



Guatemala, 8 de marzo, 2021

Señor Director
Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Adjunto a la presente el informe final “Evaluación de la contaminación por microplásticos en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico” con partida presupuestal 11300060.422, coordinado por el Lic. Carlos Humberto Mazariegos Ortiz y avalado por el Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas (IIH) del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Este informe final fue elaborado con base en la guía de presentación de la Dirección General de Investigación, el cual fue revisado su contenido en función del protocolo aprobado, por lo que esta unidad de investigación da la aprobación y aval correspondiente.

Así mismo, el coordinador(a) del proyecto, se compromete a dar seguimiento y cumplir con el proceso de revisión y edición establecido por Digi del informe final y del manuscrito científico. El manuscrito científico debe enviarse, por el coordinador(a) del proyecto, para publicación al menos en una revista de acceso abierto (*Open Access*) indexada y arbitrada por expertos en el tema investigado.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

“Id y enseñad a todos”



Carlos Humberto Mazariegos Ortiz
Coordinador(a) del proyecto de investigación



Dr. Pedro Julio García Chacón
Firma y sello
Director del Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas (IIH)
Centro de Estudio del Mar y Acuicultura



Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

Informe final

**Evaluación de la contaminación por microplásticos en la Reserva Natural de Usos Múltiples
Monterrico**

Equipo de investigación

Carlos Humberto Mazariegos Ortíz

Elisa Blanda
Cristian David Melchor Urias

Guatemala, 8 de marzo, 2021

Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura

Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Augusto Saúl Guerra Gutiérrez
Coordinador del Programa de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

Carlos Humberto Mazariegos Ortíz
Coordinador del proyecto

Elisa Blanda
Investigadora

Cristian David Melchor Urías
Auxiliar de investigación I

Otros colaboradores
Marvin Xeraldo Xajil Sabán

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2020. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la Partida Presupuestaria 11300060.422 durante el año 2020 en el Programa Universitario de Investigación de Recursos Naturales y Ambiente.

Índice de contenido

1. Resumen.....	9
2. Palabras clave.....	9
3. Abstract and keyword	9
4. Introducción	10
5. Planteamiento del problema.....	12
6. Preguntas de investigación.....	13
7. Delimitación en tiempo y espacio.....	13
7.1 Delimitación en tiempo.	13
7.2 Delimitación espacial.....	14
8. Marco teórico	14
8.1 Plástico.....	14
8.2 Microplásticos	14
8.3 Fuente de microplásticos	14
8.4 Acumulación de microplásticos en los ecosistemas	15
8.5 Efectos en el ecosistema	15
8.6 Métodos de colecta e identificación de microplásticos	15
8.7 Extracción en estómago de peces	16
8.8 Reflectancia total atenuada de microplásticos	16
9. Estado del arte.....	17
10. Objetivo general.	19
11. Objetivos específicos.....	19
12. Hipótesis (no aplica).....	20
13. Materiales y métodos	20

13.1	Enfoque y tipo de investigación	20
13.2	Recolección de información	20
13.3	Técnicas e instrumentos.....	21
13.4	Operacionalización de las variables o unidades de análisis.....	24
13.5	Procesamiento y análisis de la información.....	25
14.	Vinculación, difusión y divulgación	27
15.	Productos, hallazgos, conocimientos o resultados.	27
15.2	Resultados de microplásticos en peces	27
15.2	Resultados de microplásticos en sedimentos	35
15.3	Espectros de fragmentos de plásticos colectados en sedimentos.....	41
15.4	Control de calidad en sedimentos y peces.	41
16.	Análisis y discusión de resultados.....	42
16.2	Microplásticos en peces.....	42
16.2	Microplásticos en sedimentos.....	44
16.3	Identificación química de microplásticos en sedimentos	46
17.	Conclusiones	46
17.1	Conclusión objetivo específico 1.....	47
17.2	Conclusión objetivo específico 2.....	47
17.3	Conclusión objetivo específico 3.....	47
18.	Impacto esperado.....	47
19.	Referencias	48
20.	Apéndice.....	54

Índice de tablas

Tabla I.	29
Tabla II.	30
Tabla III.....	37
Tabla IV.....	40

Índice de figuras

Figura 1. Relación entre el número de microplásticos y el factor de condición de las especies de la RNUMM agrupadas en el hábitat demersal, con los intervalos de confianza al 95% en sombra celeste.	31
Figura 2. Relación del número de microplásticos y el peso de los peces, agrupados por hábitat de tipo demersal en la RNUMM.	32
Figura 3. Relación del número de microplásticos y la longitud de los peces, agrupados por hábitat de tipo demersal en la RNUMM.	33
Figura 4. Relación entre el número de microplásticos y el factor de condición (A), peso (B) y longitud total (C) en las especies agrupadas por hábitat de tipo bento-pelágico.	33
Figura 5. Relación entre el número de microplásticos y el factor de condición (A), peso (B) y longitud total (C) en las especies agrupadas por hábitat de tipo pelágico.....	34
Figura 6. Distribución de microplásticos respecto al hábito alimenticio (A) y el hábitat (B) de los peces.	34

Figura 7. Proporción de microplásticos en forma (A) y color (B) por especie en la RNUMM. ...35

Figura 8. Promedio de microplásticos y barras de error respecto a cada Punto de colecta AD, Agua Dulce; LA, La Avellana; MT, Monterrico; PG, Puente Grande; PM, El Pumpeo y RV, Rama Verde en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.....36

Figura 9. Tamaño de microplásticos menores y mayores a 1 mm registrados en los seis puntos de colecta dentro de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.....38

Figura 10. Gráfico de caja y bigotes para la distribución de microplásticos en los puntos de colecta en la RNUMM.39

Figura 11. Número de onda y porcentaje de transmitancia (%T) de una partícula de plástico colectada en sedimentos dentro de la RNUMM.....41

Apéndice

Apéndice 1. Ubicación geográfica de los puntos de colecta dentro de la RNUMM.54

Apéndice 2. Lámina azul registrada en *D. latifrons*.55

Apéndice 3. Fibra roja registrada en *D. peruvianus*.55

Apéndice 4. Fibra azul registrada en *C. armatus*.56

Apéndice 5. Fragmento verde registrado en *M. curema*.56

Apéndice 6. Proporción de formas y colores de microplásticos en sedimentos.....57

Apéndice 7. Espectros de diferentes tipos de plástico descrito en Jung y colaboradores (2018). Elipse en rojo muestra los picos de transmitancia a una específica longitud de onda para polietileno de alta y baja densidad...57

Apéndice 8. Lámina rosada aislada de los sedimentos colectados en La Avellana.58

Apéndice 9. Correo de respuesta de la Revista Ecosistemas donde fue sometido un manuscrito con información presentada en este informe.....58

Evaluación de la contaminación por microplásticos en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico

1. Resumen

El propósito de esta investigación es contribuir al conocimiento de la contaminación por microplásticos (MPS) y aportar información al objetivo 14 de los objetivos de desarrollo sostenible que Guatemala adoptó en su momento. En Guatemala, pocos estudios abordan el problema de los MPS, es por ello que el objetivo fue evaluar la contaminación de MPS en peces y sedimentos de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico (RNUMM). Peces y sedimentos fueron colectados dentro de la RNUMM utilizando artes de pesca activa y una draga Ekman, respectivamente. MPS fueron extraídos del tracto digestivo de peces y luego fueron observados en un estereomicroscopio. En sedimentos, los MPS fueron aislados a través de separación por densidad y filtración con tamiz de 1 mm. MPS fueron registrados en 295 peces de 644 (47.28%), y en 15 de las 16 especies (93.75%). Un total de 644 partículas de MPS fueron aisladas y clasificadas en fibras (82.30%), fragmentos (12.11%) y láminas (5.59%). Se observó una correlación negativa entre el número de MPS y la LT en *Gobionellus microdon* ($Tau = -0.41$, $p < .05$), indicando que el número de microplásticos podría estar asociado a una disminución en el factor de condición. En sedimentos 652 MPS fueron registrados en seis sitios dentro de la RNUMM que no difieren entre sí (KW , $n = 6$, $p > .05$), 47.23% de los MPS fueron > 1 mm y 52.76% < 1 mm, de estos, la mayor parte fueron fibras (73.77%), seguido de láminas (25.46%). Este estudio es el primero en describir la contaminación por MPS en un ecosistema de manglar en Guatemala, mayor investigación es necesaria para establecer los riesgos y efectos sobre la salud humana.

2. Palabras clave

Peces, sedimentos, abundancia, tracto digestivo, factor de condición

3. Abstract and keyword

The purpose of this study was to contribute to the knowledge of microplastics (MPs) distribution and respond to the sustainable development goals (specifically the number 14) that Guatemala adopted years ago. In Guatemala, little is known about the MPs pollution, therefore, this study aimed to assess the contamination of MPs in fishes and sediments from Reserva Natural de Usos

Múltiples Monterrico (RNUMM). Fishes and sediments were collected from the RNUMM by using cast net and stainless steel Ekman grab, respectively. MPs were extracted from the digestive tract and then were observed in a stereomicroscope. MPs were separated from sediments by using a supersaturated solution, and then were filtered through a 1 mm stainless steel mesh. MPs were registered in 295 of 624 fishes (47.28%), and 15 of 16 species (93.75%). A total of 644 MPs were registered and classified in fibers (82.30%), fragments (12.11%) and films (5.95%). A correlation between MPs and condition factor was found in *Gobionellus microdon* ($Tau = -0.41, p < .05$). In sediments, 652 MPs were registered among six sites monitored in the RNUMM, and differences between sites were not detected (KW, $n = 6, p > .05$). MPs > 1 mm represented the 47.23% of the total, while MPs < 1 mm were more abundant (52.76%). The MPs shapes registered indicate that fibers represented 73.76% and films 25.46%. This study is the first to describe the contamination of Mps in a mangrove ecosystem of Guatemala. However, additional studies are required to set risks and effects in the human health.

Fishes, sediments, abundance, digestive tract, factor condition.

4. Introducción

La producción de plástico a nivel mundial alcanzó 60 millones de toneladas métricas (MTM) en el año 2016, mientras que para el año 2018 fue de casi 350 MTM. De esa producción, América Latina representa el 4% del total de la producción de plástico a nivel mundial. El mayor productor es el continente asiático con el 50.1% (Plastic Europe, 2018). Jambeck y colaboradores (2015), estiman que en el año 2010, 192 países generaron 275 MTM, de las cuales entre 4.8 a 12.7 MTM entraron al océano. Las estimaciones son más alarmantes, ya que Geyer y colaboradores (2017) indican que para el 2050, 12 000 MTM permanecerán en rellenos sanitarios o bien, podrían llegar al ambiente natural.

El plástico usado en las actividades antropogénicas termina en los cuerpos de agua marinos y de agua dulce debido a su mal manejo. Este al llegar a los ecosistemas acuáticos se dispersa por su densidad, ya que puede flotar en la superficie transportado por el viento o bien, por corrientes marinas en la columna de agua, acumulándose en arena de playas y lagos, en sedimentos y otros distintos hábitats. Este material ya expuesto en los ambientes naturales pasa por un proceso de foto degradación o fragmentación mecánica hasta convertirse en pequeñas partículas plásticas

conocidas como microplásticos (MPS) cuyo tamaño se define como aquellas partículas menores a 5 mm (Rocha-Santos & Duarte, 2017).

La presencia de MPS en los ecosistemas está reportado en varios estudios, en manglares (Garcés-Ordóñez et al., 2019) y playas de arena (de Carvalho & Baptista Neto, 2016; Piñon-Colin et al., 2018). Recientes estudios muestran que los MPS están alcanzando áreas remotas como la Antártida (Waller et al., 2017) e incluso aquellas zonas que fueron declaradas como protegidas por su valor ecosistémico (Mazariegos-Ortíz et al., 2020).

Lo más preocupante de la contaminación por MPS es que se está reportando presencia de ellos en sal de consumo (Karami et al., 2017) y que por defecto, está siendo ingerido por las personas. Por otra parte, también hay estudios que demuestran el consumo de microplásticos en peces (Ory et al., 2018; Pegado et al., 2018) y seguramente habrá un efecto en otras especies de la cadena alimenticia que aún no se ha estudiado a profundidad. Asimismo se desconocen los mecanismos por los que podrían estar afectando los MPS en peces de agua dulce (de Sá et al., 2018).

Otro relevante problema se refleja en que una vez en el medio ambiente, la basura plástica marina (BPM) es un vector de especies no nativas. Esto ocurre cuando los microorganismos, quistes, bacterias u otros organismos se pegan al substrato de los MPs y son trasladados de un lugar a otro mediante el transporte vía las corrientes oceánicas, ríos o aire (Rech et al., 2014; Rech, Borrell, & García-Vazquez, 2016; Silva et al., 2019), generando un nuevo desafío para la ciencia desde el punto de vista de la salud pública y del equilibrio de los ecosistemas.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la presencia de MPS en peces y sedimentos de fondo en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico (RNUMM). La investigación fue diseñada tomando en cuenta la problemática actual a nivel global dentro del marco de la contaminación por basura plástica marina y los microplásticos que se derivan de ella debido a múltiples factores ambientales y físicos. Además, Guatemala no había reportado información sobre este tipo de contaminación, lo cual evidencia la constante necesidad de entender cómo y de qué forma está llegando el plástico a diferentes partes del territorio, y la imperante necesidad de generar conocimiento, sensibilizar a la población y finalmente actuar por medio de acciones de manejo y políticas para la reducción del plástico en los ecosistemas. La información aquí reportada además, contribuye a los objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente en el

número 14: “conservación y uso sostenible de océanos, mares y recursos marinos”, en su objetivo 14.1 relacionado a la prevención y reducción de este tipo de contaminación en ambientes marinos (Naciones Unidas, 2019).

5. Planteamiento del problema

El estudio de MPS tomó relevancia en los últimos años debido a que no se conocen con claridad los efectos que éstos puedan causar en los seres humanos y en los ecosistemas. Sin embargo, algunos estudios indican que los MPS se encuentran en casi todos los ambientes marinos y de agua dulce, incluso se han documentado en áreas remotas y protegidas (de Sá et al., 2018).

No existen estudios sobre MP en la RNUMM tanto en organismos (peces, crustáceos, aves entre otros) como en sedimentos o playas. La RNUMM es un área de importancia natural que brinda servicios ecosistémicos a las comunidades alrededor de ella, lo cual la hace muy importante en la sostenibilidad ecológica. No obstante, la RNUMM también tiene presión por actividades antropogénicas como acumulación de desechos sólidos y sobrepesca, entre otros (Sigüenza & Ruiz-Ordóñez, 1999).

Los peces dentro de la RNUMM son la fuente de proteína animal de origen acuático para muchas comunidades; el consumo de estas especies se hace sin ninguna medida de control por parte de los entes encargados de la salubridad en el país. Algunos estudios de otros países indican que los peces están ingiriendo MPS (Pegado et al., 2018) ya sea de forma accidental o bien, integrándose a la cadena trófica desde el nivel más bajo hasta el más alto. Es aquí donde surgió la pregunta ¿existe evidencia de consumo de MPS en los peces de la RNUMM? Y si lo estaban haciendo, ¿cómo es que están llegando a ser consumidos? La respuesta a esta pregunta puede encontrarse en el nivel trófico de las especies y los hábitos alimenticios; derivado de ello surgió otra pregunta: ¿están los microplásticos acumulados en los sedimentos? La respuesta a esta última ayudó a sustentar a la primera dado que algunas especies buscan su alimento cerca de los sedimentos donde aquellos MP con mayor densidad tienden a acumularse (de Sá et al., 2018); sumado a ello, existe evidencia que la concentración de microplásticos tiene una estrecha relación con áreas pobladas (Ory et al., 2018), por tanto es imperante tener un mayor panorama de cómo la contaminación en los ambientes marino costeros está sujeta a las actividades antropogénicas.

