

**Presencia de microplásticos en el tracto
digestivo de lubinas (*Dicentrarchus labrax*)
cultivadas en Canarias**

**Presence of microplastics particles in the
digestive tract of European sea bass
(*Dicentrarchus labrax*) cultivated in Canary
Islands**

Raquel Sánchez Almeida

**Máster de Biología Marina: Diversidad y
Conservación**

Septiembre, 2020

DÑA. CINTIA HERNÁNDEZ SÁNCHEZ, PROFESORA AYUDANTE DOCTOR DEL DEPARTAMENTO DE OBTETRICIA, GINECOLOGÍA, PEDIATRÍA, MEDICINA PREVENTIVA Y SALUD PÚBLICA, TOXICOLOGÍA, MEDICINA FORENSE Y LEGAL Y PARASITOLOGÍA, Y D. JAVIER HERNÁNDEZ BORGES, PROFESOR TITULAR DEL DEPARTAMENTO DE QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

AUTORIZAN:

La presentación y defensa del Trabajo de Fin de Máster titulado “Presencia de microplásticos en el tracto digestivo de lubinas (*Dicentrarchus labrax*) cultivadas en Canarias”, realizado por Dña. Raquel Sánchez Almeida bajo nuestra tutorización durante el curso académico 2019-2020.

Y para que así conste, firmamos la presente en San Cristóbal de La Laguna, a 7 de septiembre de 2020.

Fdo: Cintia Hernández Sánchez

Fdo: Javier Hernández Borges

RESUMEN

En este Trabajo de Fin de Máster se ha estudiado la presencia de microplásticos en el contenido estomacal de múltiples ejemplares de lubina europea (*Dicentrarchus labrax*) cultivados en piscifactorías localizadas en aguas canarias. Los ejemplares fueron adquiridos en los mercados locales, para asegurar su procedencia. Tras la disección y extracción del tracto digestivo, su contenido fue digerido con KOH al 10 % durante 24 horas a 60 °C. Tras filtrar el digerido, se analizaron los microplásticos en lupa binocular y se clasificaron por su forma, tamaño y color. De los 45 individuos examinados, el 66,7 % presentó microplásticos, principalmente fibras (94,6 %), con una media de 2,2 micropartículas por ejemplar y entre las que el azul es el color dominante (45 %).

Palabras clave: microplásticos, lubina, estómagos, piscifactoría, fibras.

ABSTRACT

This Final Master Degree Project has studied the presence of microplastics particles in the digestive tracts of several specimens of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) cultivated in fish farms located in Canarian waters. The specimens were bought in local markets to guarantee their origin. After the dissection and extraction of the digestive tracts, their content was digested with KOH 10 % for 24 h at 60 °C. Then, the digestive content was filtered. The microplastics were analysed under a stereomicroscope and classified by shape, size and colour. From the 45 examined specimens, 66,7 % presented microplastics, mainly fibres (94,6 %), with an average of 2,2 items per fish and blue as the predominant colour (45 %).

Keyword: microplastics, European sea bass, stomachs, sea farm, fibres.

ÍNDICE

1.- Introducción	1
1.1.- Breve historia del plástico	1
1.2.- Microplásticos en el medio marino	4
1.3.- Microplásticos en la biota	13
1.4.- Acuicultura en Tenerife (Islas Canarias)	25
1.4.1.- Cultivo de lubina	25
1.4.2.- Características de las aguas y los fondos canarios	31
2.- Objetivo	33
3.- Material y métodos	34
3.1.- Reactivos y disoluciones	34
3.2.- Materiales	34
3.3.- Equipos	34
3.3.1.- Instrumentos	34
3.3.2.- Aparatos	34
3.4.- Procesamiento de las muestras	36
4.- Resultados y discusión	40
5.- Conclusiones	47
6.- Bibliografía	48

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- Breve historia del plástico

El plástico ha copado de manera silenciosa la vida cotidiana del ser humano, volviéndose omnipresente en todo el planeta. Se podría decir que su historia comenzó con el uso de materiales que tenían propiedades plásticas intrínsecas, como la savia del chicozapote utilizada por los mayas como goma de mascar para limpiarse los dientes o inhibir el hambre en los rituales de ayuno, e incluso con la elaboración de pelotas de goma para sus juegos¹. Más tarde, continuó con la modificación química de materiales naturales, como el caucho o la celulosa.

Sin embargo, la introducción de plásticos 100 % sintéticos se produjo hace sólo unos 100 años. La parkesina, inventada por Alexander Parkes en 1855 (**Fig. 1a**), fue el primer termoplástico (semisintético) basado en la química de la celulosa y precursora del celuloide (**Fig. 1b**). Asimismo, el cloruro de polivinilo (PVC) (**Fig. 1d**) fue descubierto accidentalmente dos veces durante el siglo XIX: la primera por el francés Henri Victor Regnault en 1835 (**Fig. 1c**) y la segunda por el alemán Eugen Baumann en 1872².

No obstante, el avance fundamental tuvo lugar en 1907, cuando el químico Leo Baekeland (**Fig. 1e**) creó la baquelita (**Fig. 1f**), la primera sustancia plástica totalmente sintética³. Así, en los años 20 la industria plástica empezó a desarrollarse, cuando Waldo Semon y la compañía BF Goodrich crearon un método para modificar el PVC mezclándolo con diversos aditivos, consiguiendo un material más flexible y que se procesa fácilmente para su uso comercial⁴.

Esto condujo a que, desde los años 50 hasta la actualidad, la producción y consumo de todo tipo de plásticos experimentase un imparable ascenso. Algunos estudios calculan que se han producido unas 8300 millones toneladas métricas de plásticos vírgenes hasta la fecha (**Geyer et al., 2017**). Estas altas cifras se deben a un mercado caracterizado por el consumismo y a algunas características propias del plástico, como su bajo coste y su versatilidad. Este conjunto de factores ha provocado que su uso haya sustituido al vidrio y al metal, incluso a la madera, al papel o al cartón en muchos sectores, como pueden ser el transporte, la construcción, la salud, las telecomunicaciones o la propia industria alimentaria (**Gourmelon, 2015**).

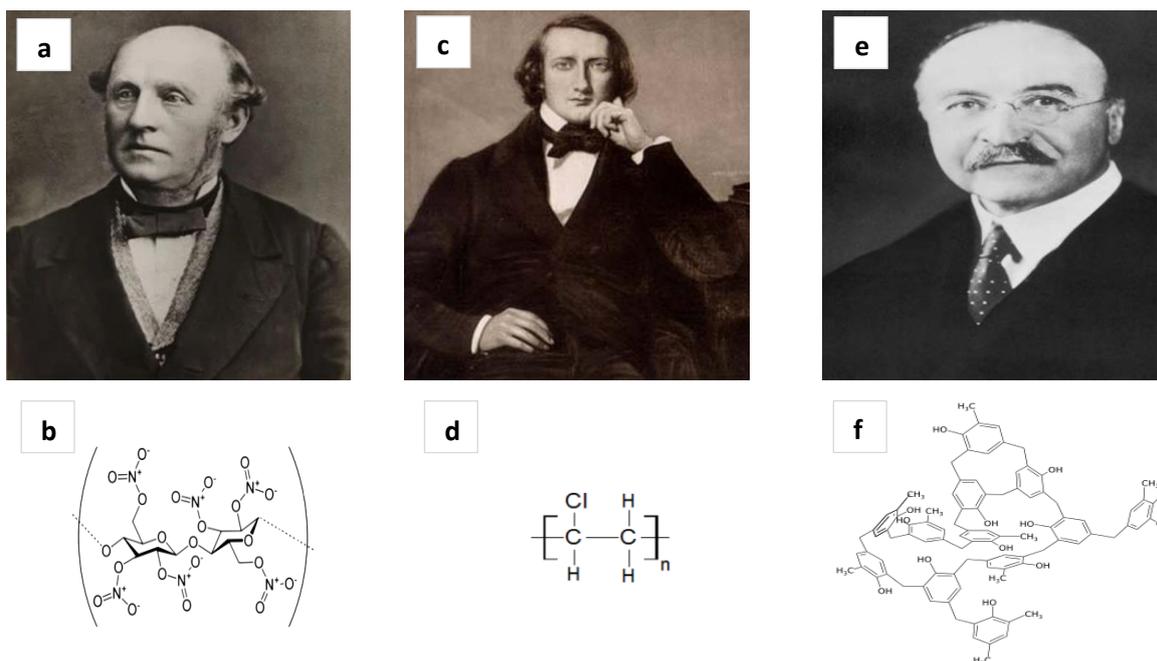


Fig.1 a. Alexander Parkes; **b.** Estructura química de la nitrocelulosa, uno de los dos componentes, junto con el alcanfor, de la parkesina; **c.** Henri Victor Regnault; **d.** Estructura del PVC; **e.** Leo Baekeland; **f.** Estructura de la baquelita.

A nivel mundial, en los últimos años se ha seguido observando esa tendencia al alza en la producción de plásticos, llegando a los 359 millones de toneladas en 2018, datos más recientes de los que se dispone (**Fig. 2**). A pesar de ello, en Europa su producción se ha mantenido más o menos estable, un dato que podría resultar tranquilizador si se compara con los recabados a nivel mundial, pero preocupante si se tiene en cuenta que Europa es uno de los mayores productores de plásticos mundiales, sólo por detrás de China y Norteamérica (**Fig. 3a**).



Fig. 2 Producción global y europea de materiales plásticos en 2018. Fuente: Elaboración propia, basada en los datos de *PlasticsEurope*.

Profundizando un poco más en esta línea, se puede comprobar que tan sólo los seis grandes países europeos (en términos de población) cubren casi el 70 % de la demanda de plásticos de este continente, porcentaje del que España se atribuye casi un 8 % (**Fig. 3b**). La gran mayoría de dichos plásticos son destinados al embalaje (39,9 %) y la construcción (19,8 %), así como a la industria automovilística (9,9 %) y la electrónica (6,2 %) (**Fig. 4**).

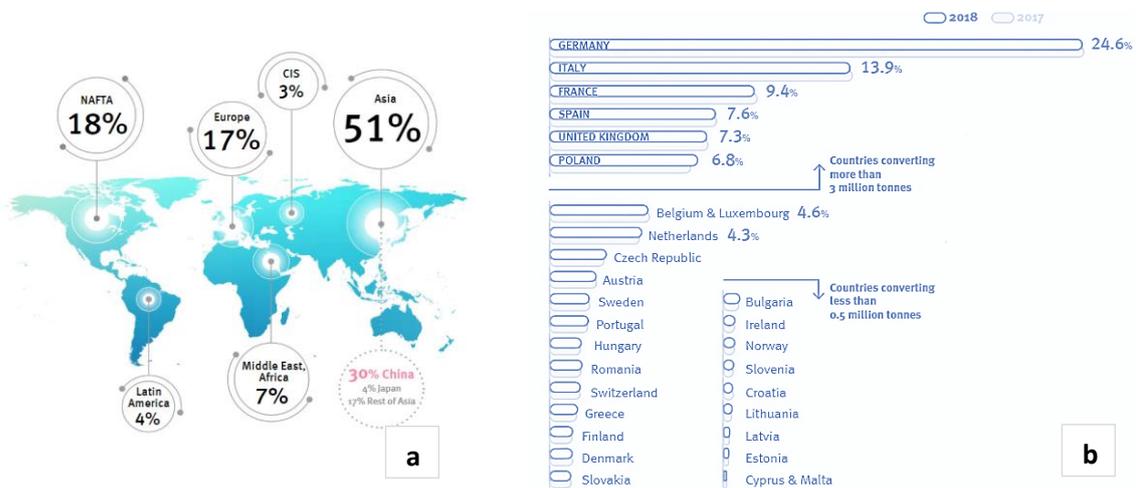


Fig. 3 a. Producción global de materiales plásticos en 2018 (se incluyen termoplásticos, poliuretanos, termoplásticos, adhesivos, revestimientos y selladores y fibras de polipropileno (PP); no se incluyen: fibras de tereftalato de polietileno (PET), fibras de poliamidas (PA) ni fibras acrílicas); **b.** Demanda de plásticos en Europa (por países). Fuente: *PlasticsEurope*.

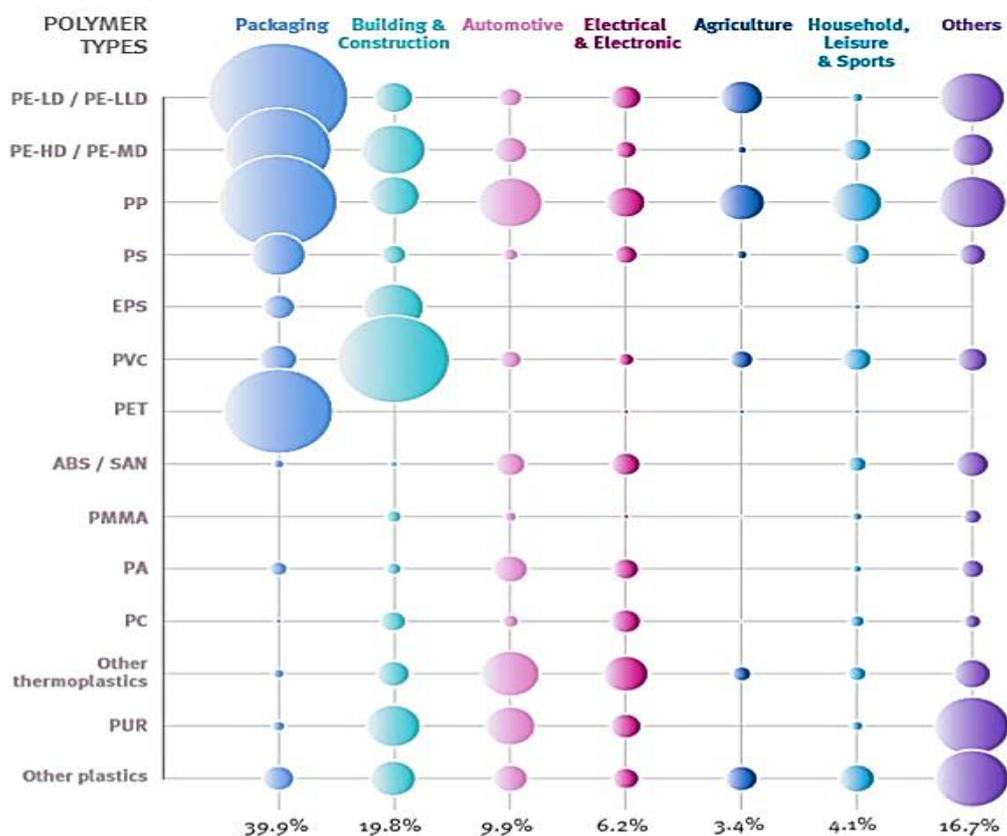


Fig. 4 Tipos de polímeros y sector en el que han sido utilizados en Europa en 2018. Fuente: *PlasticsEurope*.

1.2.- Microplásticos en el medio marino

Los plásticos son materiales económicos, livianos, fuertes, duraderos, resistentes a la corrosión y con altas propiedades de aislamiento térmico y eléctrico, características que los han convertido en esenciales para la economía. No obstante, su naturaleza química acarrea graves inconvenientes, ya que la gran mayoría de ellos están constituidos por monómeros derivados de hidrocarburos fósiles como el propileno y el etileno que no son biodegradables. Esto provoca su acumulación en el medio ambiente al no poder reintegrarse en el medio, contaminando una amplia gama de hábitats naturales terrestres, de agua dulce y marinos, muchos de ellos incluso vírgenes.

Con la unión de diversos monómeros se consigue una amplia variedad de polímeros, destacando en la demanda mundial el polipropileno (21 %), el polietileno (PE, 18 %), de baja densidad (PE-LD) y lineal (LLDPE), el cloruro de polivinilo (PVC, 17 %), el PE de alta densidad (PE-HD, 15%), además del poliestireno (PS) y el PS expandible (8 %), el tereftalato de polietileno (PET, 7 %, excluida la fibra PET) y el poliuretano (**Hahladakis et al., 2018**).

Teniendo en cuenta que, el PE y el PP son los polímeros más producidos del mundo y se utilizan para la fabricación de productos de consumo, maquinaria industrial o construcción

(**Hahladakis et al., 2018**), cabe esperar que estos productos de plástico duro puedan tener un ciclo de vida bastante largo, lo suficiente para fragmentarse en pequeñas partículas en el medio ambiente. De este modo, los fragmentos y gránulos irregulares, duros y de tamaño milimétrico formados por estos dos polímeros que terminan en los océanos probablemente provengan de la descomposición de basura de mayor tamaño.

Se estima que, de las 6300 toneladas métricas de plásticos fueron generadas en 2015 a nivel mundial, tan sólo el 9 % fue reciclada y el 12 % incinerada, mientras que el 79 % fue acumulada en vertederos o en el propio medio ambiente (**Geyer et al., 2017**). Como consecuencia, hoy en día, la contaminación por plásticos está presente en todos los océanos del mundo, en los que la gran mayoría de las basuras plásticas recorren grandes distancias gracias a su flotabilidad y durabilidad.

La primera observación en el medio marino de las partículas en las que se fragmenta toda esta basura plástica, que actualmente representa entre el 50-80% del total, fue en los años 70, en hallazgos realizados por **Carpenter y Smith (1972)**, quienes descubrieron concentraciones promedio de 3500 partículas de plástico por kilómetro cuadrado en el Mar de los Sargazos. A ellos les siguió **Colton et al. (1974)**, que demostró la existencia de microplásticos en una amplia área del Atlántico Norte. Tras estos descubrimientos, y desde la década de los 90, la cantidad de plástico ha mostrado un aumento exponencial.

