., & Malabarba, L. (2015). Redescrición y osteología de *Hyphessobrycon compressus* (Meek) (Teleostei: Characidae), especie tipo del género. *Ictiología Neotropical*, 13 (3), 513-540.
- Castañeda-Salguero, C. 1995. *Sistemas lacustres de Guatemala*. Guatemala: Editorial Universitaria.
- Castillo, A., Herrera, D., Pira, S., Ramírez, L., Serrano, S. (2016). *Análisis de estado trófico del Lago Petén Itzá, Guatemala*. Guatemala. Universidad Rafael Landívar.
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., & Galloway, T. S. (2013). Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental Science & Amp. Technology*, 47 (12), 6646–6655.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2588–2597.
- Da Costa, J. P., Santos, P. S., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2016). (Nano) plastics in the environment—sources, fates and effects. *Science of the Total Environment*, 566, 15-26.
- Derraik, J. G. 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: A review. *Mar. Pollut. Bull.*, 44, 842-852.
- Desforges, J. P. W., Galbraith, M., & Ross, P. S. (2015). Ingestion of microplastics by zooplankton in the Northeast Pacific Ocean. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 69 (3), 320–330.
- Eriksen, M., Lebreton, L. C., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., Galgiani, F., Ryan, P. G., & Reisser, J. (2014). *Plastic pollution in the world's oceans: More than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea*. *PLOS ONE*, 9, e111913
- Esquivel, S. (2011). *Análisis Genético de Astyanax mexicanus (Characidae, teleostei, pisces) de la vertiente Atlántica de México usando microsátélites*. Maestría en Ciencias. México: Universidad de Baja California Sur.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2018). *Microplastics in fisheries and aquaculture*. Roma: Autor
- FAO. (2019). *Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758)* [en línea]. Recuperado abril 14, 2019, de http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis_niloticus/es#tcNA002B

- Figueruelo, J. E., & Dávila, M. M. (2004). *Química física del ambiente y de los procesos medioambientales*. Barcelona: Reverte.
- Froeze, R., & Pauly, D. (Eds). (2017). *FishBase* [en línea]. Recuperado octubre 5, 2019, de <https://www.fishbase.org>
- Galindo, C. (2011). *Indicadores de contaminación en tres lagos de Guatemala*. Tesis Química Bióloga. Universidad de San Carlos de Guatemala [USAC].
- García, A., & Kauffer, E. F. (2011). Las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice: Un acercamiento a su delimitación y problemática general. *Frontera Norte*, 23 (45), 131-162.
- Gatta, M., Kruse, K., Knickmeier, K., & Thiel, M. (s. f.). *Microplásticos, en busca de las pistas de la basura plástica* [en línea]. Recuperado octubre 5, 2019, de <http://www.cientificosdelabasura.cl/archivo/documento/documento/18/B.%20Parte%20%20-%20Microplasticos.pdf>
- Góngora, P. (2014). La industria del plástico en México y el mundo. *Comercio Exterior*, 64 (5), 4.
- Granado, L. C. (2002). *Ecología de peces*. España: Universidad de Sevilla.
- Gregory, M. R. (1983). Virgin plastic granules on some beaches of Eastern Canada and Bermuda. *Mar. Environ. Res.*, (10), 73–92
- Halden, R. U. (2010). Plastic and health risks. *Annu. Rev. Public. Health*, 31, 179-94.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology*, 46 (6), 3060-3075.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras [INVEMAR]. (2017). *Protocolo de muestreo y análisis de microplásticos en aguas marinas superficiales, sedimentos de playas y tracto digestivo de peces / Componente 5: Diagnóstico de Microplásticos en zonas costeras de Colombia, Resolución 646*. Santa Marta, Colombia: Ministerio de Ambiente.
- Ixquiac, M. (2010). *Crecimiento del pez Blanco (Petenia splendida) en tres hábitats: Cultivo, lago (Petén Itzá) y en río San Pedro por medio de marcaje y re captura*. Guatemala: Proyecto Fodecyt No. 74-2007.
- Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C., Mu, J., et al. (2016). Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environmental Pollution*, 15, 1-9.

- Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection [GESAMP] (2010) (2010). *Proceedings of the GESAMP International Workshop on plastic particles as a vector in transporting persistent, bio-accumulating and toxic substances in the oceans*. En T. Bowmer, T., & Kershaw, P. J. (Eds.), *GESAMP Reports and Studies No. 82* (68 pp). The Netherlands Organization for Applied Scientific Research; & Centre for Environment, Fisheries & Aquaculture Science [CEFAS].
- Khordagui, H. K., & Abu-Hilal, A. H. (1994). Industrial plastic on the southern beaches of the Arabian Gulf and the westerns beaches of the Gulf of Oman. *Environ. Pollut.*, *84*, 325-327.
- Koch, H. M., & Calafat, A. M. (2009). Human body burdens of chemicals used in plastics manufacture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, *364*, 2063–2078.
- Kukulka, T., Proskurowski, G., Morget-Ferguson, S., Meyer, D. W., & Law, K. L. (2012). The effect of wind mixing on the vertical distribution of buoyant plastic debris. *Geophysical Research Letters*, *39*, 1–6.
- Lagler, K., Bardach, J., Miller, R., & Dora, M. (1990). *Ictiología*. México: AGT Editor.
- Laist, D. W., (1997). Impacts of marine debris: Entanglement of marine life in marine debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion records. In Coe, J. M., & Rogers, D. B. (Eds.), *Marine debris e sources, impacts and solutions* (pp. 99-139). New York: Springer-Verlag.
- Lavender, K., & Thompson, R. (2014). Microplastics in the seas. *Science*, *345*, 144-145.
- Lönnstedt, O. M., & Eklöv, P. (2016). Environmentally relevant concentrations of microplastic particles influence larval fish ecology. *Science*, *352* (6290), 1213- 1216.
- López, N. A. (2018). *Contaminación de microplásticos en la superficie del lago Atitlán, Sololá: II Simposio Internacional de Aguas Continentales de las Américas* [en línea]. Recuperado diciembre 10, 2019, de http://simposioatitlan.org.gt/assets/presentacion/9_julio/11.%20Ninoshka%20Lopez_Micropl%C3%A1sticos%20Atitl%C3%A1n.compressed.pdf
- Mathalon, A., & Hill, P. (2014). Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor, Nova Scotia. *Marine pollution bulletin*, *81* (1), 69-79.
- McMahan, C. D., Kutz, J., Murray, C. M., Chakrabarty, P., Geheber, A. D., & Elías, D. (2017). *Objectively measuring subjectively described traits: geographic variation in body shape and caudal coloration pattern within Vieja melanura (Teleostei: Cichlidae)*. *Revista de Biología Tropical*, *65*(2), 623-631.
- Mejía, A. (2018). *El impacto de la Semana Santa: Análisis de macro y microplásticos en las playas de Panajachel, Sololá*. Informe final de EPS. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala [USAC].

- Mejía, A. (2019). *Contaminación por microplástico en un lago endorreico de tierras bajas: El caso de Petén Itzá*. Tesis Licenciado en Biología. Guatemala: USAC.
- Miller, R. (2009). *Peces dulceacuícolas de México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Mizraji, R., Ahrendt, C., Perez-Venegas, D., Vargas, J., Pulgar, J., Aldana, M., ... & Galbán-Malagón, C. (2017). Is the feeding type related with the content of microplastics in intertidal fish gut? *Marine Pollution Bulletin*, 116(1-2), 498-500.
- Moore, C. J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long term threat. *Environmental Research*, 108, 131–139.
- Nieto, E., & Mototo, T. (2017). *Basuras marinas, plásticos y microplásticos orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global* [en línea]. Recuperado abril 15, 2019, de <https://spip.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/folleto-basuras-marinas.pdf>
- Oliva, B. (2005). *Contaminación en el lago Peten Itza*. Guatemala: PROYECTO FODECYT No. 20-2002.
- Opitz, T. (2017). *Evaluación de los efectos de la contaminación con microplástico, en el balance energético del recurso pesquero *Choromytilus chorus**. Tesis Magíster en Gestión y Planificación Ambiental. Chile: Universidad de Chile.
- Otero, J., Herrarte, A., & Moral, E. (2005). *Análisis de la varianza (Anova)* [en línea]. Recuperado marzo 29, 2019, de <http://www.uam.es/departamentos/economicas/econapli/anova.pdf>
- Pérez, L., Bugja, R., Massafarro, J., Steeb., P., van Geldern, R., Frenzel, P., et al. (2010). Post-Columbian environmental history of lago Petén Itzá, Guatemala. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 27 (3), 490-507.
- Pérez-Vega, M. H., Uribe-Aranzabal, M. C., García-Lorenzana, M., Ramírez, M. C., & Arredondo-Figueroa, J. L. (2006). Description of the ovarian follicle growth of the neotropical cichlids *Petenia splendida* and *Parachromis managuensis* (Perciformes: Cichlidae). *Journal of Applied Ichthyology*, 22 (6), 515-520.
- Rochman, C. M., Tahir, A., Williams, S. L., Baxa, D. V., Lam, R., Miller, J. T., ... & Teh, S. J. (2015). Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Scientific reports*, 5, 14340.
- Rosenmeier, M. F., Hodell, D. A., Brenner, M., Curtis, J. H., & Guilderson, T. P. (2002). A 4000-year lacustrine record of environmental change in the southern Maya lowlands, Petén, Guatemala. *Quaternary Research*, 57, 183-190.