Este estudio finalmente evidenció el consumo de MPS en peces y la presencia de ellos en sedimentos, con el objetivo de contribuir al conocimiento relacionado a los recursos marino costeros de Guatemala y su estado actual respecto a este contaminante emergente. La información que se generó podrá ser utilizada para abordar temas de prevención de contaminación de desechos sólidos plásticos en la RNUMM y, sobre todo, la necesidad de ahondar más sobre este tipo de contaminación a lo largo del territorio nacional.

6. Preguntas de investigación

- ¿Están los peces de la RNUMM consumiendo microplásticos?
- ¿Qué tipo y color de microplásticos son los que están consumiendo?
- ¿Está relacionado el hábito alimenticio del pez con el consumo de microplásticos?
- ¿Está el factor de condición (k) de los peces asociado al consumo de microplásticos?
- ¿Existe acumulación de microplásticos en sedimentos?
- ¿Qué concentración de microplásticos hay en los sedimentos de la RNUMM?
- ¿Qué forma y color de microplásticos hay en sedimentos de la RNUMM?
- ¿De qué tipo de polímero están hechos los microplásticos más representativos en peces y sedimentos de la RNUMM?

7. Delimitación en tiempo y espacio

7.1 Delimitación en tiempo.

El proyecto fue planteado para ejecutarse de febrero a noviembre de 2020. Sin embargo, los múltiples problemas que surgieron por la pandemia del COVID-19, hicieron que el proyecto iniciara la fase de campo en el mes de julio del 2020 y finalizara en enero de 2021. Durante ese período se realizaron tres colectas de peces y sedimentos. La fase de laboratorio fue intermitente debido a otros factores; no obstante, fue posible realizar el trabajo desde casa (en el caso del procesamiento de sedimentos) y en el Laboratorio del Campus del Mar (Estación Experimental Monterrico) se llevó a cabo el procesamiento de peces, visualización y registro de microplásticos, utilizando en muy pocas ocasiones el laboratorio del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

7.2 Delimitación espacial.

La recolección de muestras de peces y sedimentos se realizó en la RNUMM (Apéndice 1). Se definieron seis puntos de colecta de peces y sedimentos dentro de la RNUMM tomando como información primaria el Plan Maestro descrito en Sigüenza y Ruíz-Ordóñez (1999). Los puntos seleccionados fueron: La Avellana, Monterrico, Agua Dulce, Laguna Puente Grande, Laguna Rama Blanca y El Pumpo. Para la colecta de peces se definió un área de 1000 m² y cinco puntos aleatorios fueron escogidos para colecta de sedimentos de fondo.

8. Marco teórico

8.1 Plástico

El plástico es un material hecho de una variedad de compuestos orgánicos semi sintético o sintético que pueden ser moldeados según la necesidad. Hoy en día el plástico es uno de los materiales más usados a nivel mundial, principalmente en el almacenamiento de bebidas, comida, fabricación de juguetes y accesorios para la construcción.

La producción de plástico a nivel mundial en el año 2016 fue de 60 millones de toneladas, mientras que para el año 2018 se estimaba en casi 350 millones de toneladas. De esa producción, América Latina representa el 4% de la producción mundial, siendo Asia el mayor productor respecto a los demás continentes con un 50.1% (Plastics Europe, 2018).

8.2 Microplásticos

Los microplásticos son partículas menores a 5 mm (Rocha-Santos & Duarte, 2015); sin embargo, en algunos otros estudios el rango del tamaño puede variar. Un aspecto importante para el estudio de los microplásticos es considerar el equipo que se utilizará para la identificación química, como por ejemplo el equipo de rayo infrarrojo medio conocido como MIRS (mid infra red spectroscopy) o el ATR (Attenuated total reflectance) cuyo material a identificar debe tener un tamaño adecuado entre 1-5 mm (Proyecto RLA7022, no publicado).

8.3 Fuente de microplásticos

Los beneficios del plástico son innegables debido a su gran utilidad en diversas actividades del ser humano. Sin embargo, en el último siglo muchas personas se preguntaban qué pasaba con los plásticos que se fragmentan y terminan en los cuerpos de agua. De esta forma, el estudio de los

microplásticos tomó mayor relevancia debido a que aún se desconocen muchos de los riesgos y los efectos en los ecosistemas y sus habitantes (de Sá et al., 2018).

Los microplásticos se dividen en dos fuentes: primaria, aquellos microplásticos que son fabricados para ser manufacturados en otro tipo de procesos industriales como los pellets de resina y microesferas usados en la industria de cosméticos; por otro lado están los microplásticos secundarios, que han sufrido un proceso de foto degradación o fragmentación mecánica a lo largo del tiempo y que se depositan en los ecosistemas (Cole et al., 2011).

8.4 Acumulación de microplásticos en los ecosistemas

La acumulación de microplásticos en los ecosistemas resulta de la indiscriminada disposición de residuos directa e indirectamente por acciones antropogénicas. Las poblaciones cercanas tienen gran influencia en cómo los microplásticos pueden acumularse a lo largo del tiempo en manglares (Garcés-Ordóñez et al., 2019) y playas de arena (de Carvalho & Baptista Neto, 2016, Piñon-Colin et al., 2018). Lo más preocupante de la contaminación por microplásticos es que se está reportando presencia de ellos en sal de consumo (Karami et al., 2017) y que por defecto, está llegando al sistema digestivo de las personas; por otra parte, también hay estudios que demuestran el consumo de microplásticos en peces (Ory et al., 2018; Pegado et al., 2018) y otra fauna marina como aves y mamíferos, y que seguramente habrá un efecto en otras especies de la cadena alimenticia.

8.5 Efectos en el ecosistema

Los efectos en el ecosistema producto de la contaminación por microplástico no tienen, hasta el momento, conclusiones generales de cómo los compuestos derivados de la descomposición de estos fragmentos pueden ocasionar ciertos daños. Sin embargo, hay estudios encaminados a resolver ciertos paradigmas como la ecotoxicidad (de Sá et al., 2018).

8.6 Métodos de colecta e identificación de microplásticos

8.6.1 Colecta

Los métodos de colecta pueden variar dependiendo del tipo de estudio que se desea realizar. Garcés-Ordóñez y colaboradores (2019) establecieron un área de 1000 m² para la colecta de basura marina y microplásticos de sedimentos superficiales en área de manglar. Sagawa y colaboradores (2018) colectaron microplásticos de sedimentos superficiales de playa tomando en

cuenta la marea y definiendo un transecto (sin longitud especificada) con cinco puntos de muestreo; estos mismos autores indican que para extraer sedimentos se puede utilizar puntos aleatorios donde el volumen de extracción es el factor a considerar para establecer la concentración. No obstante, la concentración de microplásticos por área se puede definir en función de un transecto.

8.6.2 Clasificación

La clasificación de microplásticos dependerá de los objetivos de cada estudio, pero generalmente son divididos según su forma en pellets, fibras, fragmentos irregulares, esponjas, filamentos entre otros (Rocha-Santos & Duarte, 2017). Por otra parte, la clasificación de estas formas también se hace en función de los colores que predominan en el ambiente (Proyecto RLA7022, no publicado), colores como el azul, amarillo, verde, blanco, negro, rojo, anaranjado y celeste son muy comunes de encontrar en la caracterización de MPS (Li et al., 2018a).

8.7 Extracción en estómago de peces

Extraer microplásticos del estómago de peces puede hacerse de varias formas. Aquí se describirán dos de las más comunes: la primera tiene como objetivo extraer mediante corte longitudinal con equipo quirúrgico y lavado del tracto digestivo con etanol al 70% los MPS que han sido consumidos tal y como lo describe Pegado y colaboradores (2018); la segunda, a diferencia de la extracción usando equipo quirúrgico, se realiza la digestión del material orgánico, del tracto digestivo mediante una solución de KOH al 10% (grado analítico) usando un ratio de 3:1 entre el volumen de la solución respecto al material biológico (Foekema et al., 2013).

8.8 Reflectancia total atenuada de microplásticos

La Reflectancia total atenuada o ATR por sus siglas en inglés, es una de las técnicas mayormente usadas dentro del análisis de microplásticos. Esta técnica es muy rápida y eficiente dado que las partículas de microplásticos entre 1 y 5 mm pueden ser identificadas superficialmente a través de un rayo que pasa a través de un cristal, hace vibrar el material y regresa esa reflectancia al equipo donde el espectro es detectado y mostrado en una computadora. La profundidad a la que penetra el rayo es muy importante para identificar el tipo de material del cual está fabricada la partícula; no obstante, la similitud entre espectros puede ser un factor determinante y para ello el espectro de cada partícula debe ser comparado con una biblioteca o base de datos de polímeros teóricos

para cada material como polietileno, polivinilo, polipropileno, entre otros materiales que son muy comunes en la fabricación de plástico (Rocha & Santos, 2017).

9. Estado del arte

Los microplásticos son fragmentos de plástico de origen primario o secundario; los de origen primario son aquellos que generalmente son usados como materia prima (pellets de resina) en la fabricación de otros materiales. Existen también otros de origen primario como por ejemplo las microesferas que son utilizados en la industria de los cosméticos y abrasivos. Los secundarios son aquellos que se han degradado debido a factores químicos, físicos o mecánicos a partir de plásticos de tamaños mayores.

En Guatemala, López (2018) desarrolló un estudio para evaluar la concentración de microplásticos en diferentes puntos de la superficie del Lago de Atitlán. Los resultados de su estudio indican que la abundancia de MPS en la superficie del lago es de 128,763 partículas/km², cuya forma predominante son los fragmentos. En ese mismo estudio, se puede observar que la dinámica de los MPS en la superficie está asociado a variables meteorológicas como el viento, principalmente en época seca y relacionada estrechamente a la población dentro de la cuenca de dicho lago.

El estudio de MPS podría decirse que es reciente. Richard Thompson y colaboradores describieron por primera los MPS en el 2004, y cinco años después, Thompson y colaboradores (2009) publicaron un artículo titulado “Our Plastic Age” en el que describen los beneficios que ha generado el invento del plásticos a la sociedad y las consecuencias de su mal uso y manejo a la vida silvestre. Desde el 2009, la investigación sobre este tópico se incrementó sustancialmente (Barboza & Gimenez, 2015), siendo los ambientes marinos a los que mayor atención se les ha puesto.

Dado lo anterior, gran parte del trabajo en microplásticos se está enfocando en conocer los mecanismos por los que estos podrían estar afectando a los seres vivos incluyendo el hombre, de ahí la importancia. Sin embargo, los estudios son principalmente de caracterización sobre el tipo y forma de microplásticos encontrados en los ecosistemas: en ecosistemas de mangle, Garcés-Ordoñez y colaboradores (2019) realizaron un estudio determinando MPS en Ciénega Grande, Santa Marta, Colombia. Los autores encontraron contaminación por MPS entre 31 y 2863

ítems/kg de sedimento seco con tipos representativos de fragmentos de MPS provenientes de bolsas, utensilios desechables, foam de poliestireno, fibras y nylon de pesca.

En playas de arena Carvalho y Baptista Neto (2016) reportan MPS en la Bahía de Guanabara, Brasil con concentraciones que van desde 12 a 1300 partículas por m² en época de verano, mientras que en invierno la concentración alcanza valores entre 3 a 743 partículas por m². Estos autores reportan que los MPS más comunes fueron fibras, fragmentos, estirofoam y pellets; dentro de ese grupo el más representativo fueron los fragmentos. Por otra parte, Piñon-Colin y colaboradores (2018) reportan MPS en las playas alrededor de la península de Baja California con una concentración promedio de 135 partículas por kilogramo de peso seco de arena. Los fragmentos predominantes fueron las fibras, film, esferas y gránulos; de ellos, los colores representativos fueron rojo y azul para fibras y morado, rojo y verde para las demás partículas.

En sedimentos tanto de playa como de ecosistemas de manglares Sagawa y colaboradores (2018), caracterizaron MPS de sedimentos en playa y mangle. Estos autores encontraron diferencias en el tamaño de los MPS cuyo rango para aquellos en sedimentos de playa fue de 0.16 a 5 mm, mientras que los de sedimentos en mangle fue de 0.38 a 4.8 mm. Las formas encontradas fueron de tipo esferas, fibras y fragmentos; los colores representativos fueron el blanco y transparente, seguido del verde y amarillo, y por último el color rojo y azul. También Garcés-Ordóñez y colaboradores (2019), realizaron un estudio de contaminación por MPS en sedimentos de mangle en relación a poblados cercanos y lejos de ellos. Los resultados indicaron que hay una relación estrecha entre la concentración de MPS y la distancia de los poblados. Ello debido a que la acumulación de desechos sólidos está influenciada por actividades antropogénicas, posteriormente se fragmenta en pequeñas partículas y terminan en los ecosistemas.

Otro aspecto importante es que los MPS que se encuentran en los ambientes acuáticos están siendo consumidos por los peces de manera incidental, o bien son confundidos con la presa. Pegado y colaboradores (2018) realizaron un estudio en un estuario del río Amazonas donde encontraron 228 partículas de microplástico en el tracto digestivo de 14 especies de peces; de esas 228 partículas, el 92.1% fueron encontrados en estómagos y el 7.9% en el tracto intestinal. Las formas más representativas fueron los pellets (94.5%), hojas/films (1.3%), fibras (0.4%) fragmentos (0.4%); de ellos los autores reportan colores de MP transparente, amarillo, anaranjado

y azul. Otro estudio interesante es el desarrollado por Ory y colaboradores (2018), en el cual a través de un proyecto regional en países de Suramérica evidencian la presencia de microplásticos en peces planctívoros. Los autores reportan que de 292 especies, en seis de ellas (2.1%) se encontraron partículas de MP de tipo fragmento y colores como el verde, amarillo, azul y rojo fueron los más característicos.

Hidalgo-Ruz y colaboradores (2012) hacen una revisión sobre los métodos de identificación química utilizados en la caracterización de microplásticos. Los autores indican que existen diferentes tipos de espectroscopia que pueden aplicarse para la identificación química de los polímeros; uno de estos equipos es el espectrofotómetro de rayos infrarrojos cuyo método se basa en la emisión de un rayo infrarrojo que hace vibrar los átomos de los polímeros permitiendo devolver cierta absorbancia que es típica del material en estudio, que luego es comparado con una base de datos teórica. El otro equipo mayormente utilizado es el ATR-FTIR por sus siglas en inglés (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) cuyo método será utilizado en el presente estudio. Este último equipo permite identificar polímero como polipropileno, polietileno, poliéster entre otros.

10. Objetivo general.

Evaluar la contaminación por microplásticos en seis sitios dentro de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.

11. Objetivos específicos

Identificar la presencia de microplásticos en el tracto digestivo de las especies de peces en seis sitios dentro de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.

Determinar la concentración, forma y color de microplásticos en peces y sedimentos en seis sitios dentro de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.