Sin embargo, a pesar de las cada vez más numerosas políticas para su reciclado, el plástico sigue llegando a los océanos principalmente desde las zonas continentales, transportado hasta las costas por los ríos, el viento, los sistemas de drenaje artificiales o directamente a través de la actividad humana (**Corcoran et al., 2009**), ya sea por el desecho de basura en las playas o desde barcos o por los utensilios de pesca perdidos, entre otros. Se pueden encontrar desde la superficie, hasta los sedimentos (que se han convertido en un sumidero de microplásticos), pasando por toda la columna de agua, así como en muchas y diversas regiones del mundo, desde las áreas urbanizadas desarrolladas hasta zonas oceánicas profundas y remotas (**Alomar et al., 2016; Auta et al., 2017; Wang et al., 2019**).

Una vez allí, son transportados por las corrientes marinas, que los concentran, sobre todo, en las zonas de convergencia y en los principales vórtices oceánicos (los dos contemplados en el océano Pacífico, los dos del Atlántico y el del Índico) (**Fig. 5**), al igual que en los mares cerrados como el Mediterráneo (**Barnes et al., (2009); Ryan et al., (2009)**). Cabe puntualizar que, salvo excepciones como ocurre en el gran “parche de basura” del Pacífico Norte, generalmente estas acumulaciones de basura marina no se caracterizan por ser zonas de

desechos flotantes de gran tamaño, sino por estar constituidas por partículas demasiado pequeñas como para ser vistas o trozos de plástico relativamente pequeños.

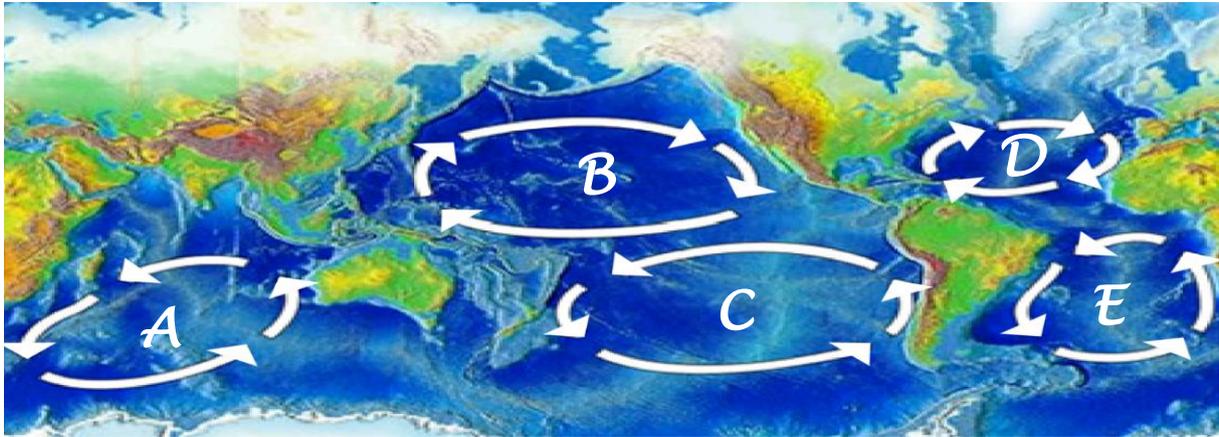


Fig. 5 Principales giros oceánicos. A. Giro del Índico; B. Giro del Pacífico Norte; C. Giro del Pacífico Sur; D. Giro del Atlántico Norte; E. Giro del Atlántico Sur. Fuente: elaboración propia, basada en imagen de window2universe.org.

Dichos trozos de plástico se pueden clasificar atendiendo a su tamaño, que puede variar entre unos pocos milímetros y menos de un nanómetro. Las que nos ocupan aquí, unas de las de menor tamaño, son las denominadas *microplásticos*, que tienen un tamaño que varía entre 5 mm y 1 μm . No obstante, cabe puntualizar la controversia que existe respecto al límite de las más pequeñas, conocidas como nanoplásticos, con un tamaño que no supera 1 μm . Esto se debe a la existencia de clasificaciones en las que dicha cifra se sitúa en 0,1 μm , momento en el que se utiliza este prefijo en otros campos como el de la nanotecnología. Del mismo modo, todas estas clasificaciones incluyen otras partículas plásticas mayores, como pueden ser los mesoplásticos o los macrolásticos (ver **Tabla 1**).

Tabla 1. Clasificación estandarizada de los residuos de plástico de acuerdo con su tamaño (Crawford & Quinn, 2017).

Definición	Tamaño
Macrolástico	≥ 25 mm
Mesoplástico	$< 25 - 5$ mm
Microplástico	< 5 mm – 1 μm
Nanoplástico	< 1 μm

Los microplásticos también se pueden clasificar según su origen, en base al cual se les denomina como microplásticos *primarios* o *secundarios*. De forma general, se consideran microplásticos primarios aquellos que han sido creados con ese tamaño, como pueden ser los fabricados como ingredientes para los productos cosméticos y de cuidado personal (es el caso de las denominadas microesferas/*microbeads* que se usan como agentes exfoliantes) o los *pellets* o granzas que, una vez que llegan a las industrias, son fundidos y transformados en plásticos de mayor tamaño.

Cabe puntualizar que algunos autores, como **Boucher y Friot, (2017)** o **Wang et al., (2019)**, incluyen también en este grupo a los que adquieren ese tamaño antes de llegar al medio ambiente de alguna manera, como pueden ser los trozos de neumáticos desgastados, aunque no hayan sido fabricados con esas medidas.

Por otro lado, están los microplásticos secundarios, originados a partir de la fragmentación de otros plásticos de mayor tamaño que son degradados principalmente por diversas vías en el medio marino. En primer lugar, sufren una degradación abiótica, provocada por procesos como la fotooxidación (debida a la acción de la luz solar), la termooxidación (debida a los aumentos de temperatura) y la oxidación atmosférica (debida al oxígeno presente en la atmósfera). A todos ellos, se suma la degradación mecánica, producida por la acción de las olas y el viento, que causan abrasiones, torsiones, golpes y tensiones que acaban fragmentando el plástico por sus zonas más frágiles (**Bellas et al., 2016**). Además de la degradación abiótica, hay que tener en cuenta también la degradación biótica, producida por algunos organismos cuyo medio interno es capaz de degradar en mayor o menor medida las partículas plásticas, si bien es preciso destacar que esta se produce en una pequeñísima proporción y una vez que el plástico adquiere un tamaño extremadamente pequeño.

Hoy en día está bastante arraigada la idea de que la presencia de microplásticos en el medio se debe a una mala gestión de los residuos plásticos de gran tamaño, centrándose la mayoría de los estudios en la cuantificación de las fuentes que generan microplásticos secundarios o la forma de reducir las mismas. Esto contrasta con el poco conocimiento que existe sobre los microplásticos primarios y su alta importancia respecto a los secundarios (**Boucher y Friot, 2017**).

El descubrimiento de altos niveles de microplásticos primarios en lagos y ríos de algunas de las zonas más desarrolladas a nivel mundial (**Eerkes-Medrano et al., 2015**), señala que, de forma general, la liberación de microplásticos primarios es más significativa de lo que parece. Un estudio demostró que el tramo austriaco del Danubio, que cruza todo el centro de Europa, tiene una concentración de estas partículas mayor que la que existe de larvas de peces (**Lechner**

et al., 2014). No obstante, a pesar de que los porcentajes que representan las cantidades de microplásticos primarios y secundarios no está en absoluto clara y su clasificación difiere según los autores, la mayoría coincide en que los secundarios suelen ser los más abundantes.

Además, la forma de los microplásticos puede ayudar a entender su origen con una probabilidad bastante elevada (ver **Tabla 2**), como ocurre, por ejemplo, con los *pellets*, a los que los autores asignan una alta probabilidad a una procedencia de los derrames no intencionados de materia prima.

Del mismo modo que se pueden clasificar según las características anteriores, también se puede hacer en base a su forma, aunque no existe una clasificación estandarizada y universal para clasificar a los microplásticos atendiendo a ella, por lo que esta puede variar según los investigadores. En general, la más aceptada es la propuesta por **Crawford y Quinn, (2017)**, en la que diferencia cinco formas básicas: *pellets/microbeads* (los *pellets* son siempre microplásticos primarios, utilizados para originar otros de mayor tamaño, mientras que las *microbeads* son las microperlas añadidas a los productos de cuidado personal, por lo también son microplásticos primarios), fragmentos (con bordes irregulares), fibras (generalmente, provenientes de tejidos sintéticos, como nailon o poliéster), films (generalmente, trozos de bolsas de un solo uso) y espumas (procedentes de los envases de protección) (**Fig. 6**).



Fig. 6 Clasificación de los microplásticos según su forma (este autor, a diferencia de **Crawford & Quinn, (2017)**, separa las láminas de los fragmentos). **a.** Lámina; **b.** Film; **c.** Fibra/hilo; **d.** Fragmento; **e.** Pellet/granza; **f.** Espuma. Imagen obtenida de **Chenxi Wu et al. (2018)** con permiso.

A pesar de estas desfavorables evidencias sobre el aumento de residuos plásticos de pequeño tamaño en el medio marino, se sigue desechando todo tipo de basura al mar. En Canarias, la ley de protección del medio marino (Ley 41/2010, de 29 de diciembre) constituye el marco general para la planificación de este medio, con el objetivo de lograr su buen estado ambiental. Esta ley corresponde a la trasposición al sistema normativo español de la Directiva 2008/56/CE, de 17 de junio de 2008, por la que se establece un marco de acción comunitaria del medio marino. La Directiva introduce la obligación de lograr un buen estado ambiental de las aguas marinas europeas mediante estrategias con el objetivo final de mantener la biodiversidad, los océanos y mares limpios, sanos y productivos para un aprovechamiento sostenible.

Datos preocupantes en Canarias son los referentes a los vertidos desde tierra hacia el mar, competencia de la Viceconsejería de Medio Ambiente de Canarias. Según el último informe realizado en 2017 por el Gobierno de Canarias (**Informe final: Censo de vertidos desde tierra hacia el Mar en Canarias**), en el archipiélago existen 394 puntos de vertido (224 de agua residual urbana), de los que 172 se encuentran en Tenerife (**Fig. 7**). De ellos, sólo 59 están autorizados por el organismo competente (un 34 %) (**Fig. 8**), estando el resto sin autorizar.

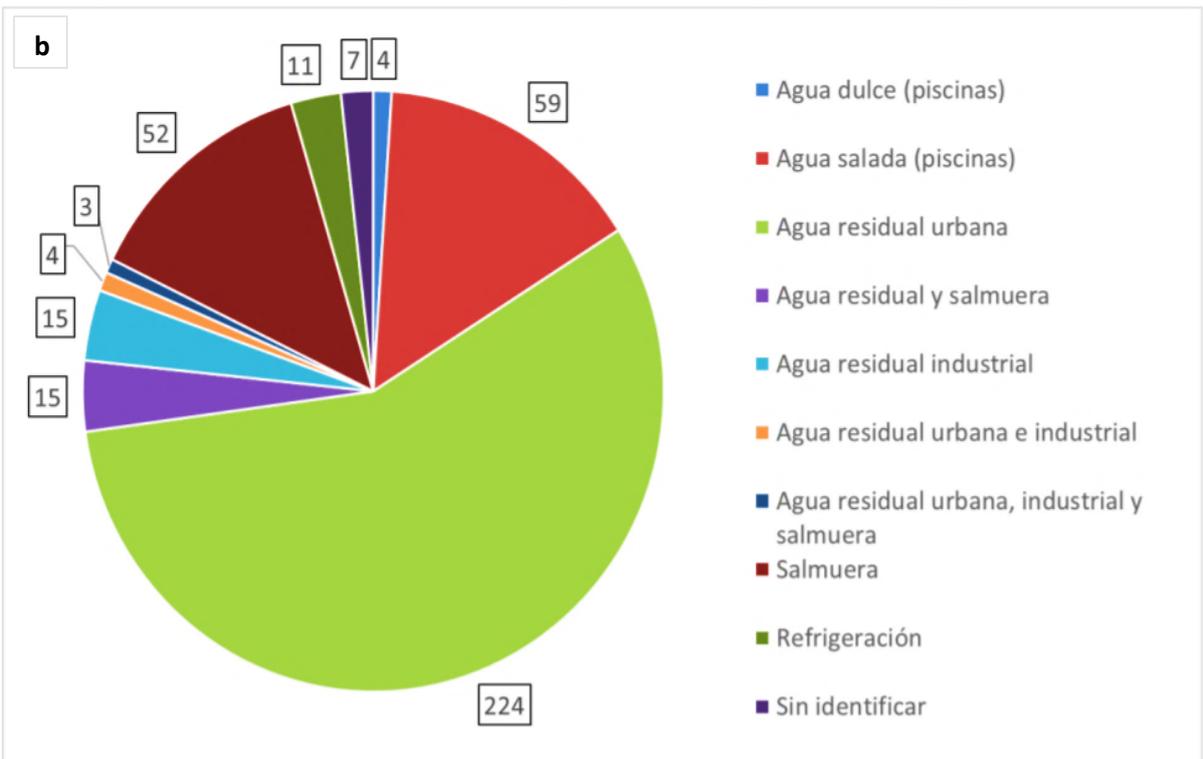
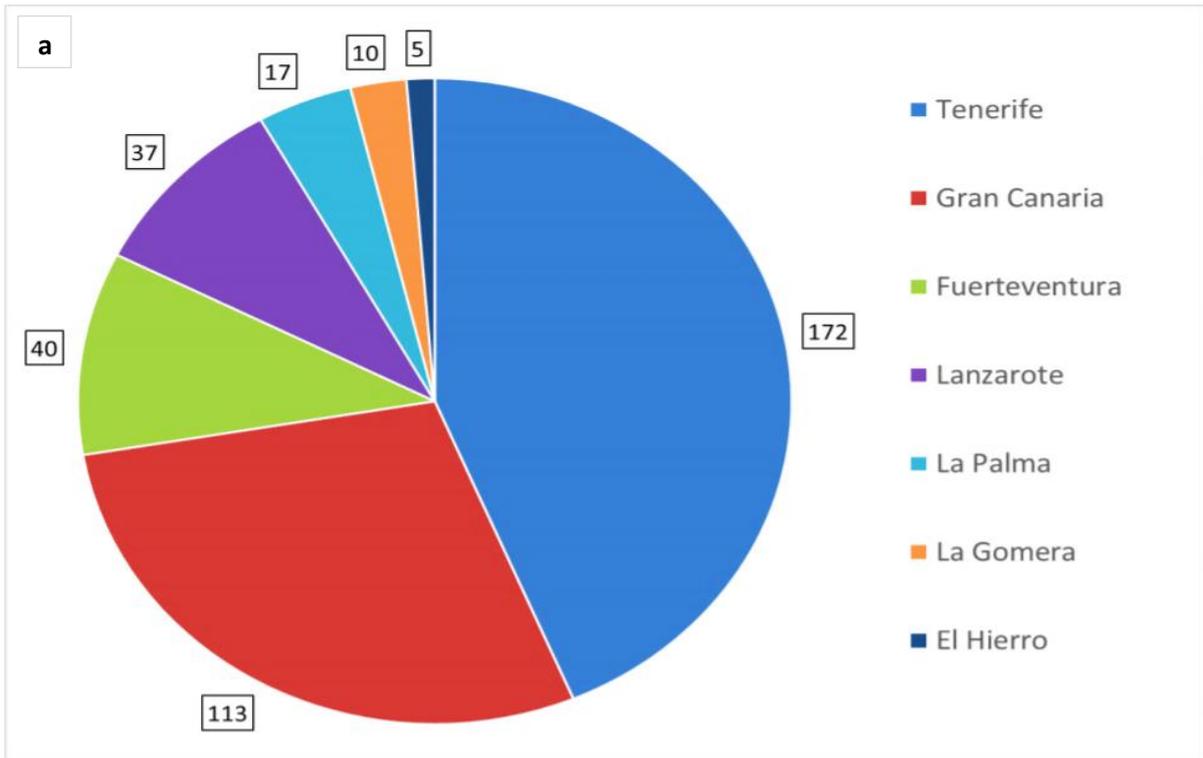
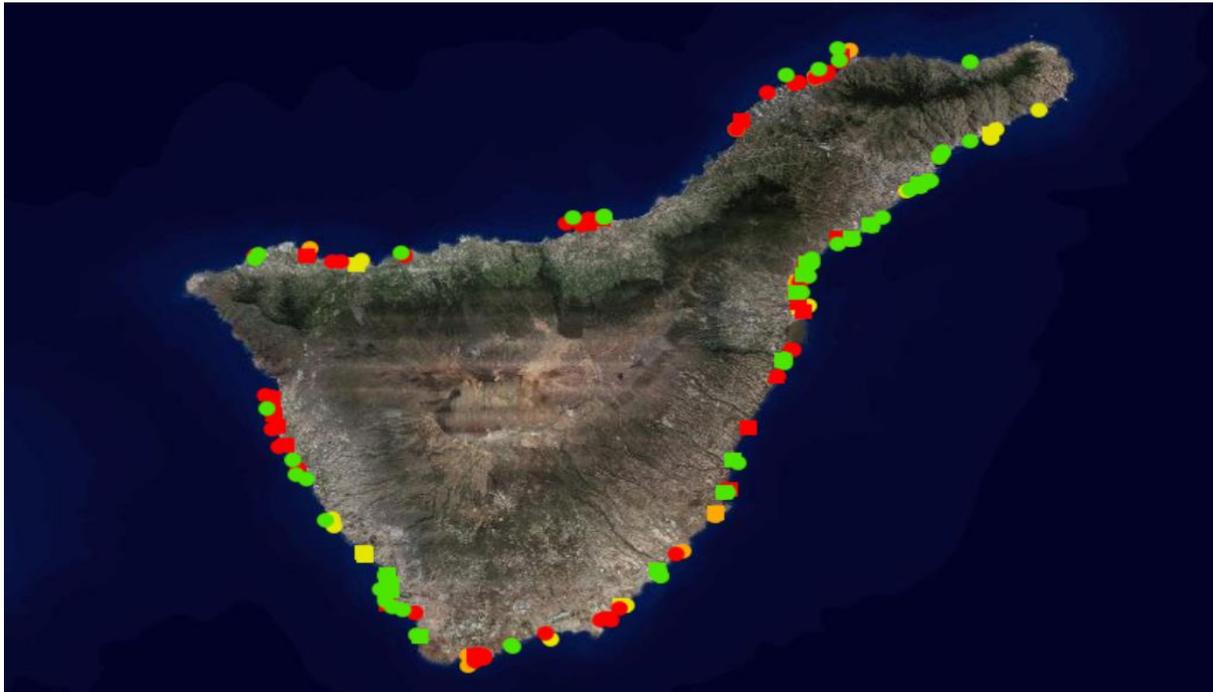


Fig. 7 Datos de los vertidos desde tierra en Canarias. **a.** Vertidos por islas en Canarias (de un total de 394). **b.** Tipos de vertidos en Canarias (de un total de 394).



