

Identificación de microplástico en el contenido gastrointestinal de peces comerciales

Caso: Lago Petén Itzá, Guatemala

Bebelyn Godoy-Balcarcel¹, Marcos Ponciano-Nuñez¹, Alejandro Alpuche-Palma²,
Fernando Vera-Quiñones² y Jorge Mendiola-Campuzano^{2*}

Centro de Estudios del Mar y Acuicultura¹, División Académica Multidisciplinaria de los Ríos²

Universidad de San Carlos de Guatemala¹, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco²

Ciudad Antigua de Guatemala, Guatemala; Tenosique de Pino Suárez, Tab.; México

[bebelyngodoy, poncianomarcos1995]@gmail.com, [alejandro.alpuche, fernando.vera]@ujat.mx

*Autor de correspondencia: jorge.mendiola@ujat.mx

Abstract— Microplastics of anthropogenic origin can disperse in bodies of water, impacting ecosystems, species and human health. Therefore, its presence in the gastrointestinal system of commercial fish was determined, collecting 225 specimens of eight different species in 14 sites of Lake Petén Itzá and the gastrointestinal tracts were extracted to apply alkaline digestion in order to eliminate organic matter and identify microplastics. Thus, the microplastic was isolated, quantified and classified and the sites with the highest amount of polymers were identified. The species with the highest number of particles were: *Vieja melanura* (126) and *Astyanax mexicanus* (54), being the predominant microplastic type fiber (86%) with transparent color and the sites with the highest abundance were those influenced by rivers and towns.

Keyword— Presence, particles, plastic, commercial fish.

Resumen— Los microplásticos son partículas antropogénicas que pueden dispersarse en cuerpos de agua, afectando ecosistemas, especies y salud humana. En este trabajo, se determinó su presencia en el sistema gastrointestinal de peces comerciales. Se colectaron 225 especímenes de ocho especies diferentes en 14 puntos del Lago Petén Itzá y se extrajeron sus tractos gastrointestinales para aplicarles digestión alcalina para eliminar materia orgánica e identificar microplásticos. Así, se aisló, cuantificó y clasificó el microplástico y se identificaron los sitios con mayor cantidad de polímeros. Las especies con más partículas poliméricas fueron: *Vieja melanura* (126) y *Astyanax mexicanus* (54), siendo el microplástico predominante tipo fibra (86%) con color transparente y los sitios con mayor abundancia fueron aquellos con influencia de ríos y poblados.

Palabras claves— Presencia, partículas, plásticas, peces comerciales.

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con los vestigios arqueológicos, la humanidad desde la época de la prehistoria, realizó tres actividades primordiales para la obtención de alimentos: la recolección, la caza y la pesca, siendo esta última de gran relevancia, tal y como lo constata el hallazgo de restos de comida con una antigüedad de 10,000 años, mismas que indican que el hombre de la era Paleolítica recolectaba almejas, mejillones, peces y otros organismos marinos y apilaban sus restos como montículos de desperdicios; además, este consumo se han encontrado en cuevas y albergues habitados por los pueblos primitivos. En la actualidad, la pesca es una de las actividades económicas practicadas y por medio de la cual, se extrae de los medios acuáticos, tanto dulceacuícolas como marinos, una gran parte de alimentos destinados para el consumo humano [1, 2].

De este modo, los avances científicos en los últimos 50 años han ampliado los conocimientos sobre el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y se ha fomentado la conciencia a nivel mundial para gestionarlos de manera más sostenible; así, para el 2018, se estimó que la producción mundial de pescado fue de cerca de 179 millones de toneladas, con un valor total de primera venta de \$401,000

millones de dólares norteamericanos, destinando 156 millones de toneladas del total de producción, para el consumo humano, lo que equivale a un suministro anual de 20.5 kg *per cápita* y los 22 millones de toneladas restantes, se utilizaron principalmente para la producción de harina y aceite de pescado [3].

Por lo tanto, en la actualidad las pesquerías se definen como el conjunto de poblaciones ícticas y de unidades de pesca relacionadas entre sí que se pueden ordenar en gran medida como una entidad independiente, considerando los aspectos pertinentes relacionados con las actividades posteriores a la captura [4, 5, 6].