Identificar los microplásticos más representativos de peces y sedimentos de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico usando espectroscopia de rayos infrarrojos.

12. Hipótesis (no aplica).

13. Materiales y métodos

13.1 Enfoque y tipo de investigación

El enfoque del estudio fue de tipo mixto (cuantitativo y cualitativo). Se recolectaron muestras de peces y sedimentos en la RNUMM. Cada una de esos componentes del estudio brindó datos cuantitativos de concentración de microplásticos por sedimento seco (ítems/m² de sedimento seco) y de número de ítems por estómago de pez, entre otras variables que se describen en este apartado. Las variables cualitativas fueron la forma y color de MPS en peces y sedimentos.

El estudio fue de tipo exploratorio dado que no se había realizado ninguna investigación relacionada en la RNUMM. Además, el estudio también fue de tipo correlacional ya que se relacionó la cantidad de microplásticos con el peso, longitud total y el factor de condición de los peces capturados. Por último, fue un estudio observacional de tipo transversal cuyas variables fueron relacionadas según se muestra en el apartado de análisis de la información.

13.2 Recolección de información

- Área de estudio y colecta de información

La Reserva Natural de Usos Múltiples de Monterrico (RNUMM) está ubicada al sureste del país entre los municipios de Taxisco y Chiquimulilla en el departamento de Santa Rosa (Apéndice 1). Está delimitada por las coordenadas cartográficas entre los meridianos 90° 26' 21" y 90° 30' 14" O y paralelos 13° 58' 28" y 14° 0' 38" N. La RNUMM está administrada por el Centro de Estudios Conservacionistas (CECON) de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala desde el año 1979 (Sigüenza & Ruiz-Ordóñez, 1999).

- Procesamiento de muestras en laboratorio

La fase de procesamiento se dividió en dos partes: las muestras colectadas fueron trasladadas a la Estación Experimental de Monterrico y posteriormente al edificio T14 del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura cuando fue posible. En consecuencia un laboratorio para el trabajo de sedimentos fue adecuado en casa de los investigadores. El procesamiento se realizó en el Laboratorio de Sanidad Acuícola del CEMA y el Laboratorio del Campus del Mar, principalmente el sedimento de la última colecta.

- Características del muestreo

El muestreo para este estudio se definió a conveniencia respecto a los sitios de colecta de información de peces y sedimentos, tomando como base la información del Plan Maestro descrito por Sigüenza y Ruíz-Ordóñez (1999). Para establecer los 1000 m² en los seis sitios de colecta de muestras, se aplicaron técnicas de sistemas de información geográfica.

Los peces fueron capturados en cada sitio utilizando artes de pesca activo (atarraya) dentro de un área de 1000 m². Para la colecta de sedimentos, por cada sitio se escogieron cinco puntos aleatoriamente dentro del área referida anteriormente, y se extrajo el material utilizando una draga metálica. El método de muestreo se definió a conveniencia dado que no se hizo énfasis en hacer inferencia sobre una o más poblaciones en específico, sino más bien, una elección controlada de la recolección de la información que nos permitiera evidenciar la presencia de microplásticos en los peces, y en los sitios definidos para sedimentos.

13.3 Técnicas e instrumentos

- Colecta de peces

Los peces fueron capturados en seis sitios dentro de la RNUMM. Se utilizó el arte de pesca activa atarraya (3 m de diámetro en abertura promedio y 3 m de longitud con luz de malla de 5 cm) para la captura de los peces en un área de 1000 m² hasta obtener al menos 50 organismos. Los peces capturados fueron colocados en un recipiente con hielo y congelados a -20 °C hasta que fueron procesados como lo describe Pegado y colaboradores (2018).

- Procesamiento de las muestras de peces

En el laboratorio, los peces fueron descongelados e identificados según su género y su hábito alimenticio (carnívoro, herbívoro u omnívoro) utilizando la base de datos de FishBase (Froese & Pauly, 2017). Longitud total (cm) y peso (g) fueron registrados utilizando un escalímetro (cm) y una balanza electrónica (AND 2000 precisión 0.1 g), respectivamente. Posteriormente, se realizó la disección de cada uno de los organismos capturados. Estómago e intestino fueron extraídos utilizando tijeras, pinzas y bisturí tipo quirúrgico. Se realizó la digestión del material orgánico utilizando una concentración de KOH al 20% durante al menos 48 horas (Foekema et al., 2013). Microplásticos fueron examinados en un estéreo microscopio (Amscope SM-1TSZZ-144S-10M).

- Sedimentos

- Colecta de la muestra de sedimentos

Sedimentos de fondo fueron colectados utilizando una draga Ekman (capacidad 3.3 L, 56 x 22 x 40 cm, largo, ancho y altura respectivamente). El muestreo de sedimentos estuvo asociado al muestreo de peces en un área de 1000 m², donde se realizaron aleatoriamente cinco extracciones por sitio. Estos fueron colocados en una bandeja de aluminio con su respectiva etiqueta de identificación. Por último, el peso húmedo total del sedimento fue registrado.

Los sedimentos fueron trasladados al Laboratorio de Sanidad Acuícola del CEMA; sin embargo, debido a las circunstancias derivado de la pandemia por el COVID-19, y otros problemas coyunturales, los laboratorios estuvieron cerrados durante por muchos meses durante el año 2020. Debido a ello, fue necesario improvisar un laboratorio para el procesamiento de sedimentos en casa de los investigadores. Un cambio a la metodología definida en el protocolo fue necesario. Los sedimentos primero fueron secados en un horno a 60 °C, y debido a la consistencia (parecida al cemento) no fue posible hacer el tamizaje utilizando filtros de 1 y 5 mm, por lo que únicamente 18 muestras fueron secadas al inicio para calcular la ratio entre el peso húmedo y el peso seco, cuyo valor fue de 0.26; este valor fue utilizado posteriormente para calcular el peso seco de las demás muestras. Debido a las características encontradas en los sedimentos, dos pasos fueron desarrollados: 1) el cambio de densidad utilizando solución saturada de NaCl (328 g en 1000 ml previamente filtrada) fue aplicado para muestras húmedas. El proceso fue repetido tres veces y el sobrenadante fue filtrado con filtros de celulosa; 2) las muestras secas (18) fueron maceradas utilizando un mortero de porcelana y nuevamente rehidratadas con solución saturada de NaCl. A continuación se resume el procedimiento realizado para las 72 muestras de sedimento.

- a) Registro del código y medición del peso húmedo.
- b) Cálculo del peso seco utilizando la ratio encontrado en las primeras 18 muestras.
- c) Separación por densidad (tres veces por cada muestra).
- d) Secado de los filtros con partículas menores a 1 mm obtenidos en el proceso de separación por densidad.
- e) Revisión al estereoscopio de las partículas menores a 1 mm.
- f) Tamización en húmedo de las partículas mayores a 1 mm.
- g) Secado de las partículas mayores a 1 mm.

h) Revisión al estereoscopio de las partículas mayores a 1 mm.

Una vez en el laboratorio, las muestras fueron registradas y pesadas (peso húmedo). Posteriormente fueron transferidas a beakers con solución saturada de NaCl (separación por densidad) previa filtración a través de filtros de celulosa. Para este procedimiento, 100 litros de solución saturada fueron utilizados. La solución saturada y el sedimento fueron mezclados durante 15 minutos para separar las partículas retenidas en él, luego la solución fue dejada durante 2 a 24 horas para lograr la sedimentación del material orgánico, y el sobrenadante fue filtrado.

Al finalizar el procedimiento de separación por densidad, el sedimento húmedo fue filtrado utilizando un tamiz de 1 mm. Las partículas mayores a 1 mm fueron almacenadas en bandejas de aluminio (una por cada muestra) y secadas al horno a 60 °C.

- Identificación química de microplásticos

Se seleccionaron 30 MPS mayores a 1 mm en sedimentos para la identificación del polímero usando un ATR-FTIR (Cary 660, agilent). Cada partícula de MPS fue separada, identificada respecto al punto de extracción y almacenada en viales de vidrio de 5 ml. Luego, estos fueron colocados en el ATR-FTIR para la identificación del polímero a través de un cristal que imprime un rayo infrarojo, y a través de la vibración de las moléculas que responden a ciertos grupos de materiales en específico, el número de onda (cm^{-1}) fue registrado desde 400 hasta 4000. Se registró la transmitancia (%) para las partículas en las que fue posible el uso del ATR-FTIR. Se obtuvo un archivo tipo csv con los valores de las variables antes mencionadas y finalmente fueron comparadas con lo descrito en Jung y colaboradores (2018).

- Control de calidad y aseguramiento de las partículas de plástico

Dadas las condiciones durante el análisis de las muestras, fue necesario implementar un método para identificar la contaminación de microplásticos por aire u otras fuentes, por lo que 50 muestras control fueron obtenidas de la solución saturada para el procedimiento realizado en sedimentos. Todas las muestras fueron secadas a 60 °C, y observadas al esteresocopio. En el caso del procesamiento de peces, cinco filtros de celulosa fueron colocados aleatoriamente alrededor del área de trabajo, y observados al estereoscopio.

Para asegurar que las partículas efectivamente eran de plástico, la metodología de Kovač Viršek y colaboradores (2016) fue aplicada. Una aguja caliente fue aproximada a las partículas observando que se alargaran o enrollaran por el calor.

13.4 Operacionalización de las variables o unidades de análisis.

Objetivos específicos	Variables o unidades de análisis que fueron consideradas	Forma en que se midieron, clasificaron o cualificaron
Identificar la presencia de microplásticos en el tracto digestivo de peces de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.	<p>Frecuencia de ocurrencia (FO%)</p> <p>Factor de condición (k)</p> <p>Forma y color de microplásticos</p> <p>Peso (g) y longitud estándar (cm) de peces</p> <p>Tipo de hábito alimenticio</p>	<p>Captura de los peces en la RNUMM.</p> <p>Registro de longitud (cm) y peso (g) de cada pez.</p> <p>Disección de cada pez extrayendo el contenido digestivo.</p> <p>Digestión con KOH al 20%.</p> <p>Extracción, conteo y clasificación por forma y color de microplásticos.</p> <p>Clasificación y conteo por forma y color de microplásticos menores a 1 mm.</p> <p>Determinación del hábito alimenticio usando FishBase (Froese & Pauly, 2020).</p>
Determinar la concentración, forma y color de microplásticos en sedimentos de seis lugares dentro de la Reserva Natural de	No. ítems/kg de sedimento seco, No. de ítems/m ² .	<p>Colecta de sedimento utilizando una draga.</p> <p>Secado de la muestra a 60 °C durante 48 horas.</p> <p>Tamizaje utilizando un tamiz de 5 mm.</p> <p>Separación por densidad con NaCl</p>

Usos Múltiples Monterrico.		1.2 g/cm ³ de las partículas menores a 1 mm. Clasificación y conteo por forma y color de microplásticos
Identificar los microplásticos más representativos de los sedimentos de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.	Tipo de material de los microplásticos según los picos de absorbancia	Selección de los microplásticos más representativos por forma mayores a 1 mm. Identificación del material utilizando espectroscopia (FTIR-ATR) Comparación del gráfico de absorbancia con la base de datos de polímeros del ATR-FTIR.

13.5 Procesamiento y análisis de la información

- Procesamiento y análisis de la información:
 - Microplásticos en peces

Frecuencia de ocurrencia (%) fue calculado para cada especie en las que se registraron partículas de microplásticos utilizando la ecuación $FO\% = \left(\frac{N_i}{N}\right) * 100$, donde $FO\%$ = frecuencia de ocurrencia de partículas de microplásticos; N_i = número de tractos digestivos que contenían partículas de plástico; N = número de tractos digestivos examinados (Pegado et al. 2018).

Además, se calculó el factor de condición (K) fue calculado para cada especie utilizando la ecuación: $k = \frac{W}{L^3} * 100$, donde: k = factor de condición (g/cm³); W = peso de los organismos (g); L^3 = longitud estándar (cm).

Entre los análisis se aplicó regresión lineal simple para evaluar la relación entre la cantidad de microplásticos (No. ítems) y el factor de condición (g/cm³), número de ítems y la longitud estándar del pez (cm), número de ítems y el peso del pez (g) para cada especie. Intervalos de

confianza al 95% fueron calculados con la información y colocados en gráficos de dispersión (Mizraji et al., 2017). Dada la naturaleza de la variable No. de ítems, se aplicó el Test de Correlación de Kendall para medir la fuerza de la relación.

Para la visualización de la información, los siguientes gráficos fueron utilizados:

- a) Gráficos de caja y bigotes (tipo de hábito alimenticio y No. de ítems).
 - b) Gráficos de barras apiladas (formas de microplástico y porcentaje de ocurrencia).
- Microplásticos en sedimentos

Dos tipos de concentración de microplásticos en sedimentos de fondo fueron registrados: No. ítems/kg de sedimento seco y No. de ítems/m².

Para la interpretación de resultados, se aplicó el análisis de la varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis ($\alpha = .05$) para los seis sitios de muestreo debido a que no se cumplió el supuesto de normalidad. Se aplicó la prueba *post-hoc* de Holm para evaluar las diferencias entre grupos de peces respecto a su hábito alimenticio y su hábitat.

Para la visualización de la información los siguientes gráficos de interpretación de resultados fueron utilizados:

- a) Gráfico de barras.
 - b) Gráfico de caja y bigotes (puntos de muestreo y total de No. ítems)
 - c) Gráfico de barras apilado (formas de microplástico y porcentaje de ocurrencia).
- Identificación química del microplástico

Según el apartado de Técnicas e Instrumentos, las partículas más representativas de los sedimentos de manglar mayor a 1 mm fueron analizadas usando un ATR-FTIR. Se utilizó un ATR-FTIR marca agilent, modelo Cary 660 para la identificación de 30 partículas escogidas aleatoriamente. Se obtuvieron los datos de transmitancia (%) y número de onda (cm⁻¹) a una resolución de 4 cm para cada espectro. Los datos fueron almacenados en un archivo tipo .csv y graficados en R Studio.

Para la visualización de los resultados se utilizaron los siguientes gráficos:

- a) Gráficos de absorbancia de las partículas aisladas de sedimentos de la RNUMM.
- b) Gráficos teóricos ya existentes de polímeros para determinar el material químico de la partícula analizada en el ATR-FTIR (Total Reflectance-Fourier Transform Infrared Spectroscopy) (Apéndice 6).

Todos los análisis fueron realizados en R Studio (R Core Team, 2019).

14. Vinculación, difusión y divulgación

La principal vinculación del proyecto fue con la Red de Investigación Marino Costera (REMARCO) en donde se trabajan temas de interés regional respecto a la contaminación de microplásticos. En las redes sociales y página web (www.remarco.cl) se publicó la información sobre el cierre del proyecto. Los resultados finales (productos como los artículos científicos) serán compartidos a través de la red, y en las redes sociales de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Los resultados del proyecto también se compartirán en la red centroamericana para el estudio de la basura plástica marina que se está formando con apoyo del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA).