Isla	No autorizado	No Autorizado-En Trámite	No Autorizado-Vencida	Σ Puntos No Autorizados	Autorizado	TOTAL
Tenerife	77	23	13	113	59	172
Gran Canaria	71	8	1	80	33	113
Fuerteventura	25	5	0	30	10	40
Lanzarote	25	2	2	29	8	37
La Palma	13	1	0	14	3	17
La Gomera	7	0	0	7	3	10
El Hierro	4	0	1	5	0	5
TOTAL	222	39	17	278	116	394
Porcentaje sobre los 394 Puntos	56%	10%	4%	71%	29%	100%

Fig. 8 Ubicación y cantidad de los vertidos autorizados y no autorizados en Tenerife en 2017. Rojo: no autorizado; naranja: No autorizado – vencida; amarillo: no autorizado: En trámite; verde – autorizado. Fuente: Gobierno de Canarias (**Informe final: Censo de vertidos desde tierra hacia el Mar en Canarias**).

Actualmente, se estiman que existen unos 5,25 trillones de microplásticos en la superficie oceánica, lo que equivale a unas 269000 toneladas de plástico flotantes (Eriksen *et al.*, 2014), muchas provenientes de vertidos, aunque estas cifras son muy variables según el autor. Esta problemática, se ve más acusada en áreas caracterizadas por la convergencia de corrientes (Moore *et al.*, 2001; Romeo *et al.*, 2015), como en los ya nombrados giros oceánicos, donde el potencial de ingestión podría ser más alto.

Tabla 2. Principales tipos de microplásticos del medio marino conocidas. Fuente: Elaboración propia, basada en **Boucher & Friot, (2017)** y **Wang et al., (2019)**.

Microplástico	Consumo mundial (kt/año)	Forma y color	Tamaño	Composición polimérica	Posible origen	Probabilidad pertenencia a origen (0,1, 2, 3, 4, 5)
Pellets (Plumillas, <i>nurdles</i> o lágrimas de sirena)	257000	Esféricos, ovoides o en forma de disco	Milimétrico	PE, PP, PS, PVC, PC, etc.	Derrames no intencionales de materia prima	4
Fibras sintéticas	42534	Fibra o línea	Finas: diámetro $\leq 20 \mu\text{m}$	PET, acrílico, PA, PVC, PAN, PAM, etc.	Fibras textiles de aguas residuales o escorrentía superficial	4
					Cuerda o red utilizada principalmente en pesquerías para ecosistemas acuáticos	2
					Otro origen	2
			Gruesas: diámetro $> 20 \mu\text{m}$	PA, PE/LDPE, PP, PP-PE, poliéster, etc.	Cuerda o red utilizada principalmente en pesquerías para ecosistemas acuáticos	5
					Fibras textiles de aguas residuales	2
Otro origen	2					
Goma suave	6431	Gránulos o fragmentos blandos	Varios μm a varios cientos de μm de tamaño	Caucho sintético, incluidos SBR, NBR, etc. Siempre negro.	Partículas de neumáticos de vehículos	4
					Otros productos de caucho (p. ej. fieltro para techos y revestimiento de cables de caucho)	3
			Tamaño $> 1 \text{ mm}$	Caucho sintético, incluidos SBR, NBR, etc. Siempre negro.	Otros productos de caucho (p. ej. fieltro para techos y revestimiento de cables de caucho)	3
Partículas de neumáticos de vehículos	2					
Señalización vial	588	-	-	-	Abrasión de marcas viales por los vehículos y el tiempo.	-
Revestimientos marinos	452	Gránulos o fragmentos irregulares	y De unas μm a varios mm de longitud	Epoxi, poliuretano, PEA: PA, PS/PAE, etc.	Revestimientos o adhesivos	5
					Otras fuentes (fragmentación de plásticos duros de mayor tamaño)	4
Microperlas	42	Esférico o irregularmente esférico	0,001-1 mm	PE (primario), PMMA, PP, nylon, PS y PET	Productos de consumo para el cuidado personal	4

1.3.- Microplásticos en la biota

A pesar de la indudable problemática que acarrea la acumulación de plásticos en el medio ambiente y, en particular, en el medio marino, los polímeros que los forman se consideran químicamente inertes. Sin embargo, no ocurre lo mismo con los aditivos utilizados para modificar sus propiedades, y raramente estos polímeros vírgenes se utilizan sin ellos, ya que, aunque los plásticos son extremadamente exitosos comercialmente, nunca alcanzarían estándares de rendimiento aceptables ni en propiedades ni en procesamiento sin la incorporación de dichas sustancias (Murphy, 2001).

Estos aditivos se pueden dividir principalmente en cuatro categorías (ver **Tabla 3**): aditivos funcionales (estabilizadores, agentes antiestáticos, retardantes de llama, plastificantes, lubricantes, agentes deslizantes, agentes de curado y espumantes, biocidas...), colorantes (pigmentos, azocolorantes solubles...), rellenos (mica, talco, caolín, arcilla, carbonato de calcio, sulfato de bario...) y refuerzos (fibras de vidrio, fibras de carbono...) (Hadladakis *et al.*, 2018).

No obstante, también se debe atender a su capacidad para concentrar contaminantes persistentes como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), los bifenilos policlorados (PCB) o el diclorodifeniltricloroetano (DDT), entre otros muchos, (Fig. 9) (Rios *et al.*, 2007; Heskett *et al.*, 2012; Bellas *et al.*, 2016), debido a su naturaleza hidrofóbica. Estas características han llevado a que algunos investigadores los declaren desechos peligrosos, lo que provoca que el creciente uso de plásticos y la gestión de sus residuos sean puntos claves para paliar las posibles consecuencias al terminar ingeridos por la biota marina.

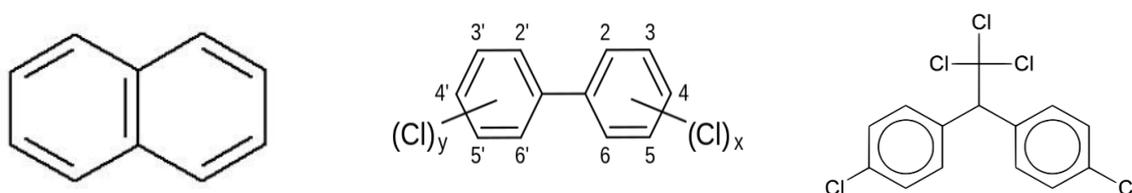


Fig. 9 a. Naftaleno (PAH). Los PAHs son productos de diferentes procesos industriales y de combustión; algunos son carcinógenos y/o mutagénicos y posibles disruptores endocrinos; **b.** Estructura química general de los PCBs. Se transmiten al ser humano principalmente por la ingestión pescados y mariscos contaminados, acumulándose en tejidos ricos en lípidos como el tejido adiposo, el cerebro o el hígado; **c.** Estructura química del DDT, insecticida utilizado durante muchos años sobre todo para el tratamiento contra el mosquito que transmite la malaria. En los seres humanos se ha comprobado que causa problemas neurológicos, mientras que en los animales produce fallos en la reproducción y desarrollo.

Tabla 3. Principales tipos y aditivos de los plásticos. Fuente: Elaboración propia, basada en **Hadladakis et al. (2018)**.

Categoría	Aditivo	Rango de cantidad típica (% p/p)	Sustancias	Información adicional
Aditivos funcionales	Plastificantes	10-70	Parafinas cloradas de cadena media y larga (SCCP/MCCP/LCCP); diisooftalato (DIHP); DHNUP; bencil ftalato de butilo (BBP); bis (2-etilhexil) ftalato (DEHP); bis (2-metoxietil) ftalato (DMEP); ftalato de dibutilo (DBP); dipentil ftalato (DPP), di- (2-etilhexil) adipato (DEHA), di-octiladipato (DOA), dietil ftalato (DEP), diisobutilftalato (DiBP); tris (2 cloroetil) fosfato (TCEP); dicitclohexil ftalato (DCHP), butil bencil ftalato (BBP), diheptil adipato (DHA), heptil adipato (HAD) y heptil octil adipato (HOA).	Alrededor del 80 % se utiliza en PVC.
	Retardante de llama	3-25 (para bromado)	Parafinas cloradas de cadena corta, media, larga (SCCP/MCCP/LCCP): ácido bórico; retardantes de llama bromados con antimonio (Sb) como sinergista (por ejemplo, difenil éteres polibromados (PBDE); decabromodifeniletano; tetrabromobisfenol A (TBBPA)); retardante de llama de fósforo (p. ej. tris (2-cloroetil) fosfato (TCEP) tris (2-clorisopropil) fosfato (TCPP)).	
	Estabilizantes, antioxidantes y estabilizadores UV	0,05-3	Bisfenol A (BPA); compuestos de cadmio y plomo; compuestos de nonilfenol; octilfenol; 1,3,5-tris (oxiran-2-ilmetil) - 1,3,5-triazinane-2,4,6-trione (TGIC)/1,3,5-tris [(2S y 2R) - 2 , 3-epoxipropil] -1,3,5- triazina-2,4,6- (1H, 3H, 5H) - triona (β-TGIC), hidroxitolueno butilado (BHT), 2- y 3-t-butil- 4 hidroxianisol (BHA), tetraquismetileno- (3,5-di-t-butil-4-hidroxihidrocinnamato) metano (Irganox 1010), y bisfenólicos como Cyanox 2246 y 425, tris-nonil-fenil fosfato (TNPP), tris (2,4-di- <i>terc</i> -butilfenil) fosfito, (Irgafos 168).	La cantidad depende de la estructura química del aditivo y del polímero plástico. Los antioxidantes fenólicos se usan en cantidades bajas y los fosfitos en cantidades altas. Cantidades más bajas en poliolefinas (LLDPE, HDPE), más altas en HIPS y ABS.
	Estabilizadores de calor	0,5-3	Compuestos de cadmio y plomo; nonilfenol (sales de bario y calcio).	Utilizado principalmente en el PVC. Basado en compuestos de Pb, Sn, Ba, Cd y Zn. Pb es el más eficiente y se usa en cantidades más bajas.
	Agentes de deslizamiento	0,1-3	Amidas de ácidos grasos (erucamida y oleamida primarias), ésteres de ácidos grasos, estearatos metálicos (por ejemplo, estearato de zinc) y ceras.	Las cantidades dependen de la estructura química del agente deslizante y del tipo de polímero plástico.

Lubricantes	0,1-3	-	-
Antiestáticos	0,1-1	-	La mayoría de los tipos son hidrófilos con el potencial de migrar al agua.
Agentes de curado	0,1-2	4,4'-diaminodifenilmetano (MDA); 2,2'-dicloro-4,4'-metilendianilina (MOCA); Formaldehído: productos de reacción con anilina; hidrazina; 1,3,5-tris (oxiran-2-ilmetil) - 1,3,5-triazinane-2,4,6-trione (TGIC) / 1,3,5-tris [(2 S y 2R) - 2 , 3-epoxipropil] -1,3,5-triazina-2,4,6- (1H, 3H, 5H) - triona (β-TGIC).	Peróxidos y otros reticuladores, catalizadores, aceleradores.
Agentes de soplado	Depende de la densidad de la espuma y la producción potencial de gas del agente.	-	Azodicarbonamida, benceno disulfonilhidrazida (BSH), pentano, CO ₂ .
Biocidas	0,001-1	Compuestos de arsénico; compuestos orgánicos de estaño; triclosan	El PVC blando y los poliuretanos espumados son los principales consumidores de biocidas. Varían en estructuras químicas e incluyen heterociclos de nitrógenosulfuros clorados y compuestos basados en Sn, Hg, As, Cu y Sb, por ejemplo, tributilestaño y 10,10'-oxibesfenoarsina.
Colorantes Soluble (p. ej. Azocolorantes)	0,25-5	-	Migran fácilmente y se utilizan en plásticos altamente transparentes. Son caros, con resistencia limitada a la luz y al calor. Se utiliza principalmente en PS, PMMA y plásticos de celulosa para dar un color transparente brillante.

Pigmentos orgánicos	0,001-0,25	Diacetato de cobalto (II).	Son insolubles con baja tendencia a la migración.	
Pigmentos inorgánicos	0,01-10	Compuestos de Cd, Cr o Pb.	Por ejemplo, sulfuro de zinc, óxido de zinc, óxido de hierro, cadmio-manganeso, cromo, ultramarino y dióxido de titanio.	
Efecto especial	Varía según el efecto y la sustancia en cuestión	-	Polvo de Al y Cu, carbonato de plomo o bismutoxicloruro y sustancias con fluorescencia. Las sustancias con fluorescencia pueden migrar, las primeras no.	
Rellenos	-	Hasta 50	-	Carbonato de calcio, charla, arcilla, óxido de zinc, luz tenue, polvo de metal, polvo de madera, asbest, sulfato de bario, microesferas de vidrio, tierra silíceas.
Refuerzos	-	15-30	-	Fibras de vidrio, fibras de carbono, fibras de aramida. 15-30% es solo para vidrio debido a su alta densidad.

La biota marina puede ingerir estos microplásticos de dos maneras. Por un lado, teniendo en cuenta el pequeño tamaño y apariencia de las partículas plásticas, estas pueden ser ingeridas intencionalmente o por confusión con los alimentos que la especie consume normalmente. Por otro lado, puede ser absorbida accidentalmente por organismos filtradores o suspensívoros (**Wesch et al., 2016**).

Cualquiera de las dos formas de alimentarse, puede provocar la entrada de las posibles sustancias peligrosas, tanto aditivos como elementos adsorbidos, presentes en los microplásticos en la cadena trófica, provocando problemas de bioacumulación y biomagnificación en caso de que se introdujeran en los tejidos (**Wesch et al., 2016**). La bioacumulación es un proceso en el que las sustancias químicas se acumulan en un ser vivo, alcanzando concentraciones superiores a las presentes en el medio que lo rodea, mientras que la biomagnificación es el incremento de la concentración de los contaminantes bioacumulados con el ascenso en la cadena trófica.

Son de particular importancia en este sentido los organismos filtradores de niveles tróficos bajos, ya que podrían introducir los microplásticos en las redes tróficas, que destacan además porque muchos son una fuente importante de consumo de alimento humano. Actualmente, se ha documentado la transferencia de microesferas plásticas de mejillones *Mytilus edulis* a cangrejos *Carcinus maenas*. Unas 24 horas tras la ingestión en mejillones, se detectaron esos microplásticos en la hemolinfa, los ovarios y las branquias de los cangrejos. A los 21 días, las partículas habían casi desaparecido (**Farrel & Nelson, 2013**). También se registró la transferencia de nanopartículas de PS en la cadena trófica del alga verde *Scenedesmus sp.*, crustáceo *Daphia mafna* y pez carpín *Carassius carassius*, siendo este último el que sufrió un cambio en su metabolismo (**Jaime et al., 2018**).

Los organismos filtradores, generalmente no se alimentan de manera selectiva, así que son propensos a ingerir microplásticos accidentalmente. Sin embargo, las especies depredadoras eligen a sus presas de forma intencional, por lo que es difícil que tengan otras vías de absorción y la ingestión de microplásticos se debe principalmente a la bioacumulación (**Murray y Cowie, 2011**). También se han descrito microplásticos en diversas especies de peces (**Tabla 4**) y en cetáceos, tanto filtradores, tales como la ballena jorobada *Megaptera novaeangliae* (**Besseling et al., 2015**), como depredadores, como puede ser el zifio de True *Mesoplodon mirus* (**Lusher et al., 2015**), e incluso en la foca *Phoca vitulina* (**Bravo Rebolledo et al., 2013**). A todos ellos se suman los ya conocidos plásticos encontrados en los estómagos de aves y tortugas marinas.

Existen ya varias evidencias de los trastornos que los microplásticos pueden producir en algunas especies. En mejillones, por ejemplo, se han observado fuertes respuestas inflamatorias, un aumento del consumo de la energía del hepatopáncreas o una actividad filtradora limitada; en copépodos, se ha comprobado un aumento de la mortalidad, una reducción de la fertilidad y una reducción de la actividad alimentaria; en la lombriz *Arenicola marina* se ha visto un incremento de la actividad fagocítica, una actividad de alimentación reducida y pérdida de peso; cáncer de hígado, trastornos endocrinos y otras patologías en el pez medaka *Oryzias latipes* (Wesch *et al.*, 2016).