Así, el sector pesquero representa una fuente primordial para el abastecimiento de alimentos de alto valor nutrimental para las poblaciones humanas, aporta insumos para diversas industrias y se generan divisas para la venta de productos de alto valor comercial; por ello, las actividades pesqueras representan un elemento clave para el ingreso económico de diversos segmentos de la población y contribuyen al desarrollo económico de varios países [7].

Conceptos como *manejo de ecosistemas*, *manejo de pesquerías basado en el ecosistema* o *enfoque de ecosistemas para pesquerías*, son empleados para conceptualizar un marco de referencia útil para el manejo pesquero con una visión más integral, que considere los principales componentes y servicios de los ecosistemas acuáticos; particularmente, el manejo de pesquerías basado en el ecosistema apunta hacia la importancia del hábitat [8].

Así, en los últimos años, se ha logrado definir los objetivos para el manejo de pesquerías con base en el ecosistema, pero regularmente estos objetivos no son definidos de manera clara y precisa, ya que en los contextos de las políticas nacionales o los acuerdos internacionales se contraponen, lo que dificulta su aplicación en la práctica [9, 10, 11].

Por otra parte, los plásticos son un término genérico que aglomera una amplia gama de materiales elaborados a base de polímeros, los cuales presentan diferentes propiedades. En muchas ocasiones, estos polímeros son mezclados con diversos aditivos para obtener las propiedades requeridas que mejoren el rendimiento en el producto final (plastificantes, antioxidantes, retardantes de llama, estabilizadores UV, lubricantes, colorantes, entre otros). En la actualidad, existen diversos tipos de plástico, aunque la producción mundial se basa en cinco productos: polietileno, polipropileno, policloruro de vinilo, poliestireno y tereftalato de polietileno [12, 13, 14].

El plástico es un material que se ha vuelto indispensable para la economía debido a su empleo en la vida cotidiana de las personas [15, 16]. Desde su producción en 1950, el uso de plásticos ha aumentado de manera considerable, de la misma manera que la cantidad de residuos plásticos que llegan a los cuerpos de agua [17]. El plástico una vez presente en el medio ambiente, tiende a fragmentarse en piezas más pequeñas por medio de factores químicos, biológicos o físicos, lo que los convierte en microplásticos [18].

Los microplásticos son pequeñas partículas y fibras de plástico, mismas que no presentan estándares definidos para determinar el tamaño máximo de una partícula, pero por lo general, se considera que el diámetro de la partícula es inferior a cinco milímetros. Su clasificación incluye nanopartículas, las cuales constituyen fragmentos menores de 100 nanómetros. Además, estas micropartículas pueden ser clasificadas en base a sus características morfológicas: tamaño, forma y color, siendo el tamaño un factor particularmente importante para estudiar los microplásticos, ya que éste indica la medida en que los organismos pueden verse afectados [19, 20, 21]. También, el movimiento de los microplásticos suele ser muy complejo y depende de factores como la flotabilidad, bioincrustación, tipo, tamaño y forma de los polímeros, la acción del viento, las corrientes locales y de gran escala, así como la acción de la marea en caso de las zonas marinas [22].

Los microplásticos poseen diferentes características, dentro de ellas, la densidad la cual les permite poder flotar en la superficie de los cuerpos de agua, distribuirse en la columna de agua o bien acumularse en los sedimentos; por lo tanto, los microplásticos pueden estar presentes en todos los ambientes acuáticos [23, 24].

En diversos ambientes acuáticos, se han podido identificar microplásticos como en la superficie de los océanos, las columnas verticales y horizontales de agua, fondo marino, costas e incluso en la biota; no obstante, la información sobre el volumen de plástico en cada uno de estos entornos, es muy escasa y casi no se conocen los flujos que se presentan entre estos entornos, siendo los ambientes dulceacuícolas en los que se tiene menos información sobre microplásticos y su impacto [25, 26].

Particularmente, en organismos acuáticos silvestres se han detectado microplásticos en el tracto digestivo y sus efectos nocivos por su ingestión se han estudiado bajo condiciones de laboratorio, observándose que al estar expuestos a altas concentraciones y bajo una exposición crónica prolongada, los microplásticos afectan de manera negativa la fecundidad, supervivencia larvaria y el desarrollo óptimo de los organismos estudiados [27, 28].