15. Productos, hallazgos, conocimientos o resultados.

15.2 Resultados de microplásticos en peces

Durante los meses de julio, agosto y diciembre de 2020, fueron colectadas muestras de peces en seis sitios dentro de la RNUMM. En total 624 peces fueron colectados, los cuales pertenecen a 11 familias (Tabla I). En total, 644 MPS fueron registrados en 295, lo que indica un factor de ocurrencia global del 47.28%, y en 15 de las 16 especies examinadas (93.75%). Respecto a los MPS y el hábito alimenticio de los peces, el 58.85% fue registrado en los de tipo omnívoro, 24.53% en los herbívoros y 16.61% en los carnívoros, mientras en lo que respecta al hábitat, 51.1% corresponde al de tipo bento-pelágico, 46.7% a los demersales y 2.2% a los pelágicos.

La mayor frecuencia de ocurrencia fue registrada en *Pterygoplichthys* sp., con 100% ($n = 1$). Caso contrario con la especie *P. butleri* con 28.57% ($n = 14$). La mayor cantidad de MPS fue registrado en la especie *M. curema* con 288 ítems, seguido de *D. latifrons* con 140, cuyo hábitat es de tipo demersal y bento-pelágico, respectivamente. En ambas especies, la frecuencia de

ocurrencia es menor a la reportada para *Pterygoplichthys* sp., pero la cantidad de *D. latifrons* ($n = 248$) y *M. curema* ($n = 171$) varía considerablemente.

La abundancia promedio (MPS/pez) para cada especie fue mayor en *Pterygoplichthys* sp., con 4 MPS, seguido de *A. aeneus* (2.92), *C. armatus* (2.67), *M. curema* (2.62) y *Gobionellus microdon*, (2.40), mientras que la menor abundancia fue registrada en *C. viridis* y *P. butleri* con 1.5 en ambas especies. La Tabla II resume los resultados de las variables morfológicas registradas por especie.

Tabla I.

Resumen de las principales variables registradas en las especies de peces de la RNUMM.

Familia	Nombre científico	Hábito alimenticio	Hábitat	<i>n</i>	Peces con MPS	Total de MPS	Frecuencia de ocurrencia (%)	Abundancia promedio	Factor de Condición
Characidae	<i>Astyanax aeneus</i>	Omnívoro	Bento-pelágico	26	12	35	46.15	2.92	1.62
Ariidae	<i>Arius guatemalensis</i>	Carnívoro	Demersal	7	4	6	57.14	1.50	0.87
Centropomidae	<i>Centropomus armatus</i>		Demersal	7	3	8	42.86	2.67	0.74
	<i>Centropomus nigrescens</i>			10	6	11	60.00	1.83	0.74
	<i>Centropomus robalito</i>			33	16	34	48.48	2.13	0.77
	<i>Centropomus viridis</i>			10	4	6	40.00	1.50	0.74
Gerreidae	<i>Diapterus peruvianus</i>			13	5	9	38.46	1.80	1.07
Eleotridae	<i>Dormitator latifrons</i>	Herbívoro	Demersal	248	88	140	35.48	1.59	1.57
Gobiidae	<i>Gobiomorus maculatus</i>	Carnívoro	Demersal	27	13	30	48.15	2.31	0.88
	<i>Gobionellus microdon.</i>	Omnívoro	Demersal	39	22	53	56.41	2.41	0.47
Loricariidae	<i>Pterygoplichthys</i> sp.			1	1	4	100.00	4	0.79
Cupleidae	<i>Lile gracilis</i>	Herbívoro	Pelágico	12	5	12	41.67	2.40	0.48
Mugilidae	<i>Mugil curema</i>	Omnívoro	Bento-pelágico	171	110	288	64.33	2.62	0.97
Cichlidae	<i>Oreochromis niloticus</i>	Omnívoro	Pelágico	5	2	2	40.00	1.00	2.10
	<i>Asthatheros macracanthus</i>		Bento-pelágico	1	0				2.04
Poeciliidae	<i>Poecilia butleri</i>	Herbívoro	Bento-pelágico	14	4	6	28.57	1.5	1.31

Nota. Hábito alimenticio y hábitat tomado de Robertson y colaboradores (2015); Froeze y Pauly (2020).

Los resultados de la regresión lineal muestran únicamente una relación intermedia positiva entre los MPS y el factor de condición (g/cm^3) en la especie *C. nigrescens* ($p < .05$), indicando que los MPS podrían explicar la variabilidad del FC; sin embargo, esas mismas variables presentan una

correlación positiva intermedia ($Tau = .60, p < .05$), lo que indica que los MPS podrían afectar el FC. Por otro lado, la especie *G. microdon.*, es la única especie donde la correlación entre la variable factor de condición y número de MPS fue negativa ($Tau = -0.41, p < .05$; ver Figura 1), mientras que los coeficientes de la regresión no muestran diferencia significativa ($p < .05$). La ecuación para *G. microdon.*, es $y = 5.22 - 6 \times FC$, es decir, cada unidad del FC, está asociado a una disminución de 6 MPS.

Tabla II.

Resumen de los principales estadísticos de la regresión y correlación de Kendall para el factor de condición, longitud total, peso y MPS de las especies con mayor a 10 MPS.

Especie	Factor de condición (g/cm ³)						LT en cm						Peso (g)					
	Regresión				Correlación		Regresión				Correlación		Regresión				Correlación	
	α	β	R^2	p	Tau	p	α	β	R^2	p	Tau	p	α	β	R^2	p	Tau	p
<i>A. aeneus</i>	2.81	0.04	0.003	0.85	0.39	0.1	0.77	0.27	0.006	0.8	0.01	0.94	2.78	0.01	0.005	0.82	0.36	0.13
<i>C. nigrescens</i>	-14.83	22.2	0.63	0.06	0.6	0.11	-1.2	0.16	0.36	0.2	0.43	0.26	0.31	0.02	0.52	0.1	0.6	0.11
<i>C. robalito</i>	-3.13	6.64	0.15	0.14	0.19	0.34	1.12	0.08	0.05	0.37	0.03	0.88	1.67	0.02	0.09	0.24	0.05	0.8
<i>D. latifrons</i>	2.08	-0.3	0.006	0.47	-0.1	0.22	1.4	0.01	0.001	0.68	-0.03	0.73	1.47	0	0.01	0.35	-0.04	0.59
<i>G. maculatus</i>	4.85	-2.9	0.03	0.58	-0.12	0.6	6.62	-0.3	0.15	0.2	-0.23	0.3	3.42	-0.1	0.13	0.23	-0.28	0.21
<i>G. microdon.</i>	5.22	-6	0.13	0.1	-0.41	0.01	-2	0.34	0.05	0.29	0.19	0.25	2.7	-0	0.001	0.85	-0.13	0.43
<i>L. gracilis</i>	-3.18	11.2	0.36	0.28	0.44	0.3	11.4	-0.6	0.48	0.2	-0.45	0.3	6.91	-0.2	0.46	0.21	-0.67	0.12
<i>M. curema</i>	0.64	2.02	0.01	0.24	0.06	0.34	1.42	0.08	0.01	0.29	0.08	0.23	2.26	0.01	0.009	0.3	0.08	0.23

Nota. Coeficientes de la regresión (alpha, beta, coeficiente de determinación R^2 y p valor).

El Factor de Condición (FC) en relación al número de MPS por hábitat de tipo demersal, está mejor representada en algunas especies debido a la cantidad que fueron colectados, especialmente en las especies *D. latifrons*, *G. microdon*, *G. maculatus*, *C. nigrescens* *C. robalito*. Es importante notar que únicamente en *G. microdon*, se puede observar una relación negativa entre el número de MPS y el factor de condición, mientras que similar resultado puede apreciarse para *G. maculatus* (Figura 1). Para este análisis se escogieron las especies con mayor a diez peces en las que se registraron MPS.

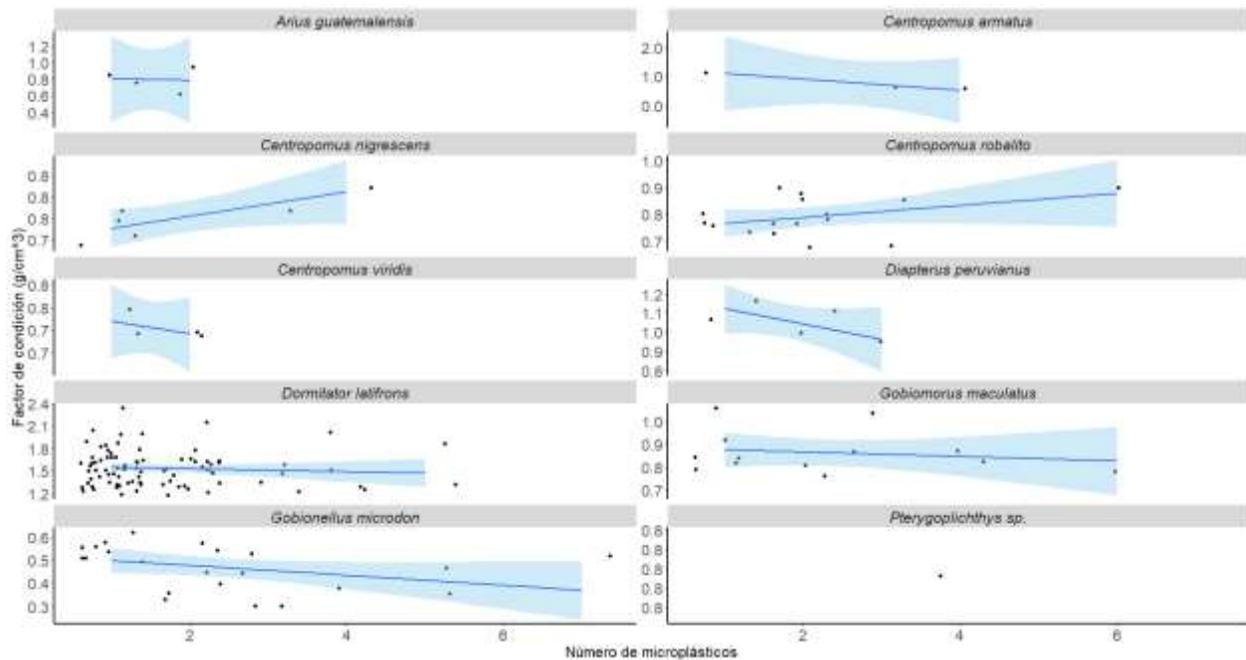


Figura 1. Relación entre el número de microplásticos y el factor de condición de las especies de la RNUMM agrupadas en el hábitat demersal, con los intervalos de confianza al 95% en sombra celeste.

Dado que el FC está en función de la LT y el peso, las relaciones pueden expresarse de forma similar, más no igual (Figura 2). Nuevamente en la Figura 2, se presentan los MPS en relación al peso (g) de los peces agrupados por especie. La relación entre las variables expresadas en los gráficos es más evidentes en las especies *C. robalito*, *D. latifrons*, *G. microdon*., *G. maculatus*.

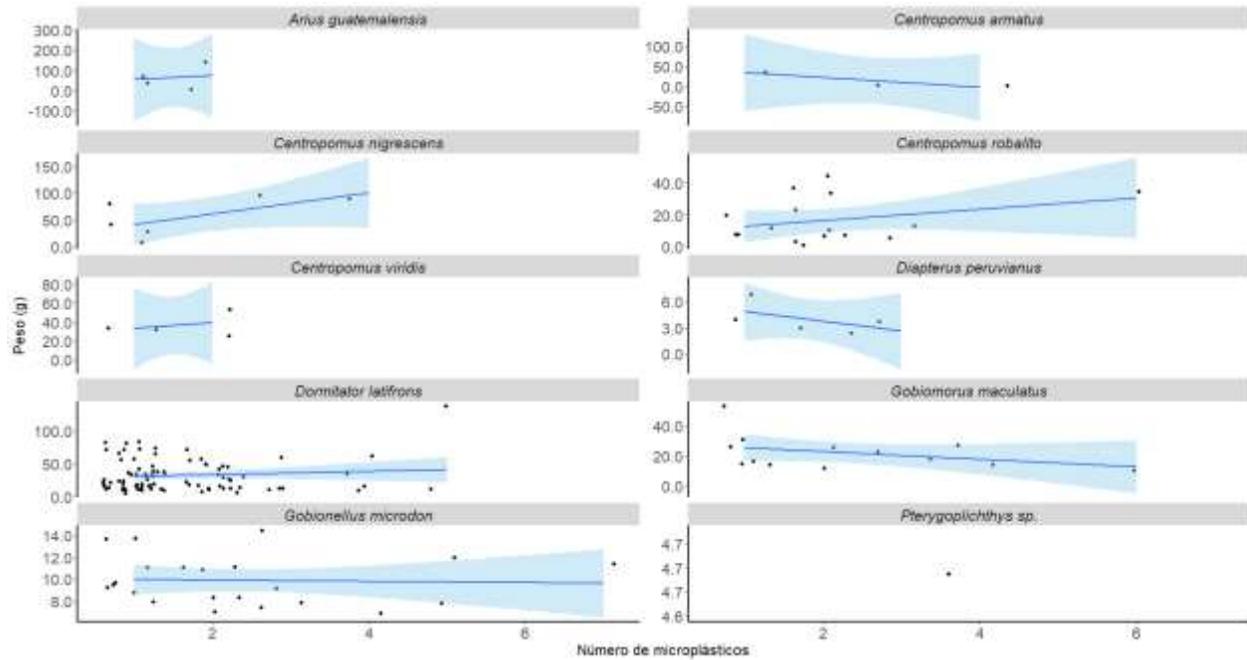


Figura 2. Relación del número de microplásticos y el peso de los peces, agrupados por hábitat de tipo demersal en la RNUMM.

Finalmente, la Figura 3, muestra la relación de la LT con el número de MPS registrados. *G. microdon.*, presenta una relación positiva entre el número de MPS y la LT, mientras que *G. maculatus* una relación negativa, a menor LT, menor número de MPS.

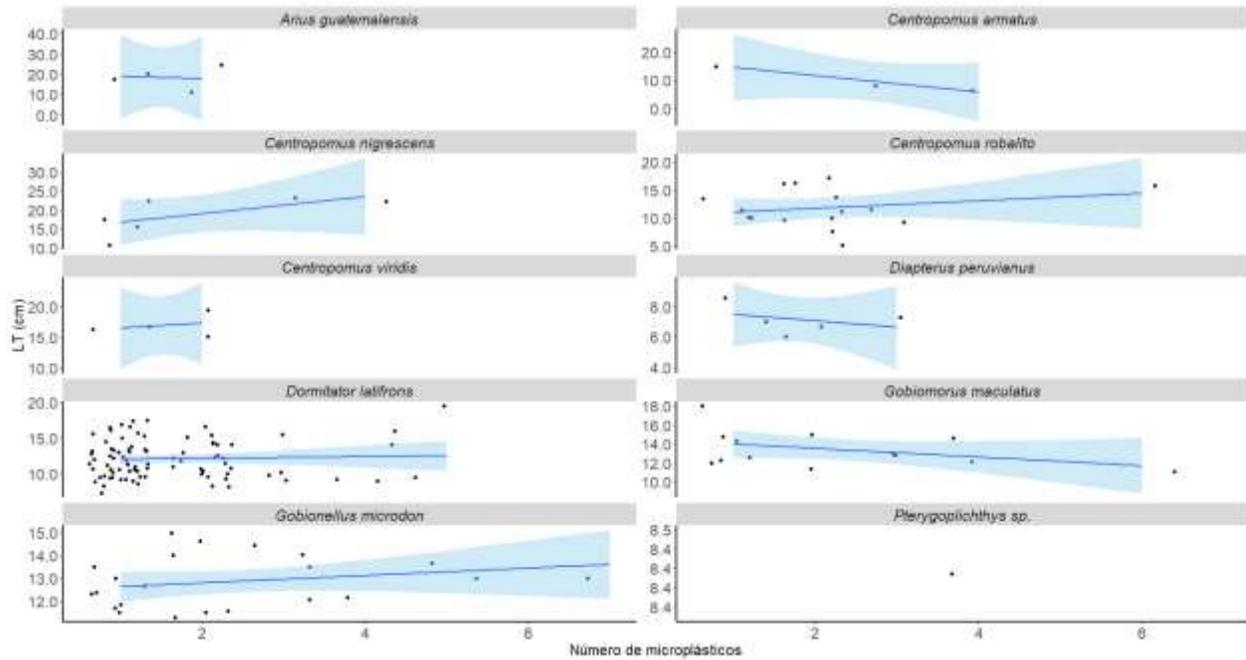


Figura 3. Relación del número de microplásticos y la longitud de los peces, agrupados por hábitat de tipo demersal en la RNUMM.