Asimismo, se han descrito efectos negativos de la ingestión de microplásticos en la especie objeto de estudio de este Trabajo de Fin de Máster, la lubina (*Dicentrarchus labrax*). Mazurais *et al.*, (2015) demostraron que sus larvas tienen un gran potencial de egestión de las partículas, aunque la mortalidad de las larvas aumentó ligeramente con el número de microperlas ingeridas. Un estudio de Pedà *et al.*, (2016) mostró que la ingestión de microplásticos produce cambios severos en el intestino distal de las lubinas. En otro, se observó el efecto combinado de los microplásticos y el mercurio daban lugar a cambios en las respuestas de comportamiento, reducción de la velocidad de natación y el tiempo de resistencia, mientras que en un segundo estudio se comprobó que los microplásticos aumentaban la bioconcentración de mercurio en branquias e hígado, causando estrés oxidativo y otros daños (Barboza *et al.*, 2018).

El preocupante problema que acarrea la creciente presencia de estas partículas para la salud de los ecosistemas marinos, así como sus potenciales efectos sobre la salud humana debido a su transmisión a través de la cadena alimenticia, las ha convertido en el objeto de muchos de los estudios que se están realizando actualmente.

Tabla 4. Datos de algunas publicaciones en las que se han analizado los microplásticos ingeridos por diferentes especies de peces.

Ubicación	Digestión	Tamaño muestra (n° peces)	Pescado con MP en el tracto gastrointestinal (%)	Promedio de MP por pez ± DE	Promedio (n°) de MP ingeridos por pez ± DE (Sólo peces que han ingerido partículas)	Longitud MP	Tipos de MP (%)	Color/es predominante/s (%)	Referencia
Giro del Pacífico Norte	No	670	35	2,1 ± 5,8	5,88 ± nd	N/A	Fragmentos (94 %) Films (3 %) Otros (3 %)	Blanco, transparente y azul (89 %)	Boerger et al., (2010)
Giro del Pacífico Norte	No	141	9,2	0,11 ± nd	1,15 ± nd	>700 µm	-	-	Davison & Asch (2010)
Canal de la Mancha, Atlántico	No	504	36,5	0,7 ± nd	1,9 ± 0,1	N/A	Fibras (68,3 %) Microperlas (11,5 %) Fragmentos (16,1 %)	Negro (45,4 %)	Lusher et al., (2013)
Mar del Norte, Atlántico	10 % de KOH	1203	2,6	N/A	N/A	200 µm – 5 mm	-	-	Foekema et al., (2013)
Mediterráneo oriental	No	1504	N/A	N/A	N/A	5-60 mm	Fragmentos (56 %) Films (22 %) Redes de pesca (19 %) Fibras textiles (3 %)	Azul Marrón Negro Verde transparente	Anastasopoulou et al., (2013)
Golfo de México	No	419	8,2	N/A	N/A	N/A	Fibras (1,3 - 3,8 %) Fragmentos (2,6 – 2,7 %)	N/A	Phillips & Bonner (2015)

								Films (2,6 - 3,1 %)		
		116	10,4					Filamentos (3,8%) Fragmentos (2,6%) Films (2,6%)		
Costa de Portugal, Atlántico	No	263	19,8	0,27 ± 0,63	1,4 ± 0,7	N/A		Fibras (65,8 %) Fragmentos (34,5 %)	N/A	Neves <i>et al.</i> , (2015)
Mar Adriático	10 tratamientos diferentes	125	28	0,39 ± nd	1,39 ± nd	<5 mm		Fragmentos (57 %) Fibras (23 %) Films (11 %) Pellets (9 %)	N/A	Avio <i>et al.</i> , (2015)
Italia, Mediterráneo	No	121	18,2	0,24 ± nd	1,32 ± nd	N/A, medido 0,63 mm – 164,50 mm	-	Transparente Blanco Amarillo Azul		Romeo <i>et al.</i> , (2015)
Mar del Norte y Báltico	No	290	5,5	0,08 ± nd	1,44 ± nd	500 µm – 5 mm		Fragmentos (Más 50 %)	Blanco, negro, azul	claros, azul, Rummel <i>et al.</i>, (2016)
Mar del Norte y Báltico	150 mL KOH and 150 mL NaClO ₄ para 700 mL de agua	406	23	0,24 ± nd	N/A	>100 µm		Fibras textiles (83 %)	Verde, negro	azul, Lenz <i>et al.</i>, (2016)
Australia y Océano Austral	No	342	0,3	0,01 ± nd	2 ± nd	>330 µm		N/A	Verde-marrón	Cannon <i>et al.</i>, (2016)
Puerto urbano de Sudáfrica	No	70	73	3,8 ± 4,7	5,1 ± nd	N/A, medido 200 µm – 15 mm	-		Blanco y transparente	Naidoo <i>et al.</i>, (2016)

Tokyo Bay	10 % de KOH	64	77	2,34 ± 2,5	3,06 ± nd	>200 µm	Fragmentos (86 %) Esferas (7,3 %)	-	Tanaka & Takada (2016)
Atlántico Norte	10 % de KOH	761	11	0,13 ± nd	1,2 ± 0,5	250 µm – 5 mm (6 % > 5 mm)	Fibras (93 %) Fragmentos (3 %)	Negro (42 %) Azul (34 %) Gris (10 %)	Lusher et al., (2016)
Costa Noruega	No	302	3	0,05 ± nd	1,77 ± nd	N/A, medido 3,2 mm – 41,7 mm	N/A	N/A	Bråte et al., (2016)
Islas Baleares, Mediterráneo	No	337	57,8	2,17 ± nd	3,75 ± 0,25	≤ 5 mm	Fibras (100 %)	N/A	Nadal et al., (2016)
España, Atlántico y Mediterráneo	NaOH 1 M	212	17,5	0,27 ± nd	1,56 ± 0,50	0,38 mm – 3,1 mm	Fibras (71 %) Esferas (24 %) Films (3,2 %) Fragmentos (1,6 %)	Negro (51 %) Rojo (13 %) Gris (12,7 %)	Bellas et al., (2016)
Turquía mediterránea	35 % H ₂ O ₂	1337	58	1,36 ± nd	2,36 ± nd	26 µm – 5 mm	Fibras (70 %) Plástico duro (20,8 %)	Azul	Güven et al., (2017)
Brasil	No	2233	9	1,06 ± 0,30	N/A	N/A	Fibras (90 %) Films (6 %) Fragmentos (4 %)	N/A	Vendel et al., (2017)
Mediterráneo, Islas Baleares	No	125	16,8	N/A	0,34 ± 0,07	N/A	Fibras (86,36 %) Fragmentos (12,12 %) Films (1,51 %)	Transparente (42,42 %) Azul (31,82 %) Negro (12,12 %)	Alomar & Deudero (2017)
Mar del Norte, Atlántico	10 % de KOH	400	0,25	N/A	N/A	300-400 µm	Esferas	Transparente	Hermesen et al., (2017)

China	30 % H ₂ O ₂	378	100	N/A	N/A	0,04- 5 mm	Fibras Fragmentos	Transparente, negro y azul	Jabeen et al., (2017)
		108	95,7						
Atlántico nororiental, Escocia	No	128	47,7	0,6 ± 1,3	1,8 ± 1,7	0,1- 15 mm	Fibras (82,1 %) Esferas (13,7 %) Escamas (3,4 %)	Negro (43 %) Claros (21,9 %) Azul (13,2 %)	Murphy et al., (2017)
		84	2,4						
Costa del Golfo, Texas	No	1381	42	1,93	N/A	N/A	Fibras (>80 %) Microperlas (>25,3 %)	Azul o azul- morado Rojo – amarillo	Peters et al., (2017)
Estuario del río de la plata, Argentina	30% H ₂ O ₂	87	100	19	N/A	N/A	Fibras (96 %) Otros (4 %)	Azul	Pazos et al., (2017)
Río Pajeú, Brasil	No	48	83	3,6	N/A	N/A	Fibras (47 %) Partículas blandas (36 %) Partículas duras (17,4 %)	N/A	Silva-Cavalcanti et al., (2017)
Canal de la Mancha, Atlántico	No	347	2,9	N/A	N/A	100 – 1100 µm (fibras) 50 – 100 µm (fragmentos)	Fibras (83 %) Fragmentos (17 %)	Azul y rojo	Steer et al., (2017)
Costa española, Mediterráneo occidental	No	210	14,8	N/A	N/A	N/A	Fibras (83 %) Fragmentos (17 %)	Azul (45,8 %) Transparente (20,8 %) Negro (12 %)	Compa et al., (2018)
Playa Garopaba, Brasil	No	122	49,17	N/A	N/A	N/A	Actividad pesquera (63 %)	N/A	Cardozo et al., (2018)

Estuario de Goiana, Atlántico occidental	No	552	51	3,03 ± 4,06	N/A	N/A	Fibras (99,9 %)	Azul (44,6 %) Púrpura (19,8 %) Negro (13,4 %)	Ferreira et al., (2018)
Mar Adriático, Atlántico	10% de KOH	533	95	1,73 ± 0,05 (2014) 1,64 ± 0,1 (2015)	N/A	N/A	Fragmentos (72 %) Fibras (28 %)	N/A	Pellini et al., (2018)
Pacífico suroriental	No	292	2,1			1,1 - 4,9 mm	Fragmento (0,67%) Filamento (0,33%)	N/A	Ory et al., (2018)
Costa este de Hong Kong, Pacífico	30 % H ₂ O ₂	30	60	4,3 ± nd		0,1 – 4,9 mm (90% < 2 mm); tamaño promedio 1,18 ± 0,77)	Fibras (60 %) Fragmentos (34 %) Láminas (6 %)	Verde (44 %) Azul (16 %) Negro (15 %)	Cheung et al., (2018)
		30	16,7	0,2 ± nd			Fibras (100 %)	Azul 33 %	
Puerto de Sydney, Australia	No	24	25	1,6 ± 0,8	N/A	N/A	Fibras (83 %) Gránulo (17 %)	N/A	Halstead et al., (2018)
		45	64	4,6 ± 1,2					
		24	21	0,2 ± 0,1					
Estuario de Mondego, Portugal	10 % de KOH	40	23	0,30 ± 0,61	N/A	N/A	Fibras (96 %) Fragmentos (4 %)	Azul (47 %) Transparente (30 %) Negro (11 %)	Bessa et al., (2018)
		40	73	3,14 ± 3,25					
		40	13	0,18 ± 0,55					
Mar Adriático, Mar Mediterráneo	30 % H ₂ O ₂	20	95	9,5 ± 8,4	N/A	N/A	Filamentos (75,6 %)	N/A	Anastasopoulou et al., (2018)
		20	100	7,3 ± 6,6					
		20	75	7,3 ± 6,6					

			30	70	$1,9 \pm 2,7$				Filamentos (97,7 %)		
			30	50	$1 \pm 1,6$						
			30	37	$0,9 \pm 1,4$						
			25	32	$0,5 \pm 0,8$				Filamentos (79%)		
			19	42	$0,8 \pm 1$						
			36	47	$0,8 \pm 1,1$						
Islas Atlántico	Canarias,	10 % de KOH	120	78,4	$2,17 \pm 2,04$	$2,77 \pm 1,91$	0,035 mm	– 29,5	Fibras (74,2 %) Fragmentos (11,93 %) Pintura (11,54 %) Filamentos (1,54 %) Films (0,77 %)	Azul (55 %) Negro u oscuro (23,5 %)	Herrera et al., (2019)

1.4.- Acuicultura en Tenerife (Islas Canarias)

La acuicultura es, probablemente, el sector de producción de alimentos con un crecimiento más rápido, llegando a representar un casi el 50 % de los productos pesqueros destinados a alimentación^{5 6}. En Canarias, comenzó en la década de los 80, aunque no fue hasta finales de la década siguiente cuando se estableció como industria. Generalmente, en el archipiélago sólo se realiza la última fase del cultivo, el engorde, en jaulas marinas flotantes⁷.

Cabe destacar que, la calidad y la temperatura de las aguas del archipiélago permiten alcanzar la talla comercial en un tiempo inferior, permitiendo ofrecer gran variedad de tallas dependiendo de la demanda existente en el momento⁷.

1.4.1.- Cultivo de lubina

La lubina (*Dicentrarchus labrax*) (**Fig. 10**) es un pez de cuerpo alargado y comprimido lateralmente, de color plateado, con una longitud máxima de 103 cm, aunque es común encontrarlo en torno a los 50 cm.



Fig. 10 Fotografía de una lubina (*Dicentrarchus labrax*). Fuente: Fishbase (Autor: Crocetta, Fabio).

Se distribuye en el Atlántico oriental, desde Islandia y Noruega hasta Senegal, incluyendo Canarias, el Mediterráneo y el Mar Negro (**Fig. 11**). Es una especie demersal que habita en aguas costeras de hasta 100 m de profundidad, en varios tipos de fondos de estuarios y lagunas y, ocasionalmente, en las desembocaduras de ríos, aunque en la zona norte migran a aguas más profundas de alta mar durante el invierno. Los juveniles forman pequeños grupos y se alimentan de gusanos, crustáceos y copépodos, mientras que los adultos tienden a ser menos gregarios y se alimentan principalmente de peces pequeños⁸.



Fig. 11 Distribución de la lubina (*Dicentrarchus labrax*). Fuente: *Fishbase*.

La lubina es una especie con gran interés comercial que se cultivaba históricamente en lagunas costeras y embalses de marea antes de que comenzara la carrera por su producción masiva finales de los años 60 entre Francia e Italia. Inicialmente, su cultivo estuvo asociado con la producción de sal por evaporación en bateas y pantanos costeros: la sal era recolectada en el verano y el otoño, y los demás meses eran utilizados para cultivar las lubinas capturadas en estuarios. A finales de los 70, técnicas fiables que podían proveer de cientos de miles de larvas fueron desarrolladas en los países mediterráneos, convirtiendo a la lubina en la primera especie marina no salmónida que se comercializó en Europa. Actualmente, se producen varios cientos de miles de toneladas al año y es el pez comercial más importante y ampliamente cultivado en el Mediterráneo cuyos principales productores son Grecia, Turquía, España, Croacia y Egipto⁹ (**Fig. 12**).

Según datos de la Asociación Empresarial de Acuicultura de España (APROMAR)¹⁰, la acuicultura superó la producción de la pesca en el año 2017, siendo España el estado miembro con un mayor cultivo de acuicultura, unas 311.032 toneladas, cifra que aumentó en el 2018 hasta casi las 350.000 toneladas. A nivel nacional, las especies más producidas fueron el mejillón, la lubina y la trucha arco iris, un ranking en el que Canarias se situó como la segunda

comunidad con mayor producción de lubinas, sólo por detrás de Murcia, acaparando el 26 % de la producción española (APROMAR- La acuicultura en España, 2019).

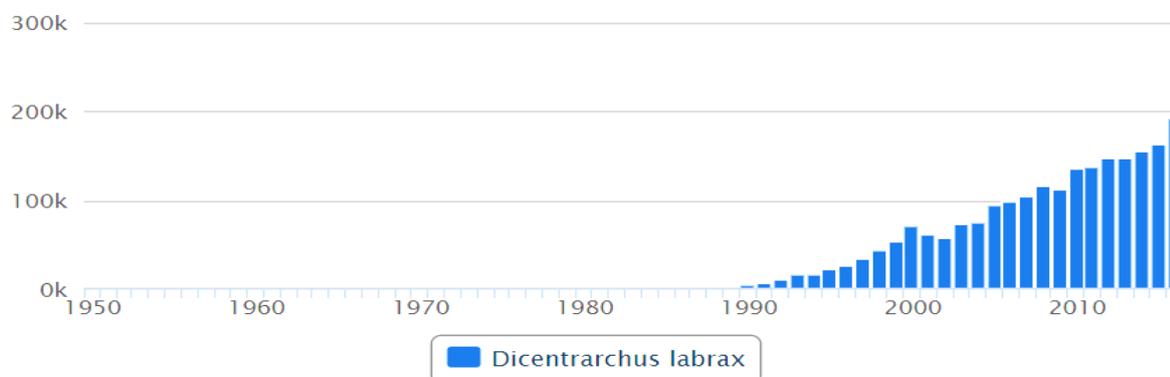


Fig. 12 Evolución del número de toneladas de lubinas producidas por año mundialmente. Fuente: FAO *FishStat*.

En Canarias, su regulación se establece actualmente a través del Plan Regional de Ordenación de la Acuicultura (PROAC), en el que se señalan las zonas marítimo-terrestres prohibidas, aptas y de interés para la acuicultura (Z.I.A.), la localización de las explotaciones acuícolas existentes, las especies prohibidas y de interés acuícola, y se fijan los tipos de establecimientos acuícolas y las características técnicas de las mismas (**Decreto 102/2018, de 9 de julio por el que se aprueba definitivamente el Plan Regional Ordenación Acuicultura de Canarias-PROAC**).

El PROAC, aprobó 30 zonas de interés para la acuicultura en el archipiélago, estando siete de ellas ubicadas en Tenerife (**Fig. 10**). Estas últimas pueden producir un total de 34000 toneladas (**Tabla 5**) y su ubicación (**Fig. 13**) y características (**Fig. 14**) se establecen en la misma normativa. Asimismo, se describen las especies de interés para este tipo de actividad en el archipiélago, entre las que se encuentra la especie objeto de este estudio (**Tabla 6**).



Fig. 13 Localización de las siete Z.I.A establecidas según el PROAC en Tenerife.