Los cuerpos de agua de Guatemala no han sido la excepción en cuanto a contaminación por microplásticos, por lo que se han realizado diversos estudios al respecto; por ejemplo, en el lago de Atitlán se llevó a cabo un estudio donde se determinó mediante transeptos en aguas superficiales, un promedio de 128,763 unidades de microplástico por km^2 [29], además se observó para el caso de Petén Itzá, una abundancia relativa de partículas microplásticas de 147,588.8 km^2 ; con ello, se estima que la abundancia de partículas de microplástico es mayor en áreas influenciadas por ríos y asentamientos humanos [30].

Para el lago Petén Itzá como en muchos otros cuerpos de agua de Guatemala, la actividad pesquera representa una actividad primordial por su alto valor socioeconómico [31], por lo que la presencia de microplásticos y sus productos químicos asociados, representan un riesgo para la productividad de los peces, los recursos pesqueros; así como los posibles efectos adversos para la seguridad alimentaria derivada de la contención por microplásticos [32].

Dado el riesgo que estos polímeros representan para las especies, los ecosistemas y la salud humana, el presente trabajo de investigación realizó un estudio para determinar la presencia de microplásticos en especies ícticas de importancia comercial del lago de Petén Itzá y con ello, se obtuvieron los primeros datos que constatan la presencia de contaminantes microplásticos observados en los tractos digestivos de ocho especies de peces, las cuales son de importancia comercial, ya que se destinan principalmente para el consumo humano en Guatemala. Además, se identificó el tipo y color de microplásticos, así como las zonas del lago en donde los especímenes estudiados presentan una mayor concentración de microplásticos en el contenido gastrointestinal. Esta información es de suma importancia, ya que permite la elaboración de propuestas de planes de gestión ambiental para la cuenca, mismos que permitirán mitigar el problema descrito en el presente trabajo.

II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la presente investigación, se realizó trabajo de campo en el lago de Petén Itzá; de igual forma, para análisis de los resultados, se trabajó en las instalaciones de la Universidad de San Carlos, Guatemala.

Durante el periodo de julio a septiembre del año 2019, se realizaron ocho muestreos de campo, dos en cada mes, en catorce puntos distribuidos en el lago Petén Itzá. Se colectaron un total de 225 peces, los cuales pertenecen a ocho especies diferentes. La colecta de los especímenes se realizó mediante el método de pesca científica, por lo que se requirió de un permiso de pesca científica (PPC-2019-003 003)

extendido por la Dirección de Normatividad de la Pesca y Acuicultura (DIPESCA) de Guatemala, una licencia de investigación (Serie A No. 004591), así como un permiso de colecta (No. DRP07-2019), ambas gestionadas ante el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) de Guatemala.

Una vez obtenidos los peces, éstos fueron identificados mediante las claves taxonómicas de Miller [33] y la base de datos y catálogos proporcionada en línea por la Fishbase [34]. Así mismo, se colectaron los datos biométricos básicos de cada uno de los especímenes: peso total (g) y longitud total (cm). También, se clasificaron las especies de acuerdo a sus hábitos alimenticios para su análisis.

Los peces fueron almacenados en hieleras y trasladados al laboratorio del Centro Universitario de Petén (CUDEP) donde se realizó la extracción del tracto gastrointestinal. Se utilizó un método modificado [35] para extraer los microplásticos. Una vez descongelados los tractos gastrointestinales, se aplicó una digestión alcalina mediante una solución de hidróxido de potasio (KOH) al 10% en una relación 1:3 m/v de tejido.

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 fueron colocadas en una estufa de laboratorio por un espacio de 24 h a 90°C, para eliminar el exceso de agua. Una vez secas las muestras, se procedió con el conteo de las partículas, así como su clasificación por color y tipo de microplástico, en base a los criterios de Jabeen y colaboradores [36], considerándose su categorización, de acuerdo a sus propiedades físicas, tales como: fibras (alargadas), fragmentos (piezas angulares pequeñas), microesferas (esféricas, ovoides) o film (laminas delgadas, transparentes).