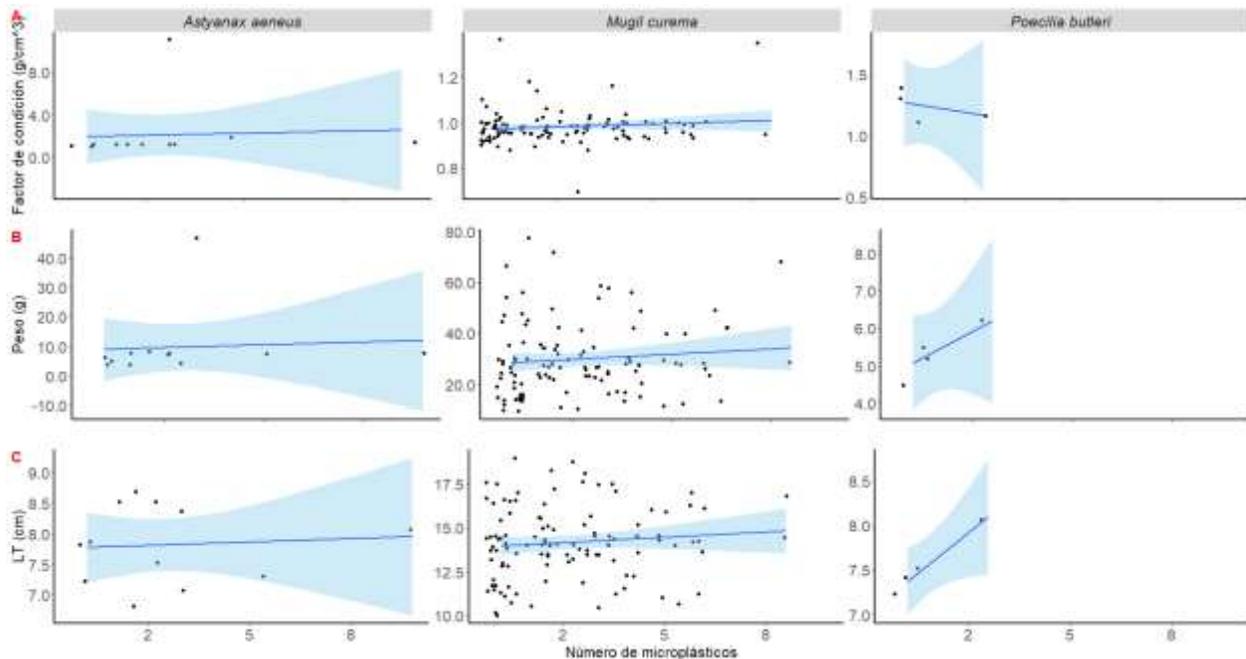


Figura 4. Relación entre el número de microplásticos y el factor de condición (A), peso (B) y longitud total (C) en las especies agrupadas por hábitat de tipo bento-pelágico.

Los peces agrupados en el tipo de hábitat bento-pelágico corresponden a tres especies. De ellas, *M. curema* fue en la que mayor proporción de MPS se registró, seguido de *A. aeneus* y, finalmente, *P. butleri* (Figura 4).

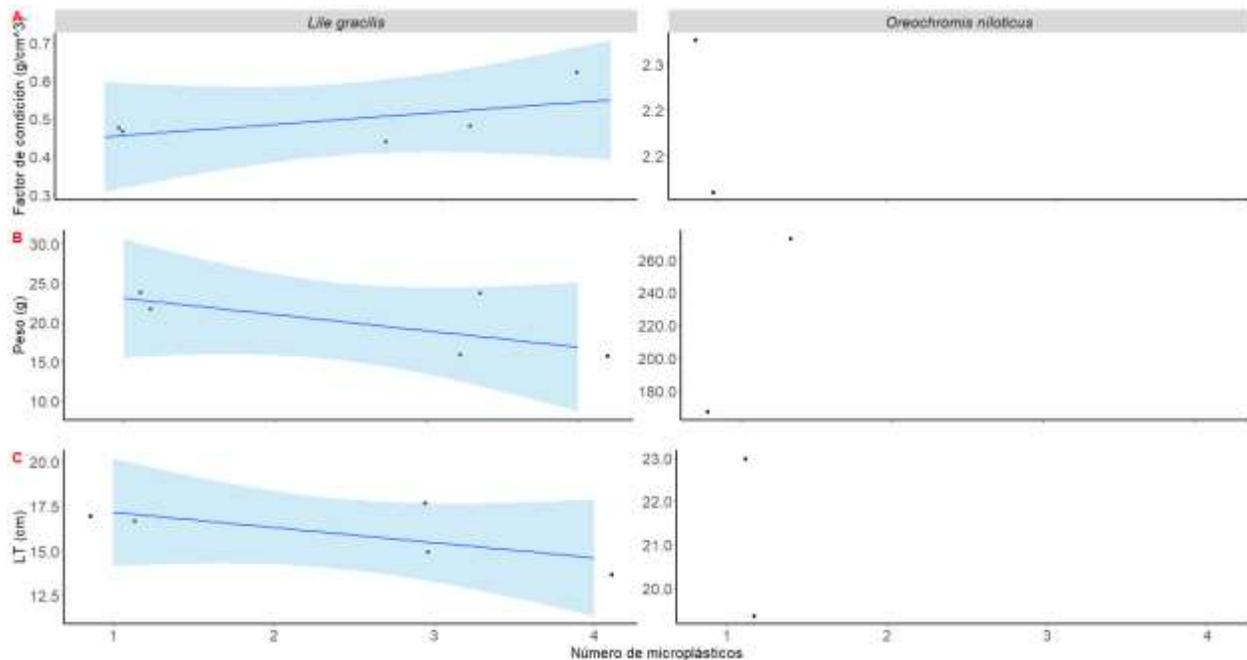


Figura 5. Relación entre el número de microplásticos y el factor de condición (A), peso (B) y longitud total (C) en las especies agrupadas por hábitat de tipo pelágico.

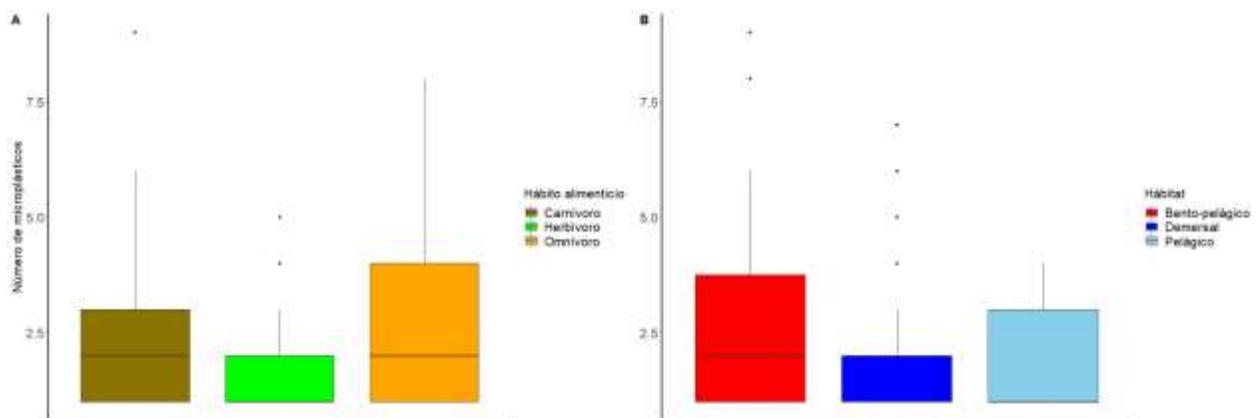


Figura 6. Distribución de microplásticos respecto al hábito alimenticio (A) y el hábitat (B) de los peces.

En la clasificación de los MPS por forma, aquellas clasificadas como fibras representan 82.30%, seguido de los fragmentos con 12.11% y las láminas 5.59%. Respecto al color, el azul fue el predominante con 57.76%, seguido del rojo 18.32%, transparente y negro con 9.16% y 8.07%, respectivamente. La menor proporción de colores corresponde a blanco, verde y amarillo con 3.42%, 2.64% y 0.62%, respectivamente (Figura 7).

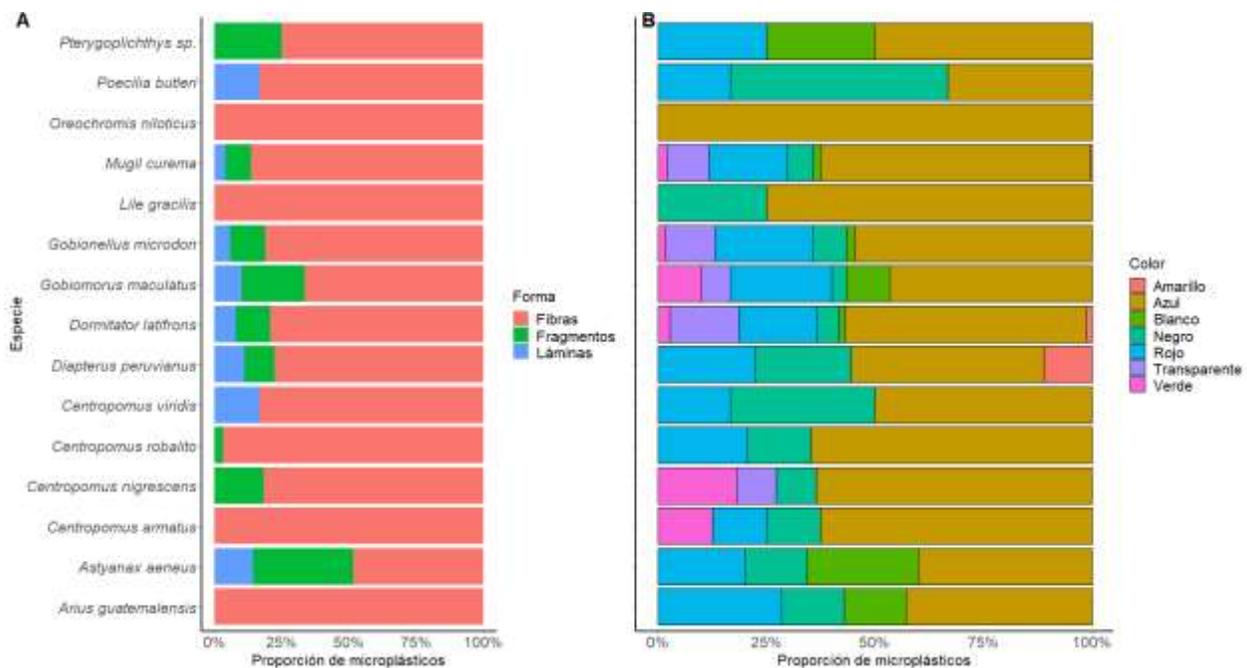


Figura 7. Proporción de microplásticos en forma (A) y color (B) por especie en la RNUMM.

15.2 Resultados de microplásticos en sedimentos

Durante los meses de julio, agosto y diciembre de 2020, fueron colectadas muestras de sedimentos en seis puntos dentro de la RNUMM. El sedimento húmedo total (121.81 kg) fue previamente pesado, posteriormente el peso seco total (31.46 kg) fue nuevamente pesado encontrando una ratio de 0.26 entre la masa húmeda y la seca. La distribución de peso de sedimento seco (SS) por punto fue la siguiente: Agua Dulce, 5.67 kg; La Avellana, 4.83 kg; Monterrico, 5.25 kg; Puente Grande, 6.18 kg; El Pumpo, 5.29 kg; Rama Verde, 4.25 kg.

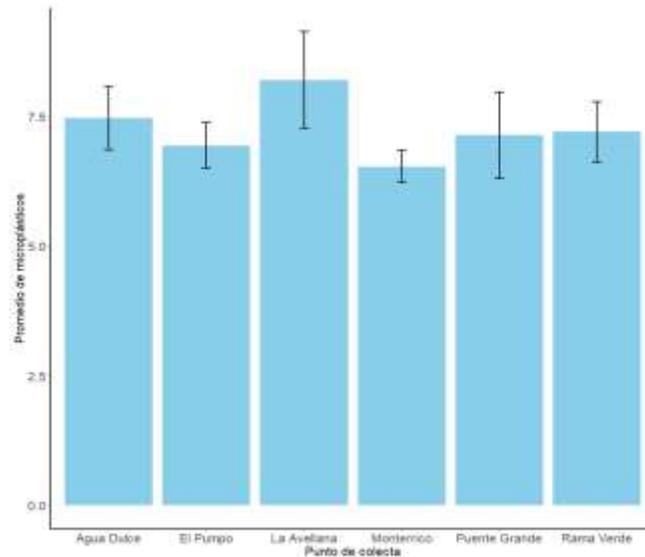


Figura 8. Promedio de microplásticos y barras de error respecto a cada Punto de colecta AD, Agua Dulce; LA, La Avellana; MT, Monterrico; PG, Puente Grande; PM, El Pungo y RV, Rama Verde en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.

En total fueron aislados 652 MPS en los seis puntos de colecta. La abundancia de MPS en La Avellana y Rama Verde fue de 25.48 y 25.41 MPS/kg, respectivamente, mientras que en Agua Dulce y Puente grande se reporta 14.12 y 17.32 MPS/kg. Respecto a los MPS por punto de colecta, no se encontraron diferencias significativas (KW, $n = 90$, $p > .05$). Sin embargo, la mayor cantidad de MPS fue registrada en La Avellana (123), seguido de Rama Verde y Puente Grande (108 y 107, respectivamente), y finalmente la menor cantidad fue reportada en Agua Dulce.

Tabla III

Promedio y desviación estándar del peso seco de sedimentos en kg (PSPS), promedio de microplásticos (PMPS), Peso seco (PS), total de microplásticos (Total MPS) y abundancia de microplásticos en los puntos de colecta (PC) dentro la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.

PM	PSPS (kg)	PMPS	Peso seco (kg)	Total MPS	Abundancia (MPS/kg)
Agua Dulce	0.38 (0.14)	7.47 ^a (6.09)	5.67	112	19.77
La Avellana	0.35 (0.18)	6.93 ^a (4.40)	4.83	123	25.48
Monterrico	0.32 (0.11)	8.20 ^a (9.36)	5.25	98	18.66
Puente Grande	0.35 (0.09)	6.53 ^a (3.09)	6.18	107	17.32
El Pumpo	0.41 (0.20)	7.13 ^a (8.31)	5.29	104	19.65
Rama Verde	0.28 (0.11)	7.20 ^a (5.81)	4.25	108	25.41

Nota. Letras comunes indican que no hay diferencias significativas entre grupos (KW, $p > .05$).