Tabla 5. Código, ubicación y producción máxima de las siete Z.I.A. ubicadas en Tenerife según el PROAC.

Código Z.I.A.	Tramo	Producción Máxima (Tn)
Z.I.A-TF -1	Punta del Sabinal- Punta de Antequera	8000
Z.I.A-TF -2	Los Altillos – Punta de La Arenita	3000
Z.I.A-TF -3	Punta del Viento – Punta del Levitero	6000
Z.I.A-TF -4	Punta del Callao – Este de Punta Salema	2000
Z.I.A-TF -5	Playas de Troya - Punta El Becerro	10000
Z.I.A-TF -6	Punta Negra – Punta de Ajabo	1000
Z.I.A-TF -7	Punta de Isorana – El Roque	4000

Cabe destacar que en las Islas Canarias su presencia es cada vez más frecuente, debido a los escapes que se producen en las jaulas, aunque existen poblaciones naturales en algunas zonas de Lanzarote y Fuerteventura. También se distribuyen por Gran Canaria, Tenerife y La Palma, pero aquí han sido introducidas, aunque hasta ahora no representan una amenaza para los ecosistemas locales, ya que no se ha comprobado que se reproduzcan en el medio natural ni formen poblaciones, sino que se mantienen a base de los individuos escapados (**Espino *et al.*, 2018**).

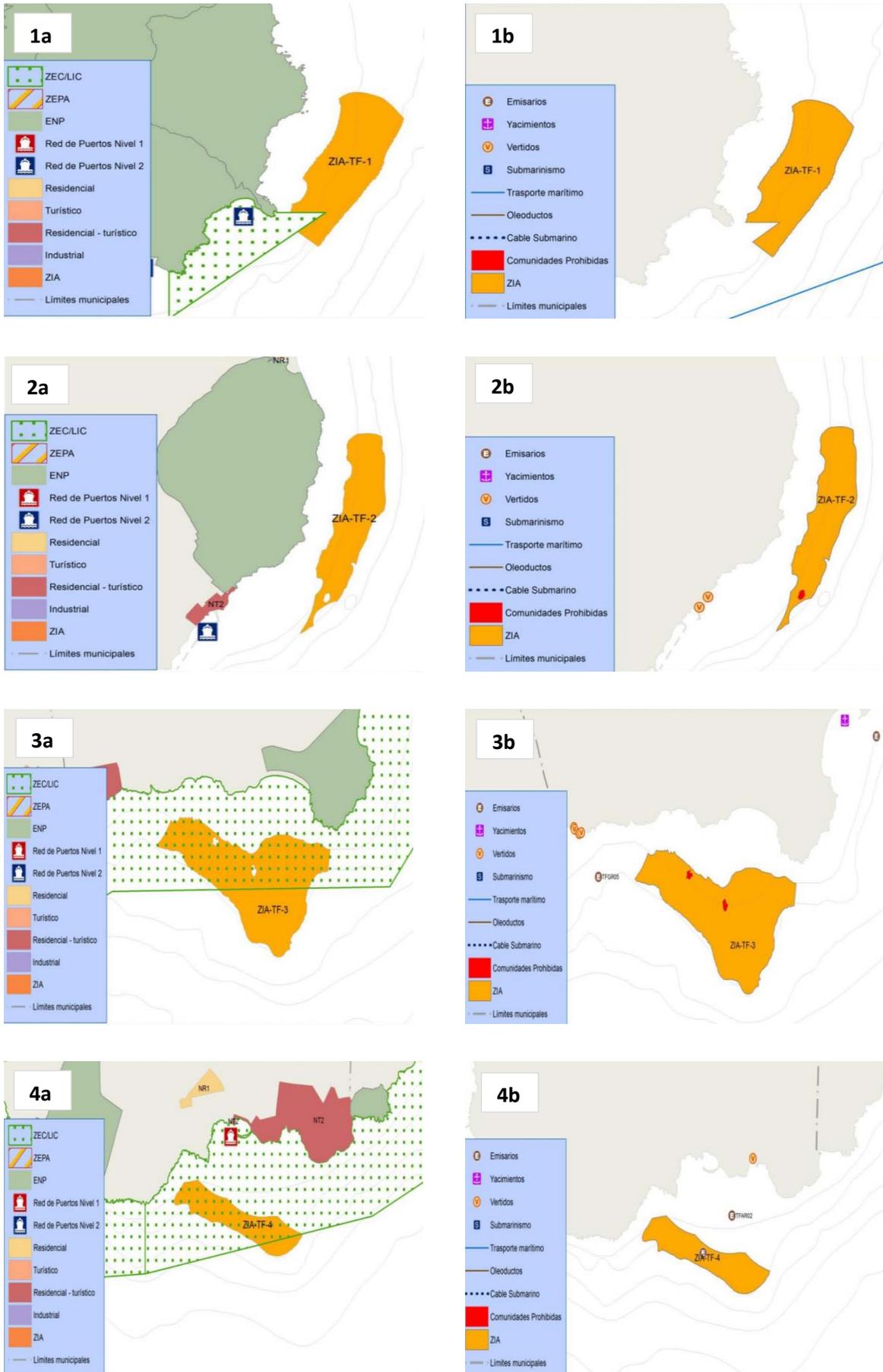


Fig. 14. Características de las siete Z.I.A. presentes en Tenerife según el PROAC. Columna a: Información del entorno. Columna b: Afecciones a la Z.I.A.

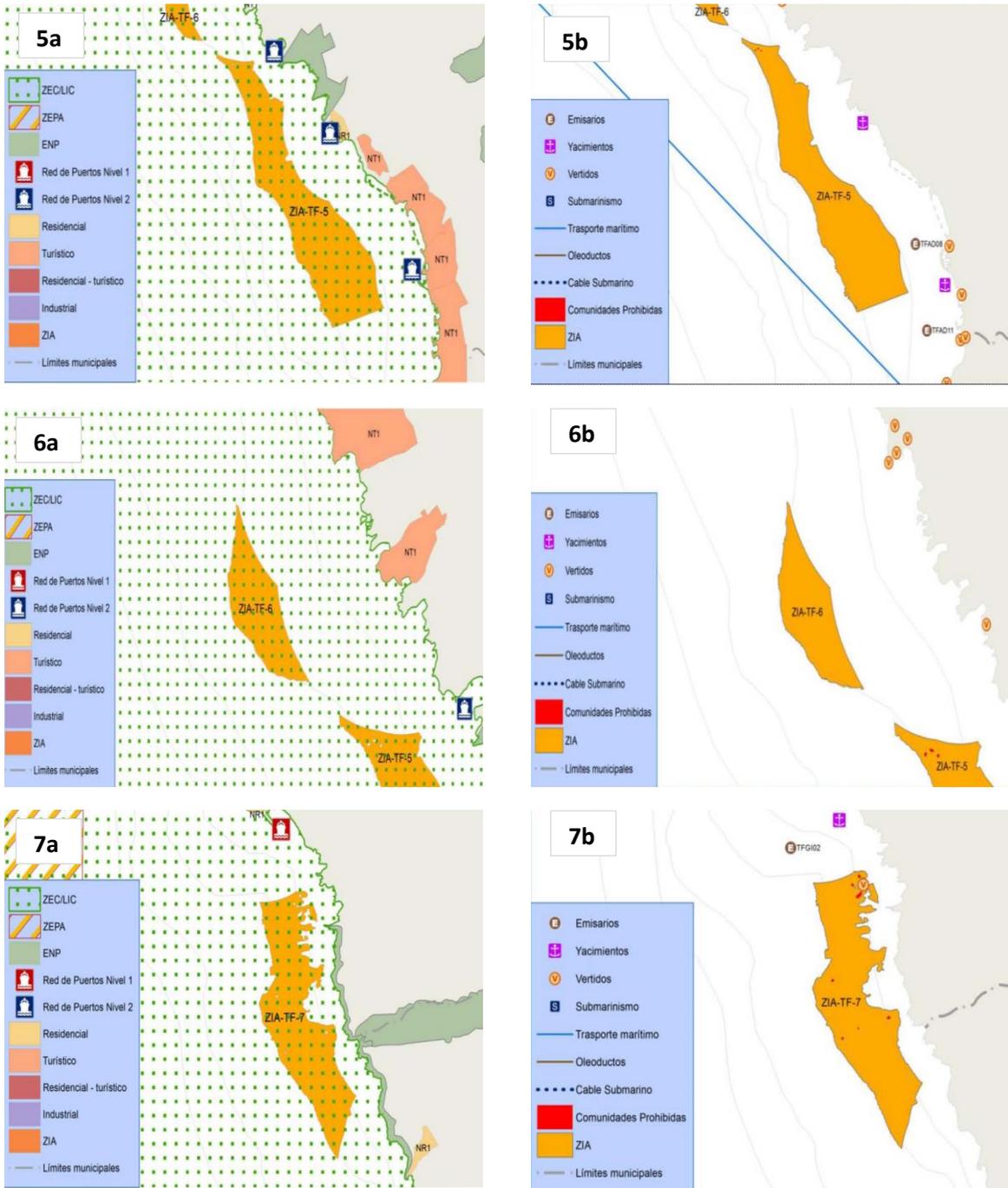


Fig. 14. Características de las siete Z.I.A. presentes en Tenerife según el PROAC. Columna a: Información del entorno. Columna b: Afecciones a la Z.I.A. (CONTINUACIÓN)

Tabla 6. Especies de peces cuyo cultivo está permitido en las Islas Canarias (especies de interés para la acuicultura). Fuente: PROAC.

Especie	Ámbito
Atún aleta amarilla (<i>Thunnus albacares</i>)	Marino
Atún patudo (<i>Thunnus obesus</i>)	Marino
Atún patudo (<i>Thunnus obesus</i>)	Marino
Atún rojo (<i>Thunnus thynnus</i>)	Marino
Besugo (<i>Pagellus bogaraveo</i>)	Marino
Bocinegro (<i>Pagrus pagrus</i>)	Marino
Caballito de mar (<i>Hippocampus hippocampus</i>)	Terrestre
Cianobacteria <i>Arthrospira platensis</i>	Terrestre
Cianobacteria <i>Arthrospira subsalsa</i>	Terrestre
Diatomea <i>Chaetoceros sp.</i>	Terrestre
Dorada (<i>Sparus aurata</i>)	Marino
Langostino (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	Terrestre
Langostino (<i>Penaeus monodon</i>)	Terrestre
Lenguado (<i>Solea senegalensis</i>)	Terrestre
Lubina (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	Marino
Medregal (<i>Seriola dumeliri</i>)	Marino
Microalga <i>Dunaliella salina</i>	Terrestre
Microalga <i>Tetraselmis sp.</i>	Terrestre
Oreja de mar (<i>Haliotis coccinea canariensis</i>)	Terrestre/Marino
Pulpo (<i>Octopus vulgaris</i>)	Marino
Rodaballo (<i>Psetta maxima</i>)	Terrestre
Sargo picudo (<i>Diplodus puntazzo</i>)	Marino

1.4.2.- Características de las aguas y fondos canarios

Las islas Canarias están situadas en el noreste del océano Atlántico, a una latitud comprendida entre 29° 24'40'' y 27° 38'16'' y una longitud que abarca desde los 13° 19'54'' hasta los 18°09'38'', situándose a casi 100 km de la costa africana. Son de origen volcánico y

muchas de sus costas están caracterizadas por sus grandes acantilados, siendo poca la existencia de playas naturales en muchas de las islas.

La temperatura de sus aguas superficiales, de carácter cálido-templado y sin apenas variaciones estacionales, se mueve entre los 17-18 °C en invierno y los 22-23 °C en verano. Sus características se ven determinadas por la confluencia de varios procesos naturales, como son los vientos alisios, de componente norte o nordeste generados por el anticiclón de las Azores que desplazan las aguas más superficiales; la Corriente de Canarias, una corriente de agua fría procedente del norte-nordeste, que es a su vez un ramal de la conocida Corriente del Golfo; y el banco canario-sahariano, un afloramiento de aguas profundas, hiposalinas y muy ricas en nutrientes que se produce en la costa africana (**Gobierno de Canarias - El mar de Canarias: Un archipiélago en medio del Atlántico Norte**).

A ello se suma la abrupta batimetría de sus fondos, en los que las estrechas plataformas y la pronunciada pendiente, otorgan a las zonas cercanas a la costa características de mar abierto. Todos estos rasgos oceanográficos diferenciados favorecen la gran diversidad de especies y ecosistemas marinos presentes en las islas y que sean óptimas para el cultivo de múltiples especies.

2.- OBJETIVO

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Máster es la determinación de la presencia o ausencia de microplásticos en estómagos de lubina (*Dicentrarchus labrax*) cultivada en Canarias, así como clasificar los microplásticos encontrados, en caso de hacerlo, por su forma, tamaño y color.

3.- MATERIAL Y MÉTODOS

3.1.- Reactivos y disoluciones

- Hidróxido de potasio (KOH) para análisis EEMSURE ® Merck.
- Agua desionizada.
- Disolución de KOH al 10 % p/v.

3.2.- Materiales

- Bata antipartículas blanca de algodón con capucha de protección desechable.
- Guantes de nitrilo.
- Tabla con regla de medición para medir la longitud de los diferentes especímenes (elaboración propia) (**Fig. 15a**).
- Tijeras de acero inoxidable (VWR® International).
- Placas de Petri de polietileno de 90 x 14 mm de diámetro (VWR® Collection).
- Placas de Petri de polietileno de 55 x 14 mm de diámetro (VWR® Collection).
- Vasos de precipitado de 100 mL (VWR® International).
- Vasos de precipitado de 50 mL (VWR® International).
- Sistema de filtrado al vacío con un embudo Büchner (**Fig. 15c y 15d**).
- Malla en acero inoxidable AISI-304 Luz: 50 micras; hilo: 0,030 mm; ancho: 1 m.

3.3.- Equipos

3.3.1.- Instrumentos

- Balanza analítica (Sartorius) con precisión de 0,1 mg y capacidad máxima de 220 g, serie LP (VWR® Collection) (**Fig. 15b**).

3.3.2.- Aparatos

- Estufa/Incubadora microbiológica INCU-Line (VWR® Internacional) (**Fig. 15e**).
- Estereomicroscopio o lupa binocular modelo DM2000 equipado con una cámara digital modelo DF290 (**Fig. 15f**).

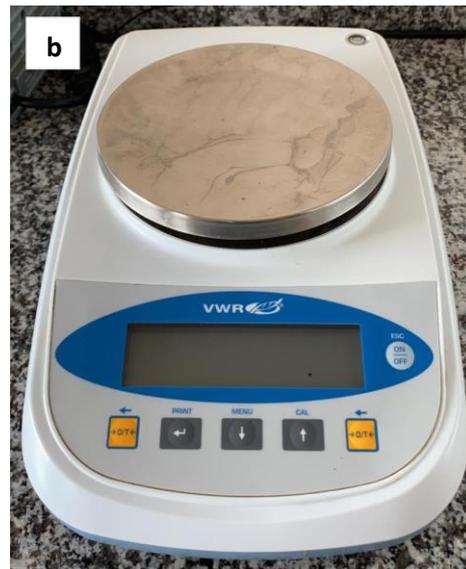


Fig. 15 Algunos instrumentos y aparatos utilizados durante el estudio. **a.** Tabla con regla de medición; **b.** Balanza analítica; **c.** y **d.** Sistema de filtrado a vacío. **e.** Estufa/incubadora microbológica; **f.** Lupa binocular equipada con cámara fotográfica.

3.4.- Procesamiento de las muestras

Se analizaron 55 ejemplares adquiridos en los mercados locales de Tenerife, todos capturados en la isla de Tenerife y procedentes de cultivos (**Fig. 16**). Fueron medidos (longitud furcal y longitud estándar) (**Fig. 17**) y pesados antes de realizar la extracción del aparato digestivo.

G.R.M., S.L. C/ Seguidillas 84, pol. ind. Llano del Camello- San Miguel (Santa Cruz de Tenerife)		PRODUCTO / ARTICLE LUBINA <i>Dicentrarchus Labrax</i> Código 3-Alfa: BSS		PRESENTACION Apresentação / Presentator Irisho Cluistaro C Zona Fao 34 (atlántico centro este)	
Fecha captura 24/10/2019 Date Capture	Frescura Freshness E	Pais de Origen Poís Origen / Country of Origin ESPAÑA ESPANHA / SPAIN	Tamaño Tamanho / Size 600-800	Piezas Peixes/Pieces	
Fecha Caducidad 07/11/2019 Expiration Date	METODO DE PRODUCCION Metodo de Produção / Catch Acuicultura Acuicultura / Fishfarm				

Fig. 16 Ejemplo de etiqueta identificativa de las lubinas adquiridas en la que se incluye la fecha y lugar de captura y el método de producción, entre otros.



Fig. 17 Esquema de las longitudes utilizadas durante el proceso.

Los aparatos digestivos se extrajeron desde el esófago hasta el intestino (**Fig. 18**). Después, fueron pesados y colocados en placas de Petri, que se introdujeron inmediatamente en un congelador a -20°C para su posterior manipulación.

Una vez descongelados, se rasparon en toda su extensión y se vertió su contenido en vasos de precipitado, cubriéndolos con una disolución de KOH al 10 % (**Fig. 19a**). A continuación, se introdujeron los vasos en la estufa a 60°C durante 24 horas (**Fig. 19b**) (*Dehaut et al., 2016*).



Fig. 18 Extracción de los tractos digestivos*. **a.** Ejemplar con tracto digestivo extraído; **b.** Tracto digestivo extraído y sin limpiar; **c.** Tracto digestivo extraído y limpio y separado de la grasa que lo rodeaba.