III. RESULTADOS

De acuerdo con el análisis realizado en las 225 especies estudiadas, se identificaron un total de ocho especies ícticas: mojarra paleta *Vieja melanura*, sardinita mexicana *Astyanax mexicanus*, mojarra dorada *Thorichthys affinis*, guacacón *Gambusia sexradiata*, pez boxeador *Rocio octofasciata*, mojarra maya *Mayaheros urophthalmus*, guapote tigre *Parachromis managuensis* y pez blanco *Petenia splendida*.

Así mismo, se distinguieron un total de 316 micropartículas plásticas de origen antropogénico en estas especies estudiadas (Tabla 1), de las cuales el 78% fueron consumidas por especies con hábitos alimenticios omnívoros y el 22% restante se localizaron en especies carnívoras.

Tabla 1. Número de microplásticos en tracto gastrointestinal por especie.

Familia	Especie	Hábito alimenticio	No. de organismos	No. de microplásticos 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 octofasciata</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

Las partículas encontradas correspondieron a tres tipos: fragmentos, fibras y film, siendo el tipo de microplásticos predominantes las fibras (86%) correspondiente a 273 partículas de este tipo en las ocho especies. El segundo tipo más abundante que fue identificado fue el film (13%) que se presentaron como

películas delgadas y transparentes; por su parte, los fragmentos únicamente representaron el 1% de los microplásticos, ya que solo se encontraron tres partículas de este tipo en todas las especies analizadas.

En lo referente al color predominante de los microplásticos observados, se presentó transparente, encontrando un total de 149 partículas, las cuales correspondieron principalmente al film y a la mayor cantidad de las fibras, el segundo color más frecuente fue el azul con 74 partículas, seguido del color rojo con 40 partículas (Figura 1).

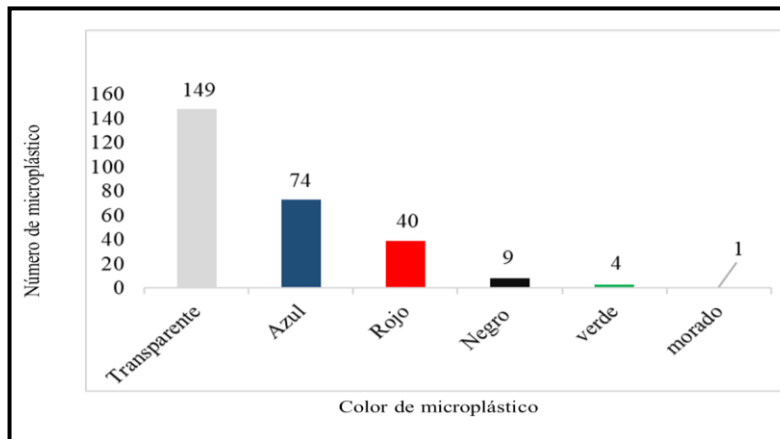


Figura 1. Número de microplásticos con su tipo de coloración identificados en las especies ícticas.

El punto de muestreo donde se encontró mayor cantidad de microplástico contenido en peces fue Xucupó, en este punto se encontraron un total de 103 partículas en seis de las ocho especies estudiadas, seguido de San Andrés con 39 partículas, Playa blanca y Petencito siendo estos los puntos más cercanos a áreas urbanas.



Figura 2. Zonas comprendidas en el estudio del lago Petén Itzá.

IV. DISCUSIÓN

El presente estudio evidenció la ingesta de microplástico en las ocho especies ícticas evaluadas. Las vías de ingesta de estos contaminantes pueden ser por consumo directo o indirecto, lo cual depende en gran medida a los hábitos alimenticios de las especies, así como por la transferencia que ocurre en la cadena alimentaria [37, 38, 39].

La especie *Vieja melanura* fue la especie con mayor cantidad de microplásticos (MP's), con un total de 126 partículas identificadas. Al ser una especie bentopelágica y omnívora, se puede asociar que debido a sus hábitos alimenticios y posición en la columna de agua, la ingestión de partículas se presenta de manera accidental al capturar sus alimentos, lo cual hace que se ingieran en conjunto por el tamaño de los MP's, así como el ser confundidos con sedimentos [40]; además, hay que recordar que esta especie es filtradora, lo que la hace más susceptible para engullir estas partículas durante la alimentación.