Respecto al tamaño de los MPS colectados en los seis puntos de la RNUMM, se clasificaron dos tamaños, i) menores a 1 mm y ii) mayores a 1 mm (Figura 9). La mayor cantidad de MPS < 1 mm fue registrado en Puente Grande (59), seguido de Rama Verde (54), Monterrico (53) y Agua Dulce (53), mientras que para La Avellana 45, y El Pumpo 44. Sin embargo, los MPS > 1 mm cambian en relación a la proporción de aquellos < 1 mm, siendo La Avellana el punto con mayor MPS en ese tamaño (78), seguido de El Pumpo (60) y Agua Dulce (59), mientras que en Rama Verde se registraron 54, Puente Grande 48 y Monterrico 45.

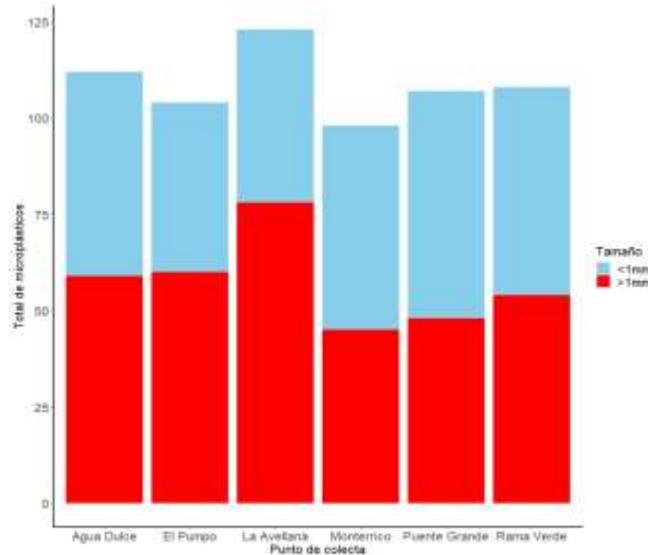


Figura 9. Tamaño de microplásticos menores y mayores a 1 mm registrados en los seis puntos de colecta dentro de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.

La Figura 10, muestra la variabilidad en la cantidad de MPS aislados y registrados de sedimento del sistema estuarino de la RNUMM. La Avellana, Puente Grande y Rama Verde presenta la mayor variabilidad, mientras que en el caso de Agua Dulce y Monterrico la variabilidad es menor. Datos atípicos se aprecian en cuatro puntos de colecta, indicando que hay valores de MPS superiores al rango intercuartilico de la distribución de MPS por cada punto de colecta.

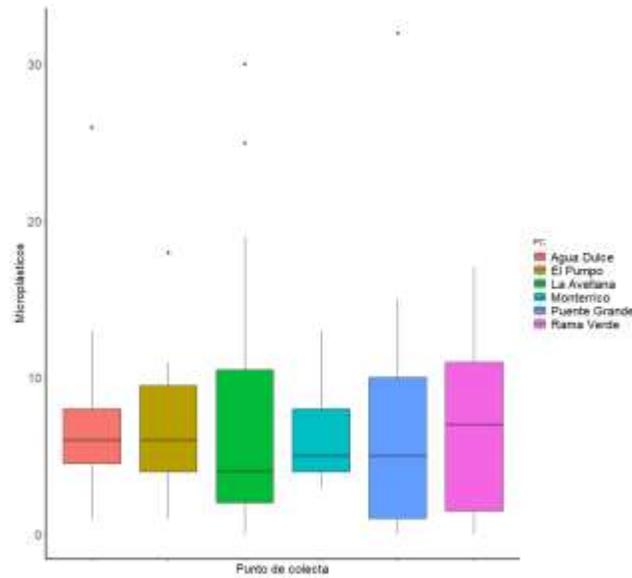


Figura 10. Gráfico de caja y bigotes para la distribución de microplásticos en los puntos de colecta en la RNUMM.

Las formas encontradas de MPS en sedimentos fueron similares a las de peces. Las fibras representan el 73.77% del total, mientras láminas el 25.46%. Las formas con menor ocurrencia son el tipo de partículas clasificadas como “otros” (en este estudio reportamos caucho y esponjas) y fragmentos en 0.46% y 0.31%, respectivamente. Respecto a los colores (Apéndice 6), el azul representa el 27% del total, seguido del blanco 22.4% y negro 15.6%. Los colores con menor frecuencia fueron el morado con 1.7% y el café, 0.3% (ver Tabla IV).

Tabla IV.

Distribución de formas de microplásticos y colores registrados en sedimento de seis puntos de colecta (PC) de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.

PC	Forma de microplástico	Neg	Gris	Blan	Trans	Az	Ver	Ama	Rojo	Mor	Café	Subtotal
PG	Fibras	16	4	1	26	24	3	4	12	2	0	92
	Láminas	1	1	6	2	2	2	0	0	0	0	14
	Fragmento	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	Otros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LA	Fibras	10	1	11	7	24	5	2	10	0	1	71
	Láminas	2	1	35	2	4	1	0	5	1	0	51
	Fragmento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Otros	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
PM	Fibras	16	0	11	8	19	2	1	4	0	0	61
	Láminas	3	3	25	4	3	1	0	3	0	0	42
	Fragmento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Otros	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
MT	Fibras	16	0	7	13	25	6	4	6	0	0	77
	Láminas	1	0	14	3	1	1	0	1	0	0	21
	Fragmento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Otros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RV	Fibras	22	1	8	7	39	2	1	9	2	1	92
	Láminas	0	1	8	1	3	0	0	1	0	0	14
	Fragmento	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	Otros	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
AD	Fibras	14	0	7	14	28	3	6	10	6	0	88
	Láminas	0	1	12	3	4	1	2	1	0	0	24
	Fragmento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Otros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		102	13	146	90	176	27	21	62	11	2	652

Nota. Neg, negro; Blan, blanco; Trans, transparente; Az, azul; Ver, verde; Ama, amarillo; Mor, morado; PG, Puente Grande; LA, La Avellana; PM, El Pumpo; MT, Monterrico, AD, Agua Dulce; RV, Rama Verde.

15.3 Espectros de fragmentos de plásticos colectados en sedimentos.

Se escogieron aleatoriamente 30 partículas de MPS mayores a 1 mm. De ellas, 8 espectros fueron obtenidos a través de un ATR-FTIR (Cary 660, agilent). Los picos de transmitancia (%) para el caso de la Figura 11, son 2919, 2850, 1469 y 717. El espectro es similar en las 8 partículas analizadas (ver Apéndice 8).

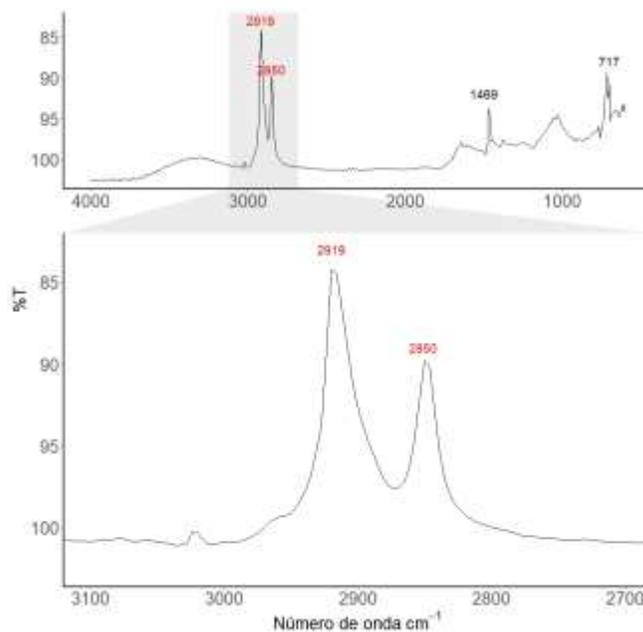


Figura 11. Número de onda y porcentaje de transmitancia (%T) de una partícula de plástico colectada en sedimentos dentro de la RNUMM.

15.4 Control de calidad en sedimentos y peces.

Los resultados del control de calidad en ambas metodologías (peces y sedimentos) se registraron tomando en cuenta que durante el procedimiento puede darse la contaminación cruzada debido a que los laboratorios no siempre son aislados. En el procedimiento de sedimentos, 40 partículas de MPS (6.13%) fueron encontradas, pero con menor tamaño respecto a las aisladas de los

sedimentos. Respecto a los colores, el negro fue el que en mayor proporción fue registrado (40%), seguido del azul (25%). El color menos frecuente fue el verde (7.5%). En el caso de peces, ninguna fibra o material sintético fue encontrado.

16. Análisis y discusión de resultados

Los MPS son un tipo de contaminante emergente que tomó la atención de la comunidad científica por el año 2004 con lo publicado por Richard Thompson de la Universidad de Plymouth (Thompson et al., 2009). A partir de ese momento, el número de estudios relacionados a este contaminante ha crecido drásticamente en los últimos años (de Sá et al., 2018). Los MPS se están reportando casi en todos los ambientes naturales, incluso los más remotos donde se creía que la actividad humana era casi inexistente (Waller et al., 2017). Sin embargo, las fuentes de MPS son tan variadas como las formas que están siendo reportadas, y se conoce que están siendo transportadas por ríos desde la parte continental hasta el mar (Emmerik & Schwarz, 2020), luego en los océanos a través de las corrientes (Auta, Emenike, & Fauziah, 2017). Una vez en los ecosistemas, los MPS se están acumulando e interactuando con la biota e incluso con el ser humano (Barnes et al., 2009; Li, Liu, & Chen, 2018b).

16.2 Microplásticos en peces

En este estudio se reportan microplásticos en 295 peces de 624 colectados, con una frecuencia de ocurrencia global de 47.28%, y en 15 de las 16 especies examinadas (93.75%). Un total de 644 MPS fueron colectados, clasificados en tres formas principales: fibras, fragmentos y láminas. En otros estudios similares Andrade y colaboradores (2019) en el río Amazonas, encontraron una FO de 26.7% (46/96) en los peces examinados, una FO total de 81.3% (13/16) en las especies que habían consumido MPS, mientras que Pegado y colaboradores (2018) reportan en el estuario del río Amazonas que 13.7% (26/189) de los peces había consumido MPS que representan al 30.4% de las especies identificadas (14/46).

Pocos estudios han abordado la contaminación de MPS desde el punto de vista del hábitat y tipo de alimentación de los peces. Los peces agrupados en el hábito alimenticio de tipo omnívoro fueron los que mayor proporción de MPS registraron (53.9%), mientras que entre los herbívoros (24.5%) y carnívoros (21.6%) la proporción es similar. Similares resultados reporta Mizraji y

colaboradores (2017) en un estudio llevado a cabo en Chile, donde los peces omnívoros presentaron la mayor proporción de MPS respecto a los carnívoros y herbívoros. Esta característica puede deberse a la alta gama de alimentos que un pez omnívoro consume como por ejemplo materia vegetal que puede retener microplásticos en los ambientes acuáticos, y que en el sistema estuarino del canal Chiquimulilla es abundante. Otra particularidad puede deberse a que son menos selectivos que los carnívoros y herbívoros, por lo que es muy probable que esos MPS estén siendo ingeridos de forma intencional, o bien, accidental.

Respecto al hábitat, el 51.1% de los MPS fueron encontrados en peces bento-pelágicos, 46.7% en demersales y 2.2% en pelágicos. Estos resultados contrastan con lo encontrado por Jabeen y colaboradores (2017), quienes reportan mayor abundancia en peces demersales, y similar abundancia en pelágicos y bento-pelágicos. Sin embargo, Lusher y colaboradores (2013), no encontraron diferencias en la abundancia de peces demersales y pelágicas. El hábitat de los peces es importante para el estudio de los MPS, principalmente porque está asociado al tipo de hábito alimenticio, como en el caso del grupo de los demersales que están representados por *D. latifrons* cuyo hábito es de tipo omnívoro-detritívoro (Robertson & Allen, 2015) y que los MPS presentes en el fondo probablemente estén acumulándose por el *biofouling* que se forma sobre ellos, o bien, por la densidad de las partículas plásticas en el ambiente. En el caso de los bento-pelágicos, representados por *M. curema*, que presenta un hábito alimenticio omnívoro, tiene alta plasticidad en el consumo de alimentos incluyendo los de tipo vegetal y animal, y presas de peces pelágicos que estarían integrando MPS a la cadena trófica.

Tres asociaciones fueron analizadas en este proyecto, i) MPS y el FC, ii) MPS y el peso, y iii) MPS y la LT de los peces. Mizraji y colaboradores (2017) también analizaron el FC y el número de MPS por especie, encontrando una relación negativa, es decir, mientras aumenta el número de MPS el FC disminuye. Sin embargo, en este estudio únicamente en *G. microdon.*, se encontró una correlación negativa entre el FC y el número de MPS ($Tau = -0.41, p < .05$), pero no para el caso del peso y la LT. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Foekema y colaboradores (2013), quienes estudiaron seis especies y únicamente en una especie fue apreciable la disminución del FC en relación al número de MPS, mientras que Morgana y colaboradores (2018), no encontraron diferencias entre el FC y los peces con MPS, y entre los que no presentaron FC. Estos resultados son importantes ya que no hay evidencia hasta el

momento que permita confirmar que los MPS estén afectando el FC de los peces. Por otro lado, en organismos con tallas pequeñas es difícil observar el efecto de los MPS en el FC (Morgana et al. 2018), pero debe ahondarse más sobre cómo están afectando ya sea bloqueando el proceso intestinal o causando una falsa saciedad. Cabe mencionar que el FC es un índice que no sólo indica la condición de un animal, sino también que está en relación al peso y la LT, por tanto, información sobre la forma es necesario para hacer un análisis acorde a estas variables.

Las formas de los microplásticos han sido clasificados por varios investigadores para homologar los resultados de investigaciones (Hidalgo-Ruz et al. 2012; Kumar, Ravikumar, & Jeyasanta, 2018). Tres formas de MPS fueron registradas en este estudio: fibras, fragmentos y láminas. En total, las fibras representan el 82.30%, fragmentos 12.11% y láminas 5.59%. A pesar de que los colores son objeto de discusión debido a la subjetividad, en este estudio registramos siete colores, donde el azul fue el más abundante con 57.76%, mientras el amarillo fue el que menor proporción representa de todos (Figura 7). Parte de los MPS vienen de plásticos mayores como botellas, empaques, ropa o bolsas que se han degradado por factores físicos o mecánicos (Zhang et al., 2021). En otros estudios donde se reportan las formas de los microplásticos, coinciden los resultados con los mostrados en este estudio, Garcés-Ordóñez y colaboradores (2020) indican que la forma predominante fueron las fibras (55%), fragmentos (23%) y láminas (19%), y respecto a los colores el azul fue el más representativo (36%). Asimismo, Jabeen y colaboradores (2017) reportan que las fibras fueron las formas predominantes en las especies estudiadas, seguida de fragmentos; respecto a los colores, en contraste, el color transparente y blanco fueron los predominantes, pero también se reportan otros siete colores incluidos el azul. Los depredadores podrían estar confundiéndolos con presas, como en el caso de *Decapterus muroadsi* (Carangidae) que ingirió partículas azules cuyas propiedades visuales son similares a su principal presa, los copépodos (Ory et al., 2017), o en juveniles de hábitos planctívoros que podrían estar confundiendo el negro con la presa (Ory et al., 2018).