- Sánchez, J. (2018). *Evaluación de la presencia de microplásticos en peces comerciales, agua y sedimento del estuario de Tecolutla, Veracruz*. Maestría en Ciencias. México: Universidad autónoma metropolitana
- Thompson, R. C., Olsen, Y., & Mitchell, R. P. (2004). Lost at sea: Where is all the plastic? *Science*, *304*, 838.
- Torres, S. (2018). *Comparativa metodológica y propuesta de un protocolo para la extracción y detección mediante fluorescencia de microplásticos en muestras biológicas*. España: Centro Oceanográfico de Baleares.
- Valtierra-Vega, M. T., & Schmitter-Soto, J. J. (2000). *Hábitos alimentarios de las mojarras (Perciformes: Cichlidae) de la laguna Caobas, Quintana Roo, México*. *Rev. Biol. Trop.*, *48*, 503–508.
- Vandermeersch, G., Cauwennberghe, V., Colin, J., Antonio, M., Kit, G., Gabriella, F., et al. (2015). *A critical view on microplastic quantification in aquatic organisms*. *Environmental Research*, *143*, 46-55.
- Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution*, *178*, 483-492.

9 Anexo

Anexo 1. *Coordenadas y descripción de los puntos de muestreo*

Punto de muestreo	Coordenadas		Características
Petencito	89°52'19,79"O	16°55'21,77"N	-Poblados cercanos -Poblados cercanos -Zona ganadera
San Andrés	89°54'52,44"O	16°57'56,51"N	-Sin servicio de alcantarillado -Zona hotelera -Zona de pesca -Poblados cercanos -Sin servicio de alcantarillado
San José	89°54'20,31"O	16°58'36,31"N	-Poco acceso a agua potable -Sin servicio de recolección de basura -Zona hotelera -Zona de Pesca -Poco poblado -Bosque
Nimá	89°51'28,69"O	16°58'59,76"N	-Presencia de negral -Zona de pesca
Jobompiche	89°45'41,45"O	17° 0'45,00"N	-Poblado cercanos -Zona hotelera
El Remate	89°41'37,23"O	16°59'06,05"N	-Poblados cercanos -Poblado cercanos
Ixlú	89°42'23,80"O	16°58'46,34"N	-Influencia de arroyos
Vitzíl	89°53'09,75"O	16°57'45,21"N	-Bosque -Zona ganadera
Sacpuy	89°58'42,73"O	16°56'34,23"N	-Poblados cercanos -Zona de Pesca

			-Poblados cercanos
Xucupó	89°55'49,32"O	16°56'24,65"N	-Influencia de arroyo -Influencia planta de tratamiento
Ixpop	89°42'52,73"O	16°58'22,43"N	-Bosque -Poco poblado
Puxteal	89°48'31,77"O	16°58'24,32"N	-Bosque -Bosque poco poblado
C. profundo	89°51'05,97"O	17°00'42,70"N	-Zona más alejada -Poco poblado

Anexo 2. Pesca científica para colecta de especímenes



Anexo 3. Digestión alcalina de los tractos gastrointestinales



Anexo 4. Identificación y conteo de microplásticos.



Anexo 5. Fibras y film encontrado en P. splendida