La segunda especie analizada que tuvo mayor cantidad de MP's, fue la sardinita mexicana *Astyanax mexicanus*, con un total de 54 MP's, teniendo características similares a la *Vieja melanura*, ya que es bentopelágica y omnívora, lo cual también puede explicar la ingesta de las partículas estudiadas.

En el caso de *Petenia splendida*, se registraron 53 MP's, 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 [41, 42], lo cual indica que estos organismos están consumiendo sus alimentos en las zonas más contaminadas que presentan MP's. También es importante mencionar que *Petenia splendida* se alimenta de las dos especies anteriormente descritas, lo cual puede hacer posible su ingesta.

Sin embargo, es posible que los peces carnívoros al ser más selectivos al alimentarse la ingesta de MP's sea menor; aunado a ello, el intestino de las especies con hábitos carnívoros se presenta como un órgano pequeño y resistente, mismo que está adaptado para retener por poco tiempo el alimento, a diferencia del de los peces herbívoros y omnívoros, los cuales tienen un intestino largo y frágil [43,44].

En este estudio, también hubo especies que presentaron cantidades mínimas de MP's como el caso de *Thorichthys affinis* (5 MP's) y *Parachromis managuensis* (15 MP's), lo que sugiere que la ingesta puede estar influenciada debido a que su alimentación principalmente se basa en zooplancton; no obstante, el tamaño de los MP's que pueden ocasionalmente ser ingeridos, en su mayoría pueden ser expulsados, ya que se estima que los organismos zooplanctónicos que consumen se encuentran en un rango de 108 a 816 μm [45, 46].

Conocer el tipo de MP's presentes en los organismos, brinda información sobre la procedencia de estos contaminantes, para este caso particular, el 86% correspondió al tipo fibra, mismo que se origina principalmente de la degradación de textiles, siendo su principal fuente de ingreso en los cuerpos de agua naturales, por los efluentes de aguas domésticas, así como por la actividad turística (hoteles). Solo por citar los estragos que esto representa, se estima que en cada lavado de ropa se desprenden alrededor 1900 fibras [47, 48, 49]. También, la descomposición de artes de pesca y las diversas cuerdas que se emplean para las actividades pesqueras, representan al menos el 18% de los MP's que se presentan en los ambientes acuáticos [50, 51].

En cuanto al film, una de las principales fuentes de estos polímeros son los productos agrícolas [52, 53], también las pinturas y barnices que se desprenden de las embarcaciones o las materias primas industriales que se descargan por los desagües [54, 55, 56]. Los fragmentos encontrados únicamente representaron el 1% de los microplásticos, ya que solo se identificaron tres partículas de este tipo. Este

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 [57, 58].

Otra manera de determinar el origen de los MP's, es por medio del color, para el caso del lago Petén Itzá, el color predominante fue el transparente, lo que evidencia que la procedencia de los MP's principalmente se debe por la degradación de los textiles, ya que el lago se encuentra expuesto a constante contaminación por efluentes de aguas domésticas de los poblados cercanos, la actividad hotelera y aunado a ello, una intensa actividad agrícola, así como el empleo excesivo de plásticos de un solo uso que están expuestos alrededor de la cuenca.

En relación a los puntos de muestreo con MP's, se constató que están asociado a la constante contaminación de origen antropogénico, como en el caso del punto Xúcupo, el cual se encuentra influenciado por el arroyo del mismo nombre y que recibe una alta carga de contaminantes, además de recibir el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPET), localizada en el municipio de Flores y San Benito de Guatemala, la cual, únicamente cuenta con un tratamiento secundario y no está diseñada para remover partículas de MP's, motivo por el cual, las especies en este punto están expuestas a residuos antropogénicos.

En cuanto a los puntos donde no se reportaron MP's, como el caso de Centro Profundo, esto se le atribuyó a la profundidad y lejanía de los focos de contaminación del lago. El segundo sitio donde no se encontraron MP's fue Jobompiche, a pesar de ser un sitio poblado, se infiere que en esta zona no se realizan actividades que generen un alto impacto de contaminación, además de contar con un bosque de galería en las orillas de la zona, la cual se compone principalmente por vegetación riparia y plantas macrófitas, las cuales se cree que podrían disminuir la cantidad de sólidos en suspensión.