16.2 Microplásticos en sedimentos

Este estudio es el primero en reportar la contaminación por MPS en sedimentos dentro de la RNUMM. Durante muchos años, la RNUMM ha sido un lugar emblemático para Guatemala, principalmente por la flora, fauna y el complejo de humedales que en ella se pueden encontrar. Sin embargo, la RNUMM no es un sitio aislado, sino más bien alrededor de ella existen varias

comunidades y la actividad turística que se genera por sus características paisajísticas, han generado impacto, principalmente de tipo antropogénico. Sigüenza y colaboradores (1999) describen las características de la RNUMM a través del Plan Maestro que ha sido la base de información para nuevos estudios. Sin embargo, otros de tipo científico se han desarrollado para evaluar la diversidad biológica, como el desarrollado por García-Fuentes y colaboradores (2014) donde describen la vegetación en el lugar. Por otra parte, la RNUMM ha sido ampliamente objeto de estudio debido a la constante presión de las comunidades alrededor de ella y de ésta sobre los recursos biológicos (pesqueros, maderables como el mangle, aves y otra fauna silvestre), lo que implica el análisis integral de la gobernabilidad en la zona, lo cual fue abordado por González-Bernat y Clifton (2019), quienes resaltan la necesidad de una gobernanza efectiva para evitar la degradación del área protegida.

En base a lo anterior, es importante resaltar los resultados de esta investigación, dado que uno de los tipos de contaminantes emergentes son los MPS. En este estudio reportamos la primera cuantificación de MPS en sedimentos de seis lugares del sistema estuarino dentro de la RNUMM (Tabla III). La abundancia fue mayor en La Avellana y Rama Verde con 25.48 y 25.41 MPS/kg, de sedimento seco (s.s.), mientras que la menor abundancia fue registrada en Puente Grande y Monterrico con 17.32 y 18.66 MPS/kg s.s., respectivamente. La Avellana es el punto de embarque y desembarque de vehículos que atraviesan el Canal de Chiquimulilla para llegar a Monterrico, o bien, para salir del lugar. Puente Grande es en cambio uno de los lugares dentro de la RNUMM más aislado, pero con influencia de ríos que recorren la parte alta del departamento de Santa Rosa hasta encontrarse con el sistema estuarino. Similares resultados reporta Li y colaboradores (2018a) en un estudio llevado a cabo en China, donde la abundancia en sedimentos van desde 15 a 80 MPS/kg s.s.; respecto a los resultados, el intervalo superior de lo que reportan estos autores es tres veces mayor a lo encontrado en este estudio, cuya diferencia básicamente está asociada a las diferencias de población asociadas al ecosistema manglar en ambos países.

La acumulación de MPS en los estuarios representa potenciales riesgos para la biota que vive en diferentes ambientes. La densidad y forma de los MPS no son los únicos factores que contribuyen a la rapidez con que se hunden, sino también el *biofouling* que se incrusta en ellos haciéndolos más pesados y depositándose en el fondo (Kowalski, Reichardt, & Waniek, 2016). El sistema

estuarino dentro de la RNUMM ha sido por años un lugar importante para actividades pesqueras y el transporte de mercaderías. Estas actividades probablemente han dejado su huella en los ambientes, similar a lo que reporta Li y colaboradores (2020) en el sureste de China, donde es evidente la influencia que tienen las actividades antropogénicas en la cantidad de MPS en sedimentos de manglar. Fibras han sido reportadas como las formas más abundantes, pero también otras formas como láminas y fragmentos. Respecto a los colores, el blanco, transparente, rojo, azul y negro aparecen frecuentemente como los más comunes (Deng et al., 2021).

16.3 Identificación química de microplásticos en sedimentos

La basura plástica que se consume habitualmente en los ecosistemas se acumula debido a la debilidad en el manejo, tanto por la población como las actividades industriales o comerciales (Dauvergne, 2018). Una vez el plástico llega a los ecosistemas, los procesos físicos (como la radiación solar por ejemplo) y los mecánicos (ruptura por acciones humanas o con otros objetos) actúan degradándolo a pequeñas partículas, los MPS. Estos pueden permanecer muchos años en los ambientes naturales, lo cual vuelve indispensable su identificación a nivel molecular. En este trabajo, se usó el ATR-FTIR (Cary 660, agilent) para el registro del polímero.

Polietileno, polipropileno y poliestireno fueron reportados recientemente en un estudio llevado a cabo en una playa del Caribe de Guatemala (Mazariegos-Ortíz et al., 2020). Estos materiales son frecuentes en la fabricación de materiales plásticos como botellas o utensilios de un solo uso. En las comunidades alrededor de la RNUMM, es frecuente observar el consumo de bolsas plásticas de un solo uso que luego son descartadas sin ningún tipo de tratamiento. Dado que son livianas, el viento y las corrientes pueden arrastrarlas; luego se degradan y se acumulan en los sedimentos de fondo. En este estudio, reportamos polietileno en las ocho partículas a las que se les realizó el análisis de espectroscopia, coincidiendo con la problemática que se registra en otros estuarios a nivel global, representando un riesgo para aquellos organismos que se alimentan cerca del fondo (Alves & Figueiredo, 2019).

17. Conclusiones

El objetivo de esta investigación fue evaluar la contaminación por microplásticos en peces y sedimentos en la RNUMM. Las conclusiones se detallan a continuación.

17.1 Conclusión objetivo específico 1

Se registraron 644 partículas de MPS en el 47.28% de los peces evaluados y en 15 de las 16 especies identificadas. La cantidad de partículas de MPS responde al tamaño de la muestra de este estudio. Sin embargo, la presencia de MPS en el tracto intestinal de las especies podría ser un indicativo del estado de contaminación de los distintos hábitats de los peces dentro de la RNUMM. Además, se identificó que en los peces con hábitos omnívoros la presencia es mayor respecto a los carnívoros y herbívoros.

17.2 Conclusión objetivo específico 2

La abundancia promedio de microplásticos en peces fue de 1 a 4 partículas por espécimen. La forma predominante tanto en sedimentos como en peces fueron las fibras, luego los fragmentos y finalmente las láminas. Siete colores fueron registrados, siendo el azul el más abundante, seguido del rojo. La abundancia de microplásticos en sedimentos no difiere entre los puntos de colecta establecidos ($p > .05$). Los MPS en sedimentos podrían hundirse debido al *biofouling* que se forma en ellos, aumentando su densidad que influye en el proceso de sedimentación. Por otro lado, podrían también estar influenciado por la densidad de los MPS, como por ejemplo aquellas provenientes de artes de pesca.

17.3 Conclusión objetivo específico 3

De los MPS que se analizaron a través del ATR-FTIR, se identificó un mismo polímero en ocho partículas, clasificadas como láminas y filamentos. La transmitancia (%) y el número de onda (cm^{-1}) indican que las partículas son de polietileno. Este resultado concuerda con el uso de bolsas plásticas que se usan comúnmente en las actividades de los poblados alrededor de la RNUMM.

18. Impacto esperado

Este estudio aporta por primera vez información relacionada a los microplásticos como un contaminante emergente reportado en casi todos los ecosistemas a nivel global. Estos resultados son importantes no solo por el hecho de generar información científica, sino también para que sea utilizada por tomadores de decisiones con el objetivo de abordar profundamente el tema de la basura y su manejo en el país. Guatemala adoptó los objetivos de desarrollo sostenible, por tanto, deberá informar el estado actual de los recursos marino costeros en relación al objetivo 14 y

metas 14.1.b. y es aquí donde estos resultados podrán ser útiles. Es también importante resaltar el cofinanciamiento de esta investigación, ya que posiciona a la Universidad de San Carlos y la visibiliza a nivel regional y global con las publicaciones que de estos datos se obtengan.

Por otro lado, la información generada desde la planificación, trabajo en campo, registro de datos, tabulación, análisis e interpretación no sólo le sirven al investigador para entregar los productos, sino también a los investigadores que están empezando su carrera como tal y que desean profundizar en otros temas. Pero, además esta información debe utilizarse en los procesos de enseñanza-aprendizaje en las clases que imparten los profesores-investigadores de la Universidad de San Carlos de Guatemala dado que el conocimiento no es tácito.

Finalmente, esta investigación no debe quedarse como un informe o publicaciones, debe hacerse un esfuerzo adicional por compartir la información a niveles más altos en los tomadores de decisiones para que comprendan que las actividades antropogénicas tienen un impacto en los ecosistemas, y que mientras mejor valoremos los recursos naturales, menor será la probabilidad de tener otra pandemia en el futuro.

19. Referencias

- Alves, V. E. N., & Figueiredo, G. M. (2019). Microplastic in the sediments of a highly eutrophic tropical estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 326-335.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.042>
- Andrade, M. C., Winemiller, K. O., Barbosa, P. S., Fortunati, A., Chelazzi, D., Cincinelli, A., & Giarrizzo, T. (2019). First account of plastic pollution impacting freshwater fishes in the Amazon: Ingestion of plastic debris by piranhas and other serrasalmids with diverse feeding habits. *Environmental Pollution*, 244, 766-773.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.088>
- Auta, H. S., Emenike, C. U., & Fauziah, S. H. (2017). Distribution and importance of microplastics in the marine environment A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, 102, 175-172.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.02.013>

- Barboza, L. G. A., & Gimenez, B. C. G. (2015). Microplastics in the marine environment: Current trends and future perspectives. *Marine Pollution Bulletin*, 97(1), 5-12.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.06.008>
- Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1526), 1985-1998.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588-2597.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Dauvergne, P. (2018). Why is the global governance of plastic failing the oceans? *Global Environmental Change*, 51, 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.05.002>
- de Carvalho, D. G., & Baptista Neto, J. A. (2016). Microplastic pollution of the beaches of Guanabara Bay, Southeast Brazil. *Ocean and Coastal Management*, 128, 10-17.
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.04.009>
- de Sá, L. C., Oliveira, M., Ribeiro, F., Rocha, T. L., & Fetter, M. N. (2018). Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: What do we know and where should we focus our efforts in the future? *Science of the Total Environment*, 645, 1029-1039.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.207>
- Deng, H., He, J., Feng, D., Zhao, Y., Sun, W., Yu, H., & Ge, C. (2021). Microplastics pollution in mangrove ecosystems: A critical review of current knowledge and future directions. *Science of the Total Environment*, 753, 142041.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142041>
- Emmerik, T., & Schwarz, A. (2020). Plastic debris in rivers. *WIREs Water*, 7(1) 1-24.
<https://doi.org/10.1002/wat2.1398>
- Foekema, E. M., De Gruijter, C., Mergia, M. T., Van Franeker, J. A., Murk, A. J., & Koelmans, A. A. (2013). Plastic in north sea fish. *Environmental Science and Technology*, 47(15), 8818–8824. <https://doi.org/10.1021/es400931b>
- Froese, R., Pauly, D. (Eds). (2020). *FishBase*. World Wide Web Electronic Publication. Disponible en: www.fishbase.org

- Garcés-Ordóñez, O., Castillo-Olaya, V. A., Granados-Briceño, A. F., Blandón García, L. M., & Espinosa Díaz, L. F. (2019). Marine litter and microplastic pollution on mangrove soils of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, *145*, 455-462. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.058>
- Garcés-Ordóñez, O., Mejía-Esquivia, K. A., Sierra-Labastidas, T., Patiño, A., Blandón, L. M., & Espinosa Díaz, L. F. (2020). Prevalence of microplastic contamination in the digestive tract of fishes from mangrove ecosystem in Cispata, Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, *154*, 111085. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111085>
- García-Fuentes, A., Castillo-Cabrera, F. J., Dávila-Pérez, C. V., Morales, A. S., Salazar-Mendías, C., Lendínez-Barriga, M. L., ... Ruiz-Valenzuela, L. (2014). Study of the vegetation in the Multiple Use Natural Reserve of Monterrico (Guatemala). *Plant Biosystems*, *148*(6), 1064-1074. <https://doi.org/10.1080/11263504.2013.826295>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, *3*(7), 1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- González-Bernat, M. J., & Clifton, J. (2019). A governance analysis of two marine protected areas in the Pacific Region of Guatemala: The Multiple Use Area of Monterrico and the Private Reserve La Chorrera-Manchón Guamuchal. *Marine Policy*, 103625. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103625>
- 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 and Technology*, *46*(6), 3060-3075. <https://doi.org/10.1021/es2031505>
- Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C., Mu, J., & Shi, H. (2017). Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environmental Pollution*, *221*, 141-149. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.055>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., ... Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, *347*(6223), 768-771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Jung, M. R., Horgen, F. D., Orski, S. V., Rodriguez C., V., Beers, K. L., Balazs, G. H., ... Lynch, J. M. (2018). Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris,

- including those ingested by marine organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 704-726.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.061>
- Karami, A., Golieskardi, A., Keong Choo, C., Larat, V., Galloway, T. S., & Salamatinia, B. (2017). The presence of microplastics in commercial salts from different countries. *Scientific Reports*, 7(1), 46173. <https://doi.org/10.1038/srep46173>
- Kovač Viršek, M., Palatinus, A., Koren, Š., Peterlin, M., Horvat, P., & Kržan, A. (2016). Protocol for Microplastics Sampling on the Sea Surface and Sample Analysis. *Journal of Visualized Experiments*, (118), e55161. <https://doi.org/10.3791/55161>
- Kowalski, N., Reichardt, A. M., & Waniek, J. J. (2016). Sinking rates of microplastics and potential implications of their alteration by physical, biological, and chemical factors. *Marine Pollution Bulletin*, 109(1), 310-319.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.064>
- Kumar, V. E., Ravikumar, G., & Jeyasanta, K. I. (2018). Occurrence of microplastics in fishes from two landing sites in Tuticorin, South east coast of India. *Marine Pollution Bulletin*, 135, 889-894. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.023>
- Li, Jia, Zhang, H., Zhang, K., Yang, R., Li, R., & Li, Y. (2018a). Characterization, source, and retention of microplastic in sandy beaches and mangrove wetlands of the Qinzhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 136, 401-406.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.09.025>
- Li, Jingyi, Liu, H., & Paul Chen, J. (2018b). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*, 137, 362-374. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>
- Li, R., Yu, L., Chai, M., Wu, H., & Zhu, X. (2020). The distribution, characteristics and ecological risks of microplastics in the mangroves of Southern China. *Science of the Total Environment*, 708, 135025. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135025>
- López, N. (2018). Contaminación por microplásticos en la superficie del Lago de Atitlán, Sololá. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad del Valle de Guatemala.
- Lusher, A. L., McHugh, M., & Thompson, R. C. (2013). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Pollution Bulletin*, 67(1-2), 94-99. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.11.028>