*Debido a la situación causada por la pandemia, no se pudo completar el estudio que se tenía previsto ni sacar las fotos pensada para las últimas extracciones. Por ello, las imágenes utilizadas en esta figura pertenecen a uno de los primeros ejemplares, utilizados como ejemplos de una extracción y no incluidos en este estudio.

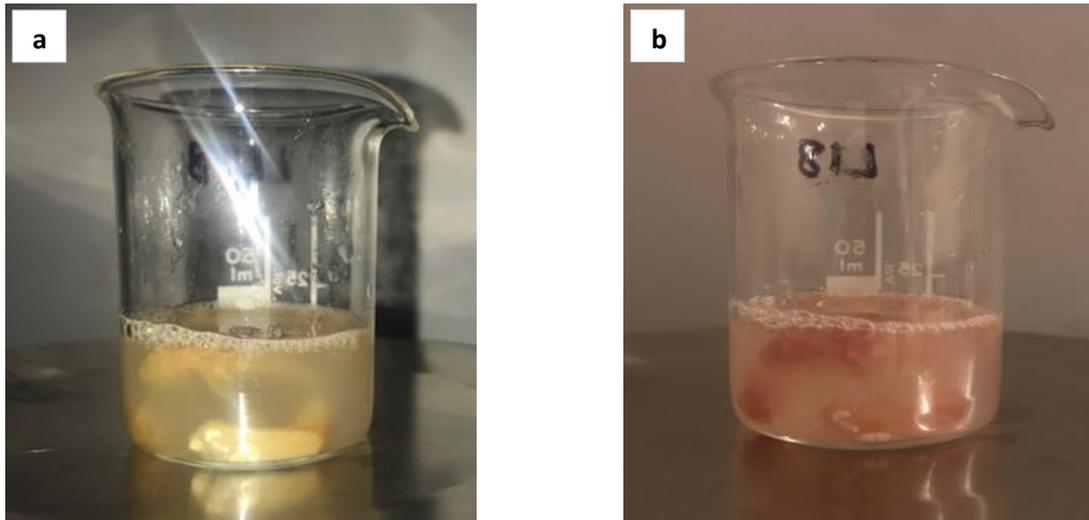


Fig. 19 a. Contenido estomacal inmerso en una disolución de KOH al 10 % antes de su introducción en la estufa durante 24 h a 60 °C; **b.** Contenido estomacal inmerso en una disolución de KOH al 10 % después de su digestión.

A continuación, se llevó a cabo el filtrado de cada una de las muestras a través de un embudo Büchner con una malla de acero inoxidable de 50 μm , la cual se colocó cuidadosamente en placas de Petri que se sellaban hasta su posterior visualización.

Finalmente, se realizó la observación en la lupa binocular equipada con una cámara, en la que llevó a cabo el conteo del número de microplásticos y se determinó su color, tomando una foto de cada uno de ellos. Dichas fotografías se utilizaron para realizar las mediciones en el programa *AlphaFocusImage* (**Fig. 20**), utilizando varias imágenes para saber las dimensiones exactas del microplástico si este no se observaba claro y completo en un solo enfoque.

Durante todo el proceso de extracción de las muestras se utilizaron trajes de aislamiento y guantes, intentando disminuir con ellos el riesgo de contaminación por fibras textiles. Además, tanto en el proceso de extracción como de observación se colocaron al lado del lugar de trabajo placas de Petri con una malla utilizada para filtrar, de modo que, si era encontrada alguna fibra en la misma, la muestra se descartaba.

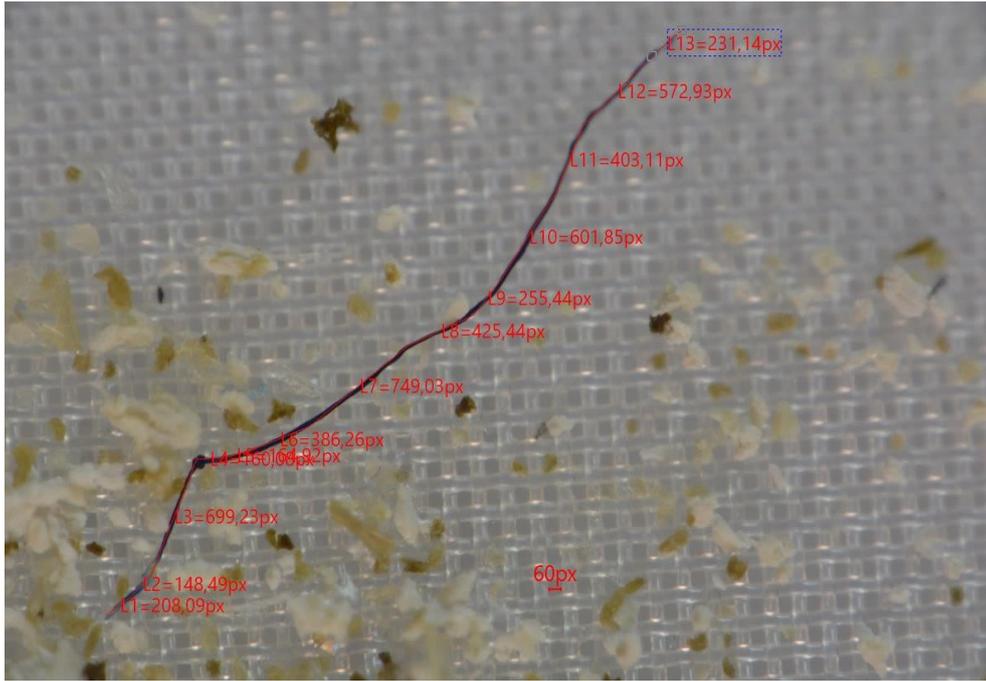


Fig. 20 Detalle de la imagen de una microfibra tomada con la cámara de la lupa con las mediciones realizadas en el programa *AlphaFocusImage*.

4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta la información anteriormente comentada, la importancia de la especie en el sector y los daños que se ha comprobado que puede causar la ingestión de microplásticos en ella, sin olvidar los aún desconocidos que quizás podría causar a través del consumo humano, hacen que el estudio sobre la presencia de microplásticos en peces sea necesario para salvaguardar la salud de los propios peces como la humana, así como para, quizás, aumentar la rentabilidad (por ejemplo, si se evitan los problemas que pueden causar en la reproducción o altas tasas de mortalidad) y mantener la calidad del producto acuícola, dado que esta se podría ver en peligro. Además, indudablemente, conocer la contaminación por microplásticos y toda su problemática es un factor crucial para mantener el buen estado de los ecosistemas, con todos los numerosos beneficios que ello conlleva.

En este estudio, de los 55 ejemplares adquiridos inicialmente, sólo se reflejarán en los resultados 45, ya que 4 fueron descartados al romperse el estómago durante el proceso de extracción, mientras que otros 6 lo tenían totalmente lleno, lo que hizo imposible su filtrado al obstruirse el sistema de filtración.

En general, sus longitudes y pesos fueron bastante homogéneos (ver **ANEXO 1**), datos que concuerdan con su característica de ser ejemplares cultivados, donde son extraídos al alcanzar la talla de comercialización. Asimismo, esa homogeneidad se trasladó al peso de sus tractos digestivos, fundamentada en este caso por ser individuos de la misma especie y tamaño (ver **ANEXO 1**). En valores medios, la longitud furcal de los individuos fue 37,5 cm y la longitud estándar 33,7 cm, mientras que el valor del peso total resultó ser 660,50 g y el de los tractos digestivos extraídos 11,03 g (**Tabla 7**).

Tabla 7. Valores medios de longitud y peso de los 45 individuos analizados.

LF (cm)	LE (cm)	Peso_{ind} (g)	Peso_{td} (g)
37,52	33,74	660,50	11,03

LF (longitud furcal), LE (longitud estándar), Peso_{ind} (peso individuo) y Peso_{td} (peso tracto digestivo)

El total de microplásticos encontrados en los 45 ejemplares ascendió a 97 (**Tabla 9**), presentes en 30 de los individuos (66,7 %) (**Fig. 21a**). Hubo una variedad notable en el número de microplásticos encontrados en cada lubina (entre 0 y 8 unidades/individuo), obteniendo una media de 2,2 unidades por espécimen, teniendo en cuenta para el cálculo los 45 ejemplares, cifra que disminuye a 3,2 si se evalúan sólo las 30 lubinas que presentan microplásticos (**Fig.**

22). Estos resultados, en los que más de la mitad de las muestras presentan microplásticos en sus estómagos, incluso hasta con 8 partículas plásticas en un solo ejemplar, podría ser una evidencia más de la alta contaminación que sufren los océanos. Esta presencia de microplásticos en peces queda evidencia por los cada vez más numerosos estudios de la última década (ver **Tabla 4**).

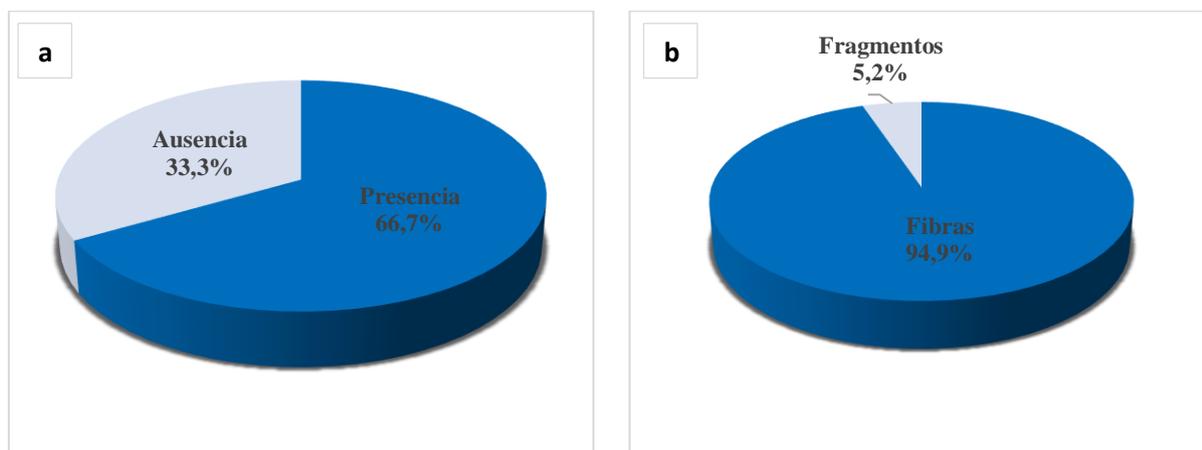


Fig. 21 a. Porcentaje de lubinas con ausencia o presencia de microplásticos; **b.** Tipos de microplásticos observados.

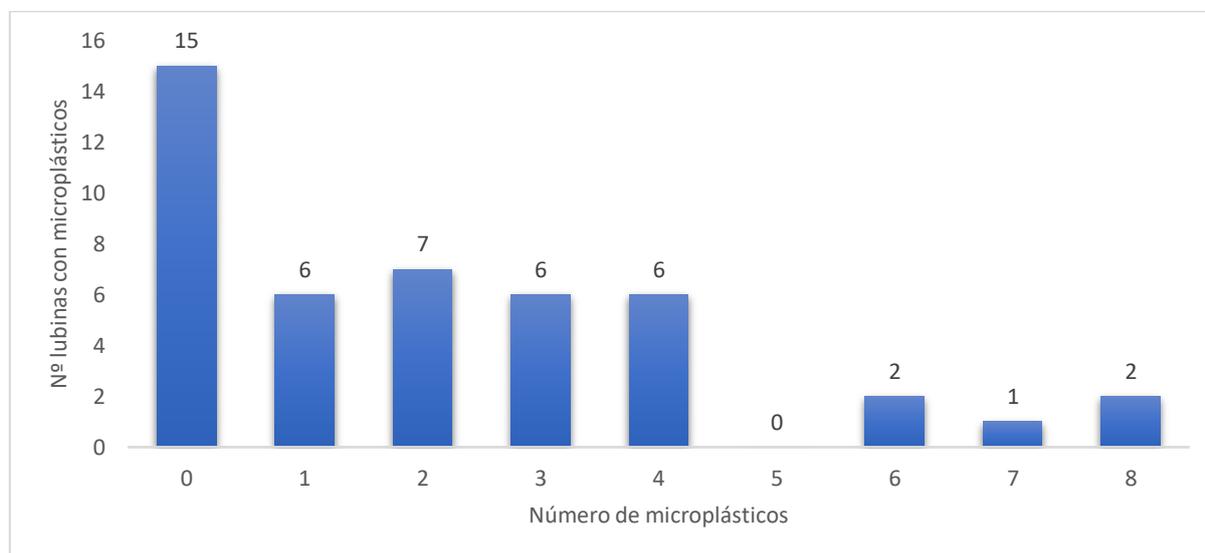


Fig. 22 Número de lubinas con un número determinado de microplásticos en sus estómagos.

Los microplásticos detectados fueron en su mayoría fibras, un total de 92 (94,6 %), además de un pequeño porcentaje de fragmentos formado por 5 unidades (5,4 %) (**Fig. 21**). Esto estaría respaldado por algunos autores cuyos datos indican que los plásticos más consumidos en el mundo son los *pellets* (257000 kt/año mundialmente), usados para crear otros

productos plásticos de mayor tamaño (que podrían dar después lugar a los fragmentos a ser desechados) y las prendas textiles (42534 kt/año a nivel mundial) (Boucher y Friot, 2017), cuyas fibras plásticas llegan al mar a través de las aguas residuales (a modo de ejemplo, un pantalón vaquero puede liberar 56000 ± 4100 fibras (Bouwmeester *et al.*, 2015)). Además de las anteriores, no se encontraron otras formas.

Cabe destacar que los ejemplares analizados en este estudio proceden de jaulas de acuicultura ubicadas en el mar, relativamente cerca de la costa, en las zonas aptas para la acuicultura declaradas en la isla. Seis de esas siete zonas presentan vertidos o emisarios muy cercanos (Fig. 14), por lo que la alta tasa de ingestión de microplásticos de esta especie pelágica (en particular de microfibras) podría estar relacionada con la ubicación de dichas jaulas. Sin embargo, al no existir estudios precedentes ni del lugar ni de la especie en estado salvaje, no se pueden hacer comparativas ni extraer datos concluyentes para saber si realmente esto tiene verdadera influencia o se debe a la contaminación que se extiende por todo el medio marino del archipiélago.

Por otro lado, respecto al color, los microplásticos presentaron una amplia gama de colores, siendo los más comunes el azul (46 %) y el negro (presente sólo en las fibras) (33 %) (Fig. 23 y 25). En cuanto a la coloración de los fragmentos sólo se observó el azul y el naranja (Fig. 23 y 24). Esta predominancia del azul es indiscutible si se observan los trabajos similares publicados (ver Tabla 4). Este hecho podría estar relacionado con la confusión que podría generar dicho color, llevando a ingerir los microplásticos a algunas especies al pensar que forman parte de sus presas naturales, como pueden ser los copépodos azules (Herrera *et al.* 2019).

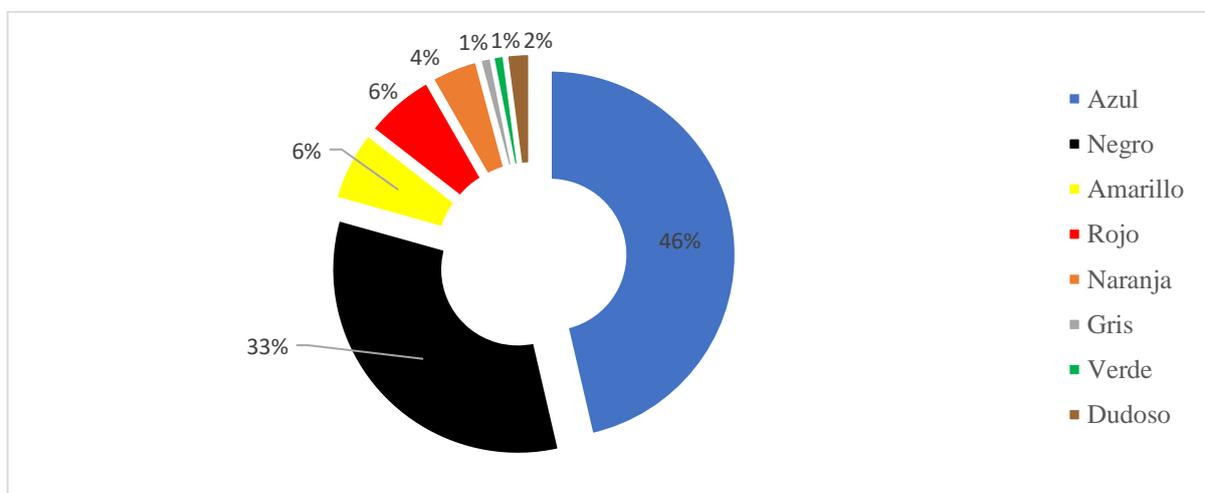


Fig. 23 Distribución (en porcentaje) de los colores encontrados en los microplásticos.