Dada la situación de la presencia de estos contaminantes en peces consumidos por gran parte de la población que habita en la cuenca del lago Petén Itzá, es necesario que las autoridades encargadas del cuidado y protección del ambiente, en conjunto con las autoridades municipales que conforman la cuenca del lago, promuevan el uso razonable de plásticos a través de campañas ambientales de concientización en las poblaciones, para disminuir los depósitos de contaminantes plásticos o de cualquier otro origen, se deben de generar planes adecuados para el manejo de desechos sólidos y en suspensión, así como el tratamiento de efluentes y se debe de trabajar en la conformación de las normatividades y políticas que permitan la reducción y control de contaminantes. Así mismo, se deben de proponer alternativas viables para disminuir el empleo de plásticos de un solo uso (popotes, botellas de agua o de refresco, etc.).

V. CONCLUSIÓN

En base a los resultados presentados en el presente manuscrito, se concluyó que las especies ícticas del lago de Petén Itzá de Guatemala, son susceptibles a la contaminación por ingesta accidental de microplásticos, los cuales están presentes en el cuerpo de agua por las actividades antropogénicas que se desarrollan a su alrededor, los cuales proceden de los efluentes domésticos, la actividad hotelera y agrícola, así como por el empleo de plásticos de un solo uso. Por ello, es necesario tomar las medidas necesarias que mitiguen esta situación para que la salud humana no se vea afectada por el consumo de estos mediante el contenido de microplásticos en especies ícticas de importancia comercial.

AGRADECIMIENTOS

A la Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del lago Petén Itzá (AMPI) por el apoyo en la logística del presente estudio. A los asistentes locales, especialmente J. Chang y D.

González, así como a los Licenciados M. Ponciano, A. Méndez, C. Mazariegos, G. Ochaeta, M. Rojas y D. Tun por brindar valiosos conocimientos. A los colaboradores de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por su apoyo en la difusión y divulgación del presente trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Bretón, D. y López, E. (1989). Ciencias sociales y desarrollo de las pesquerías. En Modelos y métodos aplicados al caso de México. Colección: Divulgación. CDMX México: INAH.
- [2] Acheson, J.M. (1991). La administración de los recursos de propiedad colectiva. En Antropología Económica. CDMX, México: CONACULTA/Alianza.
- [3] F.A.O. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020: La sostenibilidad en acción. Roma, Italia: F.A.O.
- [4] Estrada, M. y Beltrán, I.C. (2000). El ordenamiento pesquero y acuícola dentro del ordenamiento territorial y ambiental. Manual Metodológico. Santa Fe de Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura.
- [5] Peña, E.J. (2001). Asesoramiento estadístico y pautas para el manejo de los recursos pesqueros en el Pacífico Colombiano. Informe Final. Buenaventura, Colombia: Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura Regional del Pacífico.
- [6] F.A.O. (2007). Capacidad de pesca y manejo pesquero en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile, Chile: Instituto de Cooperación, Servicios Estratégicos y Documentación (ICSED) y la F.A.O.
- [7] García, F.W. y Sánchez, R.F.J. (2002). Diagnóstico de la pesquería de pelágicos menores para la costa occidental de Baja California durante la temporada del 2001. Resúmenes del X Taller de Pelágicos Menores. 1-3 de junio de 2002. INP, CICIMAR, IPN. La Paz, Baja California Sur.
- [8] Garcia, S.M., Zerbi, A., Aliaume, C., Do, Ch.T. & Lasserre, G. (2003). The ecosystem approach to fisheries. Issues, terminology, principles, institutional foundations, implementation and outlook. F.A.O. Fisheries Technical Paper. 443, 71-77 pp.
- [9] Sainsbury, K.J., Punt, A.E. & Smith, A.D.M. (2000). Design of operational management strategies for achieving fishery ecosystem objectives. *ICES Journal of Marine Science*, 57, 731-741.
- [10] Francis, R.C., Hixon, M.A., Clarke, M.E., Murawski, S.A. & Ralston, S. (2007). Ten commandments for ecosystem-based fisheries scientists. *Fisheries*, 32(5), 217-233.
- [11] Díaz, U.J.G., Valdez, O.V.M., Danemann, G.D., Torreblanca, R.E., Castillo, L.A. y Cisneros, M.M.A. (2013). Regionalización de la pesca ribereña en el noroeste de México como base práctica para su manejo. *Ciencia Pesquera*, 21(1), 41-54.
- [12] Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection [G.E.S.A.M.P.]. (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: A global assessment. Kershaw, P.J., Editor. I.M.O., F.A.O., U.N.E.S.C.O.-I.O.C., U.N.I.D.O., W.M.O., I.A.E.A., U.N., U.N.E.P. and U.N.D.P. G.E.S.A.M.P. No. 90.
- [13] G.E.S.A.M.P. (2016). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: A global assessment. Kershaw, P.J., Editor. I.M.O., F.A.O., U.N.E.S.C.O.-I.O.C., U.N.I.D.O., W.M.O., I.A.E.A., U.N., U.N.E.P. and U.N.D.P. G.E.S.A.M.P. No. 93.
- [14] Green, D.S., Boots, B., Sigwart, J., Jiang, S. & Rocha, C. (2016). Effects of conventional and biodegradable microplastics on a marine ecosystem engineer (*Arenicola marina*) and sediment nutrient cycling. *Environmental Pollution*, 208, 426-434.
- [15] Pérez, J.G. (2014). La industria del plástico en México y el mundo. *Comercio Exterior*, 64(5), 6-13.