- Mazariegos-Ortíz, C., de los Ángeles Rosales, M., Carrillo-Ovalle, L., Cardoso, R. P., Muniz, M. C., & dos Anjos, R. M. (2020). First evidence of microplastic pollution in the El Quetzalito sand beach of the Guatemalan Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, 156, 111220. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111220>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.008>
- Morgana, S., Ghigliotti, L., Estévez-Calvar, N., Stifanese, R., Wieckzorek, A., Doyle, T., ... Garaventa, F. (2018). Microplastics in the Arctic: A case study with sub-surface water and fish samples off Northeast Greenland. *Environmental Pollution*, 242, 1078-1086. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.001>
- Naciones Unidas. (2019). Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado de: <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg14>
- Ory, N. C., Sobral, P., Ferreira, J. L., & Thiel, M. (2017). Amberstripe scad *Decapterus muroadsi* (Carangidae) fish ingest blue microplastics resembling their copepod prey along the coast of Rapa Nui (Easter Island) in the South Pacific subtropical gyre. *Science of the Total Environment*, 586, 430-437. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.175>
- Ory, N., Chagnon, C., Felix, F., Fernández, C., Ferreira, J. L., Gallardo, C., ... Thiel, M. (2018). Low prevalence of microplastic contamination in planktivorous fish species from the southeast Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 211-216. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.016>
- Pegado, T. de S. e. S., Schmid, K., Winemiller, K. O., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Dei, L., & Giarrizzo, T. (2018). First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 814-821. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.035>
- Piñon-Colin, T. de J., Rodriguez-Jimenez, R., Pastrana-Corral, M. A., Rogel-Hernandez, E., & Wakida, F. T. (2018). Microplastics on sandy beaches of the Baja California Peninsula, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 131, 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.03.055>

- Plastics Europe. (2018). Análisis de los datos sobre la producción, la demanda y los residuos de plásticos en Europa. Recupera de <https://www.plasticeurope.org/es/resources/publications/1240-plasticos-situacion-en-2018>
- Rech, S., Macaya-Caquilpán, V., Pantoja, J. F., Rivadeneira, M. M., Jofre Madariaga, D., & Thiel, M. (2014). Rivers as a source of marine litter - A study from the SE Pacific. *Marine Pollution Bulletin*, 82(1-2) 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.03.019>
- Rech, Sabine, Borrell, Y., & García-Vazquez, E. (2016). Marine litter as a vector for non-native species: What we need to know. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1-2), 40-43. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.032>
- Rocha-Santos, T., & Duarte, A. C. (2015). A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 65, 47-53. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.10.011>
- Rocha-Santos, T., Duarte, A.C. (2017). *Characterization and Analysis of Microplastics*. Amsterdam, Netherlands: Comprehensive Analytical Chemistry.
- Robertson, D.R., Allen, G.R. (2015). Peces Costeros del Pacífico Oriental Tropical: sistema de Información en línea. Versión 2.0 Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa, República de Panamá.
- Sagawa, N., Kawaai, K., & Hinata, H. (2018). Abundance and size of microplastics in a coastal sea: Comparison among bottom sediment, beach sediment, and surface water. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 532-542. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.036>
- Sigüenza, R., & Ruiz-Ordóñez, J.A. (Eds.). (1999). Plan Maestro de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico. Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas y Centro de Estudios Conservacionistas.
- Silva, M. M., Maldonado, G. C., Castro, R. O., de Sá Felizardo, J., Cardoso, R. P., Anjos, R. M. dos, & Araújo, F. V. de. (2019). Dispersal of potentially pathogenic bacteria by plastic debris in Guanabara Bay, RJ, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 141, 561-568. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.064>
- Thompson, R. C., Swan, S. H., Moore, C. J., & Vom Saal, F. S. (2009). Our plastic age. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1973-1976. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0054>

Waller, C. L., Griffiths, H. J., Waluda, C. M., Thorpe, S. E., Loaiza, I., Moreno, B., ... Hughes, K. A. (2017). Microplastics in the Antarctic marine system: An emerging area of research. *Science of the Total Environment*, 598, 220-227.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.283>

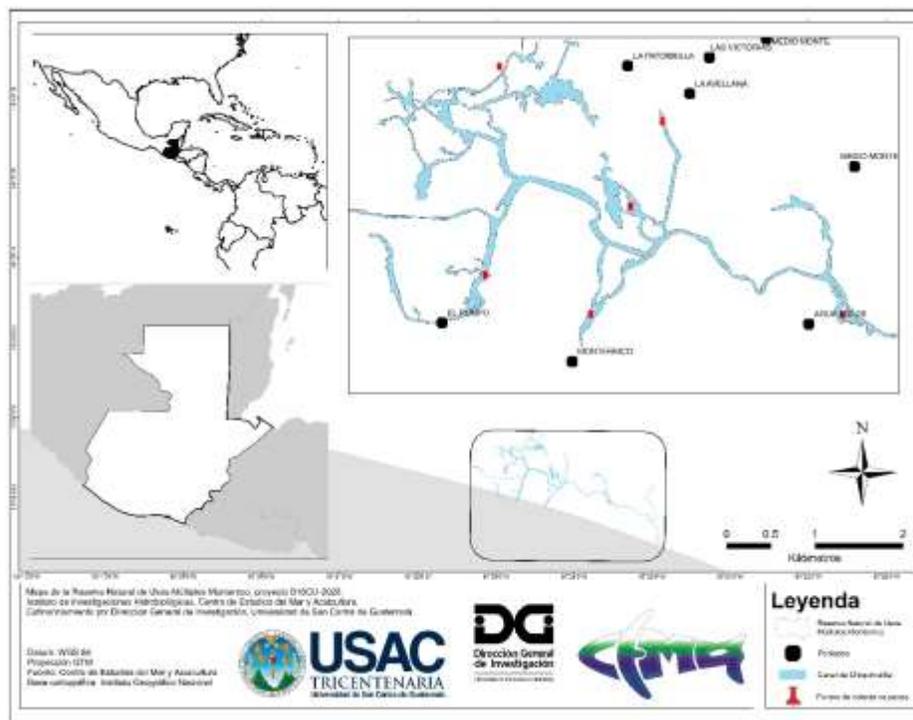
Zhang, K., Hamidian, A. H., Tubić, A., Zhang, Y., Fang, J. K. H., Wu, C., & Lam, P. K. S. (2021). Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review. *Environmental Pollution*, 274, 116554.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116554>

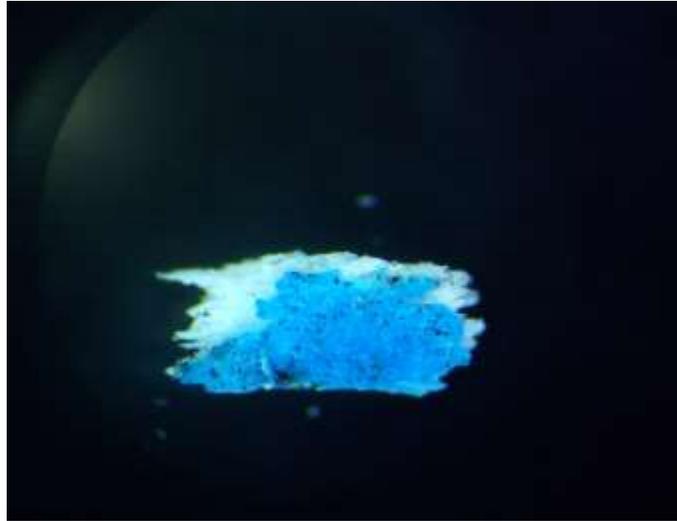
Kowalski, N., Reichardt, A. M., & Waniek, J. J. (2016). Sinking rates of microplastics and potential implications of their alteration by physical, biological, and chemical factors. *Marine Pollution Bulletin*, 109(1), 310-319.

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.064>

20. Apéndice



Apéndice 1. Ubicación geográfica de los puntos de colecta dentro de la RNUMM.



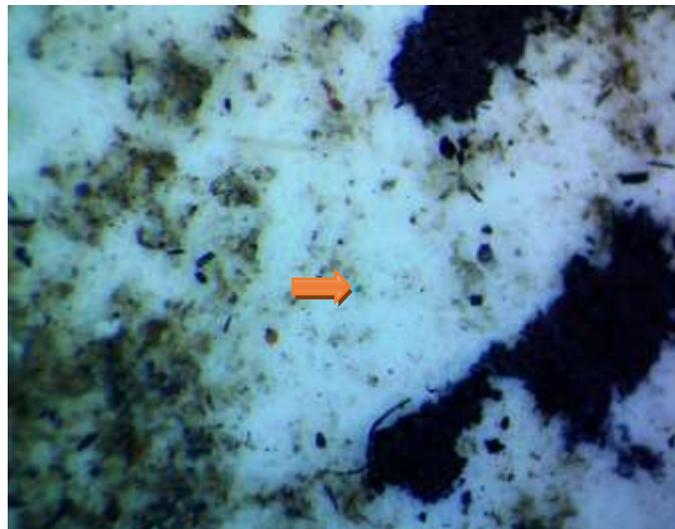
Apéndice 2. Lámina azul registrada en *D. latifrons*.



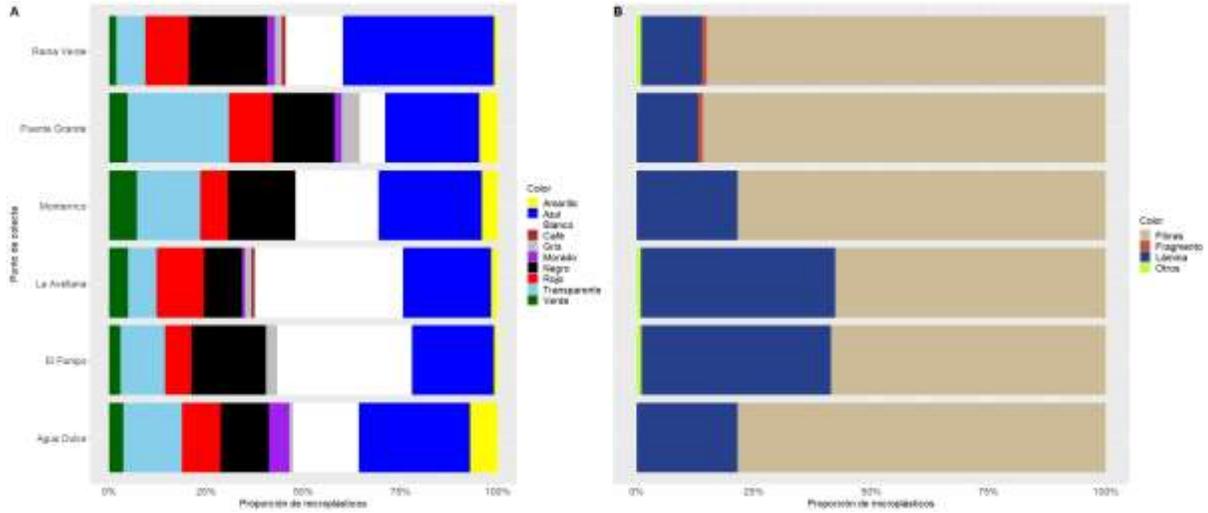
Apéndice 3. Fibra roja registrada en *D. peruvianus*.



Apéndice 4. Fibra azul registrada en *C. armatus*.



Apéndice 5. Fragmento verde registrado en *M. curema*.



Apéndice 6. Proporción de formas y colores de microplásticos en sedimentos.

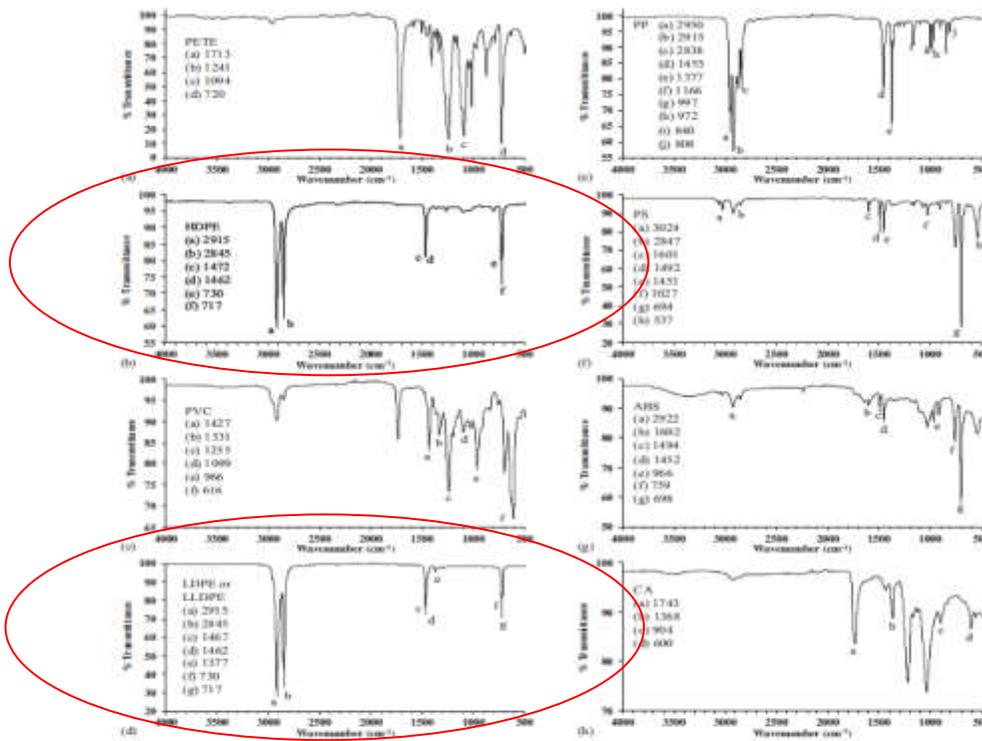


Fig. 1. Spectra produced from plastic consumer goods labeled with resin codes of (a) polyethylene terephthalate (PETE, #1), (b) high-density polyethylene (HDPE, #2), (c) polyvinyl chloride (PVC, #3), (d) low-density polyethylene and linear low density polyethylene (LLDPE and LLDPE, #4), (e) polypropylene (PP, #5), and (f) polystyrene (PS, #6) along with ten other polymers: (g) acrylonitrile butadiene styrene (ABS), (h) cellulose acetate (CA), (i) ethylene vinyl acetate (EVA), (j) latex, (k) nitile, (l) nylon, (m) polycarbonate (PC), (n) poly (methyl methacrylate) (PMMA), (o) polytetrafluoroethylene (PTFE) or fluorinated ethylene propylene (FEP), and (p) polyurethane (PU) using ATR FT-IR. Letters represent characteristic absorption bands (cm^{-1}) used to identify each polymer.

Apéndice 7. Espectros de diferentes tipos de plástico descrito en Jung y colaboradores (2018). Elipse en rojo muestra los picos de transmitancia a una específica longitud de onda para polietileno de alta y baja densidad.



Apéndice 8. Lámina rosada aislada de los sedimentos colectados en La Avellana.



Apéndice 9. Correo de respuesta de la Revista Ecosistemas donde fue sometido un manuscrito con información presentada en este informe.

Contratados por contraparte y colaboradores

Nombre	Firma
Elisa Blanda	
Cristian David Melchor Urías	

Contratados por la Dirección General de Investigación

Nombre	Categoría	Registro de Personal	Pago		Firma
			SI	NO	

Guatemala 8 de marzo de 2021



Carlos Humberto Mazariegos Ortíz

Proyecto de Investigación



Augusto Saúl Guerra Gutiérrez

Programa Universitario de Investigación



Ing. MARN Julio Rufino Salazar Pérez
Coordinador General de Programas
DIGI-USAC

Julio Rufino Salazar Pérez

Coordinador General de Programas