En lo que se refiere al tamaño, sólo 5 fibras superaron los 5 mm y sólo 11 tenían un tamaño inferior a 1 mm, teniendo la mayoría una longitud que varía entre esos valores. Así, siguiendo la clasificación de tamaño de **Crawford y Quinn (2017)**, el 82,6 % de las fibras encontradas en este estudio podría denominarse como microplásticos (ver **ANEXO 2**). La longitud media de las fibras fue 2,5 mm, mientras que las dimensiones medias de los 5 fragmentos encontrados fueron mucho menores: 196 μm de largo y 166 μm de ancho

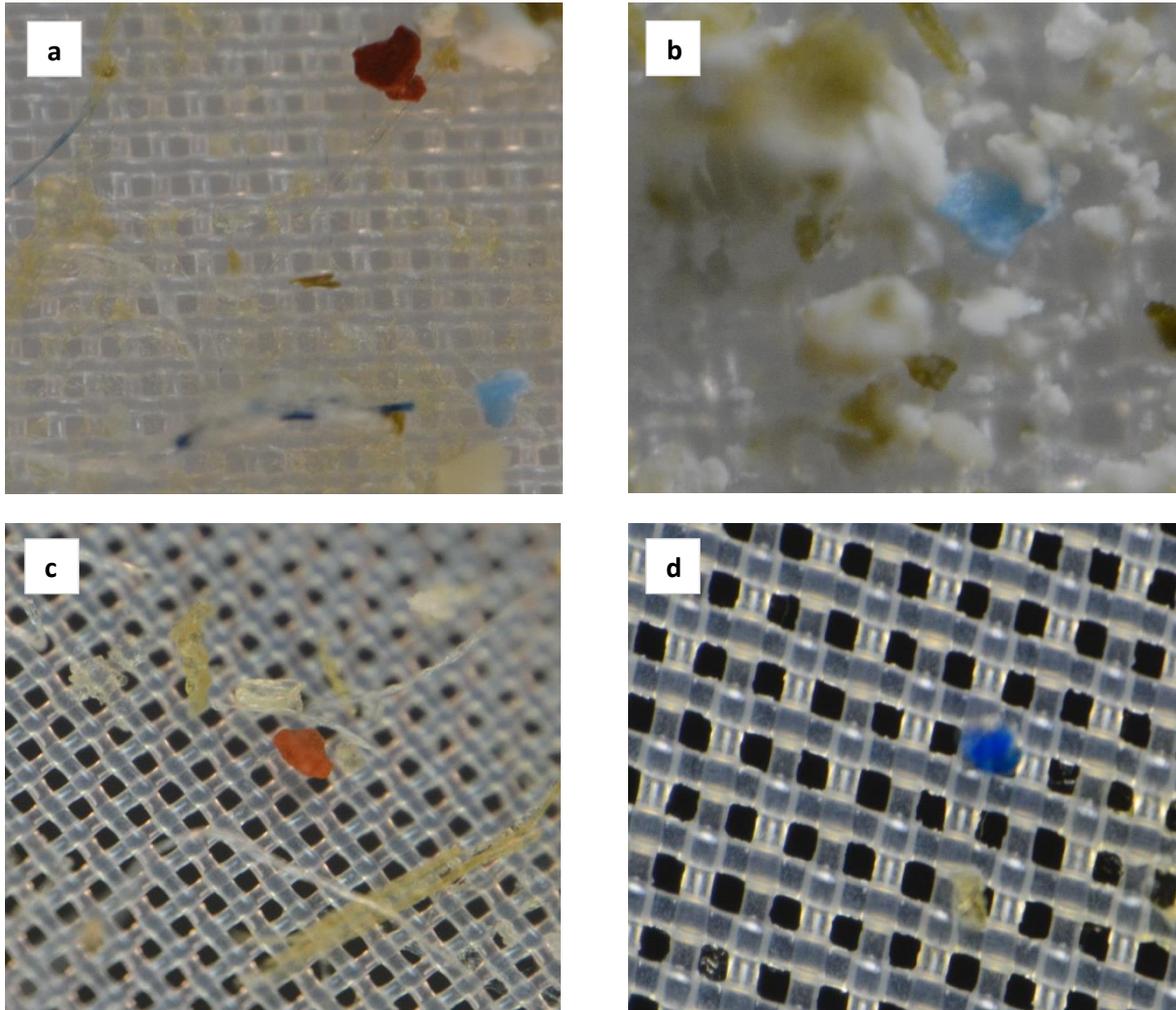


Fig. 24 Fragmentos encontrados. El filtro sobre el que están tiene un haz de luz de 50 μm . **a.** Fragmento azul y naranja; **b.** Fragmento azul; **c.** Fragmento naranja; **d.** Fragmento azul.

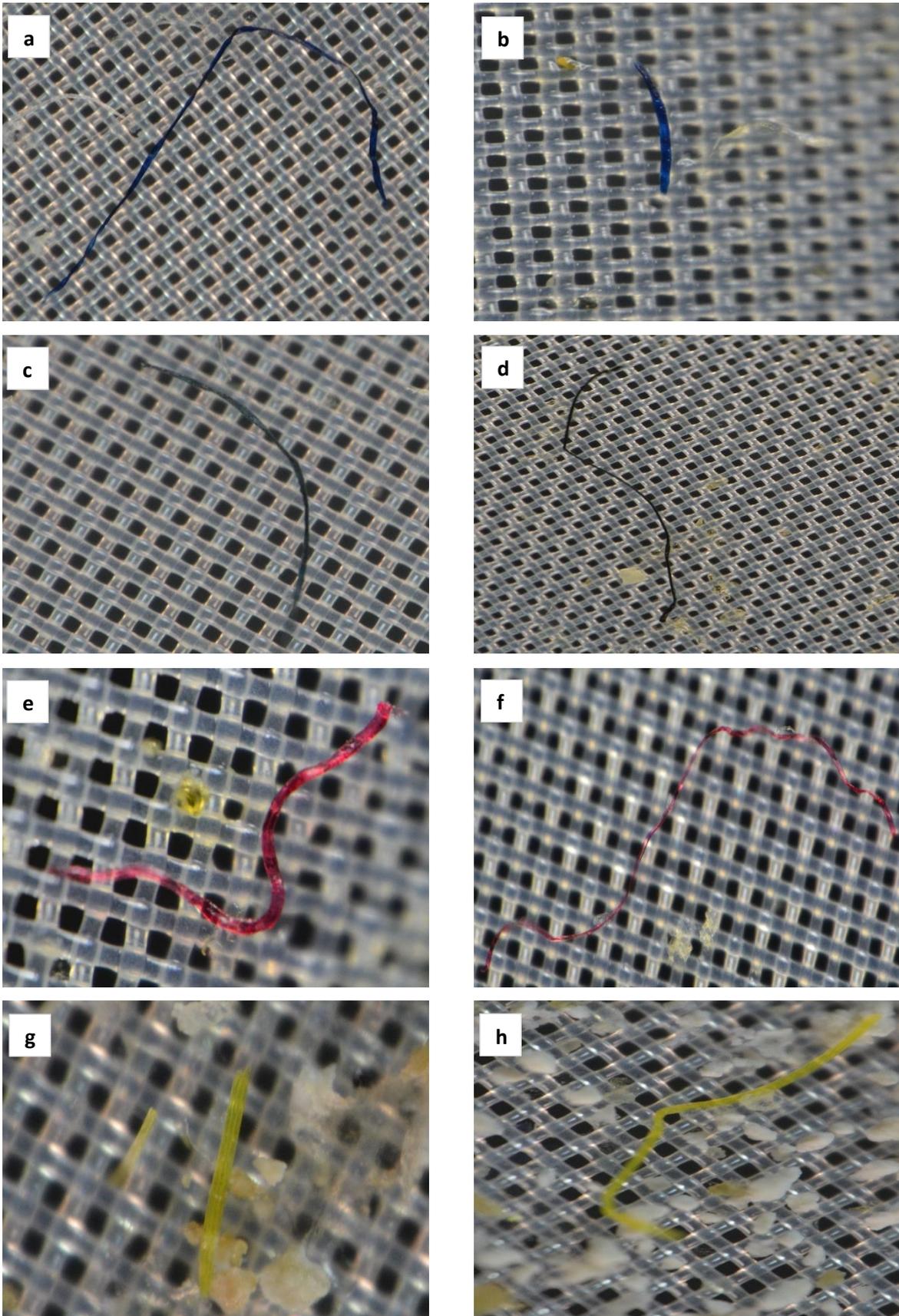


Fig. 25 Algunas de los colores encontrados en las fibras. El filtro sobre el que están tiene una luz de de malla de 50 µm. **a.** y **b.** Fibras azules; **c.** y **d.** Fibras negras; **e.** y **f.** Fibras rojas; **g.** y **h.** Fibras amarillas.

No obstante, este estudio constituye tan sólo el segundo de este tipo realizado actualmente en las islas Canarias, siendo el primero el de **Herrera et al. (2019)**, en el que se obtuvieron datos similares. **Herrera et al. (2019)** analizaron 120 ejemplares de caballa (*Scomber colias*), obteniendo una media de ejemplares con presencia de microplásticos ligeramente superior (78,4 %), pero con predominancia de las fibras y los fragmentos y los colores azul y negro. Ambos estudios también coinciden en la media de microplásticos por individuo cuando se incluyen todos los ejemplares del estudio, aunque dicha cifra es ligeramente más alta, no de forma significativa, en este Trabajo de Fin de Máster.

Cabe destacar que la especie de caballa analizada en el otro estudio canario, la caballa, es pelágica nerítica, mientras que lubina es una especie demersal. Dado que se considera el fondo oceánico como un sumidero de basura plástica, cabría esperar que los peces de hábitats más profundos tuviesen una notable y mayor ingestión de microplásticos. Sin embargo, tal y como se muestra en otros estudios anteriores (**Lursher et al., (2016); Murphy et al., (2017)**), por el momento, no existen diferencias significativas entre ambos hábitats. Incluso, algún estudio da resultados contrarios, en los que pelágicos presentan una mayor ingestión de estas micropartículas (**Rummel et al., 2016**).

De un modo u otro, los resultados obtenidos en los dos estudios realizados en el archipiélago se ajustan en algunas características a todos los estudios de clasificación de microplásticos revisados (**Tabla 4**), en los que, muy pocas veces, el porcentaje de fragmentos se sitúa en primer lugar, hecho que no es extraño dadas las 70 millones toneladas anuales que se consumen de fibras textiles anualmente en todo el mundo (**Boucher y Friot, 2017**).

Como visión general, si se observa la **Tabla 4**, se puede comprobar que los estudios realizados en las mismas zonas o zonas muy cercanas entre ellas no muestran unos resultados homogéneos en lo que se refiere a porcentaje de ejemplares con microplásticos o en la media de microplásticos detectados por ejemplar, aunque los realizados en las latitudes altas del hemisferio norte (Mar Adriático, Mar del Norte, Canal de la Mancha, Costa de Noruega e, incluso, los realizados en el Giro del Pacífico) presentan una presencia menor de microplásticos en sus resultados que los demás. También cabe resaltar el alto porcentaje, superior al 95,7 %, encontrado por **Jabeen et al., (2017)** en China o el 100% de **Pazos et al., (2017)** en un estuario argentino. Por el contrario, a pesar de estas disparidades en la cantidad de ejemplares contaminados con microplásticos, es indiscutible la predominancia de fibras y fragmentos en todos los estudios, al igual que la de algunos colores, siempre presentes.

5.- CONCLUSIONES

El presente estudio confirma la presencia de microplásticos en la lubina cultivada en Canarias, confirmando dicha presencia en un 66,7 % de los ejemplares estudiados.

Entre las partículas, existe una dominancia imperante de las fibras, un 94,6 %, y una cantidad ínfima de fragmentos (5,4 %), las dos únicas formas encontradas. Sin embargo, se ha encontrado más diversidad en la gama de colores hallados, aunque solo el azul y el negro tiñen el 79% (46 % y 33 %, respectivamente) de las partículas.

A pesar de estos resultados, cabe resaltar la importancia de confirmar la composición de los microplásticos encontrados por microscopia infrarroja o espectroscopia Raman, ya que es necesario conocer con exactitud el tipo de plástico.

Del mismo modo, es necesario destacar a la importancia de continuar realizando este tipo de estudios en las islas, en las que sólo hay dos hasta el momento, y cuya trascendencia recae en un mayor conocimiento sobre la contaminación por plásticos de sus aguas y la afección que estos tienen en las especies presentes en las islas, algo esencial para los ecosistemas marinos, la salud humana y, quizás en algunos casos, para una mejora en la producción acuícola.

6.- BIBLIOGRAFIA

- Alomar, C., Estarellas, F. y Deudero, S. (2016). Microplastics in the Mediterranean Sea: Deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size. *Marine Environmental Pollution*, 115, 1-10.
- Alomar, C. y Deudero, S. (2017). Evidence of microplastic ingestión in the shark *Galeus melastomus* Rafinesque, 1810 in the continental shelf off the western Mediterranean Sea. *Environmental Pollution*, 223, 223-229.
- Anastasopoulou, A., Mytilineou, C., Smith, C. J. y Papadopoulou, K.N. (2013). Plastic debris ingested by deep-water fish of the Ionian Sea (Eastern Mediterranean). *Deep-Sea Research I*, 74, 11-13.
- Anastasopoulou, A., Virsček, M. K., Varezić, D. V., Dogka, N., Fortibuoni, T., Koren, S., Mandić, M., Mytilineou, C., Pešić, A., Ronchi, F., Šilić, J., Torre, M., Tsangaris, C. y Tutman, P. (2018). *Marine Pollution Bulletin*, 133, 841-851.
- Auta, H.S., Emenike, C.U. y Fauziah, S.H. (2017). Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Marine Pollution Bulletin*, 102, 165-176.
- Avio, C. G., Gorbi, S. y Regoli, F. (2015). Experimental development of a new protocol for extraction and characterization of microplastics in fish tissues: First observations in comercial species from Adriatic Sea. *Marine Environmental Research*, 111, 18-26.
- Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C. y Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364, 1985-1998.
- Barboza, L.G., Vieira, L.R. y Guilermino, L. (2018). Single and combined effects of microplastics and mercury on juveniles of the European seabass (*Sparus aurata*): Changes in behavioural responses and reduction of swimming velocity and resisten time. *Environmental Pollution*, 236, 1014-1019.
- Bellas, J., Martinez-Armental, J., Martínez-Cámara, A., Besada, V. y Martínez-Gómez, C. (2016). Ingestion of microplastics by demersal fish from the Spanish Atlantic and Mediterranean coasts. *Marine Pollution Bulletin*, 109, 55-60.
- Besseling, E., Foekema, E.M., Van Franeker, J.A., Leopold, M.F., Kühn, S., Bravo Rebolledo, E.L., Heße, E., Mielke, L., Ijker, J., Kamminga, P. y Koelmans, A.A. (2015). Microplastic in a macro filter feeder: Humpback whale *Megaptera novaeangliae*. *Marine Environmental Research*, 95, 248-252.
- Boerger, C. M., Lattin, G. L., Moore, S. M. y Moore, C.J. (2010). Plastic ingestión by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin*, 60, 2275-2278.
- Boucher, J. y Friot, D. (2017). Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources. Gland, Switzerland: IUCN. 43pp.
- Bouwmeester, H., Hollman, P. C. H. y Peters, R. J. B. (2015). Potential Health Impact of Environmentally Released Micro- and Nanoplastics in the Human Food Production Chain: Experiences from Nanotoxicology. *Environmental Science y Technology*, 49 (15), 8932-8947
- Bråte, I. L. N., Eidsvoll, D. P., Steindal, C. C. y Thomas, K. V. (2016). Plastic ingestión by Atlantic cod (*Gadus morhua*) from the Norwegian coast. *Marine Pollution Bulletin*, 112, 105-110.
- Bravo Rebolledo, E.L., Van Franeker, J. A., Jansen, O. E., Brasseur, S.M.J.M. (2013). Plastic ingestión by harbour seals (*Phoca vitulina*) in the Netherlands. *Marine Pollution Bulletin*, 67, 200-202.
- Cannon, S. M. E., Lavers, J. L. y Figueiredo, B. (2016). Plastic ingestión by fish in the Southern Hemisphere: A baseline study and review of methods. *Marine Pollution Bulletin*, 107, 286-292.
- Cardozo, A. L. P., Farias, E. G. G., Rodrigues-Filho, J. L., Moteiro, I. B., Scandolo, T. M. y Dantas, D. V. (2018). Feeding ecology and ingestión of plastic fragments by *Priacanthus arenatus*: What´s the fisheries contribution to the problem? *Marine Pollution Bulletin*, 130, 19-27.
- Carpenter, E.J. y Smith, K.L. (1972). Persistence of plastic litter in the oceans. *Science*, 175 (4027), 1240-1241.
- Cheung, L. T. O., Lui, C. Y. y Fok, L. (2018). Microplastic Contamination of Wild and Captive Flathead Grey Mullet (*Mugil cephalus*). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15, 597.