- [16] Moore, C.J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research*, 108(2), 131-139.
- [17] Hann, S., Sherrington, C., Jamieson, O., Hickman, M., Kershaw, P., Bapasola, A. & Cole, G. (2018). Investigating options for reducing releases in the aquatic environment of microplastics emitted by (but not intentionally added in) products. Final Report. London/Bristol.
- [18] Thompson, R.C., Olsen, Y. & Mitchell, R.P. (2004). Lost at sea: Where is all the plastic? *Science*, 304(5672), 838-862.
- [19] European Food Safety Authority [E.F.S.A.]. (2006). Opinion of the Scientific Panel on contaminants in the food chain on a request from the Commission related to DDT. *E.F.S.A. Journal*, 433, 1-69.
- [20] E.F.S.A. (2008). Polycyclic aromatic hydrocarbons in food: Scientific opinion of the Panel on contaminants in the food chain. *E.F.S.A. Journal*, 6(8), 72-114.
- [21] E.F.S.A. (2011). Scientific opinion on Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in food. *E.F.S.A. Journal*, 9(5), 21-56.
- [22] F.A.O. (2017). Microplastics in fisheries and aquaculture. Fisheries and Aquaculture Technical Paper 615. Rome, Italy: F.A.O.
- [23] Kukulka, T., Proskurowski, G., Morét, F.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(7), 1-12.
- [24] Lusher, A.L., Hollman, P.C.H. & Mendoza, H.J.J. (2017). Microplastics in fisheries and aquaculture: Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. F.A.O. Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 615. Rome, Italy.
- [25] Eriksen, M., Lebreton, L.C.M., Carson, H.S., Thiel, M., Moore, C.J., Borerro, J.C., Galgani, 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(12), 119-133.
- [26] G.E.S.A.M.P. (2016). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: A global assessment. Kershaw, P.J., Editor. I.M.O., F.A.O., U.N.E.S.C.O.-I.O.C., U.N.I.D.O., W.M.O., I.A.E.A., U.N., U.N.E.P. and U.N.D.P. G.E.S.A.M.P. No. 93.
- [27] Green, D.S. (2016). Effects of microplastics on European flat oysters, *Ostrea edulis* and their associated benthic communities. *Environmental Pollution*, 216, 95-103.
- [28] Green, D.S., Boots, B., Sigwart, J., Jiang, S. & Rocha, C. (2016). Effects of conventional and biodegradable microplastics on a marine ecosystem engineer (*Arenicola marina*) and sediment nutrient cycling. *Environmental Pollution*, 208, 426-434.
- [29] López, N.A. (2018). Contaminación de microplásticos en la superficie del lago Atitlán, Sololá. II Simposio Internacional de Aguas Continentales de las Américas. En: http://simposioatitlan.org.gt/assets/presentacion/9_julio/11.%20Ninoshka%20Lopez_Micropl%C3%A1sticos%20Atitl%C3%A1n.compressed.pdf. Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2019.
- [30] Mejía, A. (2019). Contaminación por microplástico en un lago endorreico de tierras bajas: El caso de Petén Itzá. Tesis de Licenciatura. Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos, Guatemala.
- [31] Barrientos, C., Quintana, Y., Elías, D.J. & Rodiles, H.R. (2018). Peces nativos y pesca artesanal en la cuenca Usumacinta, Guatemala. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89, 118-130.
- [32] F.A.O. (2018). Microplastics in fisheries and aquaculture. F.A.O.: Roma, Italy.
- [33] Miller, R. (2009). Peces dulceacuícolas de México. CDMX, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