- Colton, J.B., Knapp, F.D. y Burns, R. (1974). Plastic particles in Surface waters of the Northwestern Atlantic. *Science*, 185, 491-497.
- Compa, M., Ventero, A., Iglesias, M. y Deudero, S. (2018). Ingestion of micropastics and natural fibres in *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) and *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) along Spanish Mediterranean coast. *Marine Pollution Bulletin*, 128, 89-96.
- Corcoran, P. L., Biesinger M. C. y Grigi, M. (2009). Plastics and beaches: A degrading relationship. *Marine Pollution Bulletin*, 58, (1), 80-84.
- Crawford, B.C. y Quinn, B. (2017). Microplastic pollutants. Elsevier, United Kingdom.
- Dehaut, A., Cassone, A.-L.L., Frère, L., Hermabessiere, L., Himber, C., Rinnert, E., Rivière, G., Lambert, C., Soudant, P., Huvet, A., Duflos, G., Paul-Pont, I., 2016. Microplastics in seafood: benchmark protocol for their extraction and characterization. *Environmental Pollution*. 215, 223–233
- Eriksen, M., Lobreton, C.M.L., Carson, H.S., Thiel, M., Moore, C.J., Borerro, J.C., Galgani, F., Ryan, P., G. y Reisser, J. (2014). Plastic pollution in the World's Oceans: More than 5 trillion plastic pieces weighing over 250000 tons afloat at sea. *PLoS ONE*, 9 (12).
- Espino, F., Boyra, A., Fernández-Gil, C. y Tuya, F. (2018). Guía de biodiversidad marina de Canarias (1ª edición). Oceanográfica: Divulgación, educación y ciencia.
- Farrel, P. y Nelson, K. (2013). Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.) *Environmental Pollution*, 177, 1-3.
- Ferreira, G. V. B., Barletta, M., Lima, A. R. A., Morley, S. A., Justino, A. K. S. y Costa, M. F. (2018). High intake rates of microplastics in a Western Atlantic predatory fish, and insights of a direct fishery effect. *Environmental Pollution*, 236, 706-717.
- Foekema, E.M., Gruijter, C., Mergia, M. T., Van Franeker, J. A., Murk, A. J. y Koelmans, A. A. (2013). Plastic in North Sea Fish. *Environmental Science y Technology*, 47.
- Free, C.M., Jensen, P.O., Mason, S.A., Eriksen, M., Williamson, N.J. y Boldgiv, B. (2014). High-levels of microplastics pollution in a large, remote, mountain lake. *Marine Pollution Bulletin*, 85, 156-163.
- Gewert, B., Plassman, Merle M. y MacLeod, M. (2015). Pathways for degradation of plastic polymers floating in marina environment. *Environmental Science: Processes y Impacts*, 17, 1513-1521.
- Geyer, R., Jambeck, J.R. y Law, K.L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3 (7).
- Gourmelon, G. (2015). Global Plastic production rises, recycling lags. *Vital Signs. Global Trends that shape our future*. Worldwatch Institute.
- Güven, O., Göldag, K., Jovanovic, B. y Kıdeys, A.E. (2017). Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish. *Environmental Pollution*, 223, 286-294.
- Hahladakis, J.N., Velis, C.A., Weber, R., Iacovidou, E. y Purnell, P. (2018). An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *Journal of hazardous materials*, 344, 179-199.
- Halstead, J.E., Smith, J.A., Carter, E.A., Lay, P.A. y Johnston, E.L. (2018). Assessment tools for microplastics and natural fibres ingested by fish in an urbanised estuary. *Environmental Pollution*, 234, 552-561.
- Hermsen, E., Pompe, R., Besseling, E. y Koelmans, A.A. (2017). Detection of low numbers of microplastics in North Sea fish using strict quality assurance criteria. *Marine Pollution Bulletin*, 122, 153-258.
- Herrera, A., Štindlová, A., Martínez, I., Rapp, J., Romero-Kutzner, V., Samper, M.D., Montot, T., Aguiar-González, B., Packard, T. y Gómez, M. (2019). Microplastic ingestion by Atlantic chub mackerel (*Scombre colias*) in the Canary Island coast. *Marine Pollution Bulletin*, 139, 127-135.
- Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C., Mu, J. y Shi, H. (2017). Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environmental Pollution*, 221, 141-149.

- Jaime, M., Hernández-Almaraz, P. y Labrada-Martagón, V. (2018). Bioacumulación y transferencia de metales y contaminantes emergentes a través de las cadenas tróficas marinas (1ª edición). Samsara Editorial.
- Lenz, R., Enders, K., Beer, S., Sørensen, T.K. y Stedmon, C.A. (2016). Analysis of microplastics in the stomachs of herring and cod from the North Sea and Baltic Sea. DTU Aqua: National Institute of Aquatic Resources.
- Lusher, A.L., Hernandez-Milian, G., O'Brein, O., Berrow, S., O'Connor, I. y Officer, R. (2015). Microplastic and macroplastic ingestion by a deep diving, oceanic cetacean: The True's beaked whale *Mesoplodon mirus*. *Environmental Pollution*, 199, 185-191.
- Lusher, A.L., O'Donnell, C., Officer, R. y O'Connor, I. (2016). Microplastic interactions with North Atlantic mesopelagic fish. *ICES Journal of Marine Science*, 73 (4), 1214-1225.
- Lusher, A.L., McHugh, M. y Thompson, R.C. (2013). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Environmental Pollution*, 67, 94-99.
- Lusher, A.L., Welden, N.A., Sobral y Cole, M. (2017). Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates. *Royal Society of Chemistry*, 9, 1346.
- Mazurais, D., Ernande, B., Quazuguel, P., Severe, A., Huelvan, C., Madec, L., Mouchel, O., Soudant, P., Robbens, J., Huvet, A. y Zambonino-Infante, J. (2015). Evaluation of the impact of polyethylene microbeads ingestion in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. *Marine Environmental Pollution*, 112, 78-85.
- Murphy, J., (2001). Additive for plastics. Handbook. (2nd edition), UK, Elsevier Advanced Technology.
- Murphy, F., Russell, M., Ewins, C. y Quinn, B. (2017). The uptake of macroplastic y microplastic by demersal y pelagic fish in the Northeast Atlantic around Scotland. *Marine Pollution Bulletin*, 122, 353-359.
- Murray, F. y Rhys Cowie, P. (2011). Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758). *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1207-1217.
- Nadal, M.A., Alomar, C. y Deudero, S. (2016). High levels of microplastic ingestion by the semipelagic fish bogue *BOOPS BOOPS* (L.) around the Balearic Islands. *Marine Pollution Bulletin*, 214, 517-523.
- Naidoo, T., Glassom, D. y Smith, A.J. (2015) Plastic pollution in five urban estuaries of KwaZulu-Natal, South Africa. *Marine Pollution Bulletin*, 101, 473-480.
- Neves, D., Sobral, P., Ferreira, J.L. y Pereira, T. (2015). Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast. *Marine Pollution Bulletin*, 101, 119-126.
- Ory, N., Chagnon, C., Felix, F., Fernández, C., Ferreira, J.L., Gallardo, C., Garcés Ordoñez, O., Henostroza, A., Laaz, E. Mizraji, R., Mojica, H., Murillo Haro, V., Ossa Medina, L., Preciado, M., Sobral, P., Urbina, M.A. y Thiel, M. (2018). Low prevalence of microplastic contamination in planktivorous fish species from the southeast Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 211-216.
- Pazos, R.S., Maiztegui, T., Colautti, D.C. Paracampo, A.H. y Gómez, N. (2017). Microplastics in gut contents of coastal freshwater fish from Río de la Plata estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 122, 85-90.
- Pedà, C., Caccamo, L., Fossi, M.C., Gai, F., Andaloro, F., Genovese, L., Perdichizzi, A., Romeo, T. y Maricchiolo, G. (2016). Intestinal alterations in European sea bass *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) exposed to microplastics: Preliminary results. *Environmental Pollution*, 212, 251-256.
- Pellini, G., Gomiero, A., Fortibuoni, T., Ferrà, C., Grati, F., Tassetti, A.N., Polidori, P., Fabi, G. y Scarcella, G. (2018). Characterization of microplastic litter in the gastrointestinal tract of *Solea solea* from the Adriatic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 234, 943-952.
- Peters, C.A., Thomas, P.A., Rieper, K.B. y Bratton, S.P. (2017). Foraging preferences influence microplastic ingestion by six marine fish species from the Texas Gulf Coast. *Marine Pollution Bulletin*, 124, 82-88.
- Phillips, M. y Bonner, T.H. (2015). Occurrence and amount of microplastic ingested by fishes in watersheds of the Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 100, 264-269.
- Romeo, T., Pietro, B., Pedà, C., Consoli, P., Andaloro, F. y Fossi, M.C. (2015). First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 95, 358-361.

- Rummel, D.C., Löder, M.G.J., Fricke, N.F., Lang, T., Griebeler, E.M., Janke, M. y Gerdts, G. (2016). Plastic ingestión by pelagic and demersal fish from the North Sea and Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 102, 134-141.
- Ryan, g.p., Moore, C.J., Van Franeker, J.A. y Moloney, C.L. Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364, 1999-2012.
- Silva-Cavalcanti, J.S., Silva, J.D., de França, E.J., de Araújo, C.B. y Gusmao, F. Microplastics ingestión by a common tripodal freshwater fishing resource. *Environmental Pollution*, 221, 218-226.
- Steer, M., Cole, M., Thompson, C. y Lindeque, P.K. (2017). Microplastic ingestión in fish larvae in the western English Channel. *Environmental Pollution*, 226, 250-259.
- Tanaka, K y Takada, H. (2016). Microplastic fragment and microbeads in digestive tracts of plantivorous fish from urban coastal waters. *Scientific Reports*, 6, 34351.
- Thompson Richard C., Moore Charles J., vom Saal Frederick S. y Swan Shanna H. (2009). Plásticos, medio ambiente y salud humana: consenso actual y tendencias futuras. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 364, 2153-2166
- Vendel, A.L., Bessa, F., Alves, V.E.N., Amorim, A.L.A., Patrício, J. y Palma, A.R.T. (2017). Widespread microplastic ingestión by fish assemblages in tropical estuaries subjected to anthropogenic pressures. *Marine Pollution Bulletin*, 117, 448-455.
- Wang, W., Gao, H, Jin, S., Li, Ruijing y Na, G. (2019). The ecotoxicological effects of microplastics on aquatic food web, from primary producer to human: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 173, 110-117.
- Wang, T.; Zou, X., Li, B., Yao, Y., Zang, Z., Li, Y., Yu, W. y Wang, W. (2018). Preliminary study of the source apportionment and diversity of microplastics: taking floating microplastics in the South China Sea as an example. *Environmental pollution*, 245, 945-974.
- Wesch, C. Bredimus, K., Paulus, M. y Klein, R. (2016). Towards the suitable monitoring of ingestión of microplastics by marine biota: A review. *Environmental pollution*, 218, 1200-1208.

Páginas web

- ¹ <https://www.cancun-online.com/Editorial/Chicle/> (Mayo, 2020)
- ^{2 3} <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/history> (Mayo, 2020)
- ⁴ <https://ahombrosdegigantescienciaytecnologia.wordpress.com/2015/09/10/el-inventor-del-cloruro-de-polvivinilo-pvc-lonsbury-semon/> (Mayo, 2020)
- ⁵ <http://www.fao.org/fishery/aquaculture/es> (Julio, 2020)
- ⁶ <http://www.fao.org/aquaculture/es/> (Julio, 2020)
- ⁷ https://www.gobiernodecanarias.org/pesca/temas/cultivos_marinos/breve_historia.html (Julio, 2020)
- ⁸ <https://www.fishbase.de/Summary/SpeciesSummary.php?ID=63&AT=lubina> (Julio, 2020)
- ⁹ http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Dicentrarchus_labrax/es (Julio, 2020)
- ¹⁰ [http://http://www.apomar.es/content/apomar-publica-su-informe-anual-%E2%80%99Clasificaci3n-de-acuicultura-en-espa%C3%B1a2019%E2%80%99D#:~:text=Producci3n%20de%20acuicultura%20en%20Espa%C3%B1a&text=La%20cosecha%20de%20dorada%20de,1.560%20t%2C%20e1%2010%2025\).](http://http://www.apomar.es/content/apomar-publica-su-informe-anual-%E2%80%99Clasificaci3n-de-acuicultura-en-espa%C3%B1a2019%E2%80%99D#:~:text=Producci3n%20de%20acuicultura%20en%20Espa%C3%B1a&text=La%20cosecha%20de%20dorada%20de,1.560%20t%2C%20e1%2010%2025).) (Julio, 2020)

ANEXO 1

Longitud furcal (LF), longitud estándar (LE), peso total del individuo y peso del tracto digestivo de cada uno de los ejemplares.

Especimen	LF (cm)	LE (cm)	Peso total (g)	Peso tracto (g)
1*	38,3	34	669,83	19,02
2*	36,8	38	644,58	20,96
3*	36	32	626,48	25,87
4*	37	33	626,48	32,48
5*	35,4	31,6	622,29	21,37
6*	36,2	32	646,27	18,67
7	36,4	31,1	536,45	12,58
8	38,7	30,1	564,39	8,06
9	38,5	40,6	626,22	13,51
10	39,2	34,7	661,19	11,22
11	36,7	32,7	650,78	10,19
12	36,3	32,6	613,29	9,85
13	37,7	32	623,25	12,11
14	38,5	33,5	660,04	13,38
15	39,9	35,8	712,62	12,85
16	38	34,5	723,36	13,24
17	33,8	38,4	681,58	13,86
18	39,9	35,4	754,38	11,82
19	36	32,5	647,83	9,95
20	35,9	32	627,78	10,45
21	37,9	34,1	690,71	12,55
22	38,5	34,7	688,25	11,38
23	37	32	629,45	11,26
24	37,5	33,5	677,44	11,56
25	37,6	33,2	679,15	12
26	38,2	34,2	619,8	11,08

27	36,1	32	655,1	9,8
28	36,6	32,8	672,19	9,9
29	36,8	32,7	640,3	8,48
30	37,3	33,8	611,88	10,05
31	36,5	32,5	648,2	11,04
32	36,7	33	617,73	10,17
33	36,5	33	659,14	8,96
34	36,9	39	661,21	10,15
35	38,9	35,3	690,22	10,14
36	37,9	33,8	730,74	10,4
37	38,4	34	672,36	9,3
38	38,8	33	698,46	10,34
39	37,1	33,5	620,49	9,58
40	36,9	33,4	621,23	9,44
41	38,4	34,5	719,8	10,97
42	41,6	36,1	787,28	12,72
43	38,9	35	710,75	16,36
44	36,5	32,7	647,15	10,28
45	38,9	34,3	684,72	10,36
46	38	34,4	680,99	11,81
47	36,7	32	619,12	10,29
48	36,7	32,5	658,67	10,37
49	35,2	31,3	614,52	10,43
50	37,5	33,2	670,6	11,21
51	36,5	32,8	661,8	11,02

*Estos individuos no fueron incluidos en el estudio, ya que el abundante contenido estomacal que presentaban hizo que los sistemas de filtrado se obstruyeran.

ANEXO 2

Forma, tamaño y color de los microplásticos encontrados en cada ejemplar.

Especimen	Color (Fibras)	Longitud (µm) (Fibras)	Color (Fragmentos)	Largo (µm) (Fragmentos)	Ancho (µm) (Fragmentos)
1	Limpia				
2	Negra_1	524,6			
	Azul_1	1466,34			
3	Amarilla_1	976,55			
	Amarilla_2	2017,99			
	Naranja_1	3576,65			
4	Limpia				
5	Limpia				
6	Limpia				
7	Azul_1	1418,51	Azul_1	197,89	122,6
	Azul_2	890,61	Naranja	210,37	205,01
	Azul_3	3168,35	Azul_2	143,34	178,93
	Azul_4	4171,68			
	Azul_5	1722,6			
8	Limpia				
9	Negra_1	1697,72			
	Azul_1	1858,67			
	Negra_2	1573,27			
	Azul_2	7276,84			
10	Azul_1	2326,15			
	Negra_1	1032,26			
	Amarilla_1	923,68			
11	Limpia				
12	Limpia				
13	Negra_1	2511,83			
14	Limpia				
15	Negra_1	1438,64			
16	Limpia				
17	Amarilla_1	337,46			

	Amarilla_2	861,54
18	Azul_1	1500,05
	Azul_2	3081,83
	Azul_3	847,3
	Azul_4	1485,68
19	Azul_1	2726,48
20	Limpia	
21	Amarilla_1	1630,49
	Negra_1	1380,85
22	Azul_1	678,33
	Azul_2	1158,5
	Azul_3	2784,13
	Azul_4	1440,64
	Azul_5	1423,36
	Negra_1	1446,29
	Roja_1	1688,48
	Negra_2	1113,63
23	Azul_1	1995,68
	Negra_1	4301,81
	Negra_2	1493,88
	Negra_3	3627,9
24	Limpia	
25	Azul_1	1218,28
26	Dudoso_1	5312,73
	Dudoso_2	2427,5
27	Azul_1	2185,82
	Azul_2	1939,13
28	Limpia	
29	Azul_1	4141,72
	Azul_2	726,29
	Azul_3	1428,14
30	Negra_1	4235,06
	Negra_2	1357,98
	Negra_3	2754,35

	Negra_4	6260,55			
	Negra_5	3278,7			
	Negra_6	4442,88			
31	Azul_1	1539			
	Azul_2	1427,08			
	Negra_1	1928,51			
32	Limpia				
33	Negra_1	4303,76			
	Negra_2	2894,26			
	Negra_3	869,01			
	Negra_4	4517,85			
34	Roja_1	346,94			
	Roja_2	1853,71			
35	Gris_1	5745,43			
36	Limpia				
37	Azul_1	2995			
38	Limpia				
39	Azul_1	1222,87			
	Azul_2	1355,45			
	Azul_3	539,45			
40	Azul_1	3119,67			
	Azul_2	1025,13			
	Negra_1	403,89			
	Negra_2	501,24			
41	Azul_1	1838,56	Naranja	256,75	176,79
	Azul_2	723,33			
	Azul_3	2372,88			
	Azul_4	465,58			
	Negra_1	2659,21			
	Verde_1	6074,5			
42	Azul_1	3363			
	Negra_1	1052,46			
	Naranja_1	1113,5			
43	Azul_1	1984,61			

	Negra_1	4624,64			
	Negra_2	24703,1			
	Roja_1	7110,68			
44	Azul_1	2374,92	Azul	169,41	146,15
	Azul_2	544,44			
	Negra_1	1217,61			
	Roja_1	1713,44			
	Roja_2	4058,33			
45	Negra_1	358,43			
	Negra_2	2491			
TOTALES	92	2187,128116	5	183,8666667	168,8466667