- [34] FishBase (2021). Base de datos de taxonomía y morfología de especies ícticas. En: <https://www.fishbase.se/search.php>. Fecha de consulta: febrero de 2020.
- [35] 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(1), 1-10.
- [36] Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C. & Mu, J. (2016). Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environmental Pollution*, 15, 1-9.
- [37] Anderson, J.C., Park, B.J. & Palace, V.P. (2016). Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian ecosystems. *Environmental Pollution*, 218, 269-280.
- [38] Smith, M., Love, D.C., Rochman, C.M. & Neff, R.A. (2018). Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current Environmental Health Reproductive*, 5, 375-386.
- [39] Ugwu, K., Herrera, A. & Gómez, M. (2021). Microplastics in marine biota: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 169, 112-154.
- [40] Sánchez, J. (2018). Evaluación de la presencia de microplásticos en peces comerciales, agua y sedimento del estuario de Tecolutla, Veracruz. Tesis de Posgrado. CDMX, México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- [41] Carbery, M., O'Connor, W. & Palanisami, T. (2018). Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food and implications for human health. *Environment International*, 115, 400-409.
- [42] Li, J., Liu, H. & Chen, J.P. (2018). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*, 137, 362-374.
- [43] Lagler, K., Bardach, J., Miller, R. & Dora, M. (1990). *Ictiología*. CDMX, México: AGT Editor.
- [44] Granado, L.C. (2002). *Ecología de peces*. Madrid, España: Universidad de Sevilla.
- [45] 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.
- [46] Du, J., Zhou, Q., Li, H., Xu, S., Wang, C., Fu, L. & Tang, J. (2021). Environmental distribution, transport and ecotoxicity of microplastics: A review. *Journal of Applied Toxicology*, 41(1), 52-64.
- [47] 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.). *Environmental Science & Technology*, 42(13), 5026-5031.
- [48] Carretero, O., Gago, J. & Viñas, L. (2021). From the coast to the shelf: Microplastics in Rías Baixas and Miño River shelf sediments (NW Spain). *Marine Pollution Bulletin*, 162, 111-128.
- [49] Kukkola, A., Krause, S., Lynch, I., Sambrook, S.G.H. & Nel, H. (2021). Nano and microplastic interactions with freshwater biota –Current knowledge, challenges and future solutions. *Environment International*, 152, 106-154.
- [50] Andrady, A.L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596-1605.
- [51] Eerkes, M.D., Thompson, R.C. & Aldridge, D.C. (2015). Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research*, 75, 63-82.
- [52] F.A.O. (2018). *Microplastics in fisheries and aquaculture*. FAO: Roma, Italy.

- [53] Yuan, J., Ma, J., Sun, Y., Zhou, T., Zhao, Y. & Yu, F. (2020). Microbial degradation and other environmental aspects of microplastics/plastics. *The Science of the Total Environment*, 715, 136-196.
- [54] Hidalgo, R.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.
- [55] Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F. & Quinn, B. (2016). Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. *Environmental Science Technology*, 50, 5800-5808.
- [56] Zhang, L., Zhang, S., Wang, Y., Yu, K. & Li, R. (2019). The spatial distribution of microplastic in the sands of a coral reef island in the South China Sea: Comparisons of the fringing reef and atoll. *Science of The Total Environment*, 688, 780-786.
- [57] Sánchez, J. (2018). Evaluación de la presencia de microplásticos en peces comerciales, agua y sedimento del estuario de Tecolutla, Veracruz. Tesis de Posgrado. CDMX, México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- [58] Yang, Y., Liu, W., Zhang, Z., Grossart, H.P. & Gadd, G.M. (2020). Microplastics provide new microbial niches in aquatic environments. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(15), 6501-6511.