

Evaluación microbiológica de microplásticos en las playas de Tenerife



Francisco Adán Abrante Báez

5º Grado en Farmacia

Curso 2021-2022

Tutoras:

Cintia Hernández Sánchez

María de los Ángeles Arias Rodríguez

Área de Medicina Preventiva y Salud Pública

Índice

Resumen	3
Abstract	4
Introducción.....	5
Objetivos.....	7
Materiales y Métodos.....	8
Resultados y Discusión.....	13
Conclusiones.....	24
Referencias bibliográficas.....	25
Anexos.....	28

Resumen

La cantidad de microplásticos, tanto en playas como en el medio marino se ha visto aumentada durante los últimos años. Con el paso del tiempo, su acumulación en el medio ambiente ha provocado cambios en el ecosistema dando lugar a la formación de la plastisfera, nicho de numerosos microorganismos patógenos. El objetivo del estudio fue determinar la contaminación microbiológica de microplásticos de Playa Grande (Arico, Tenerife), en diferentes líneas de marea, así como en la arena y en el agua de la playa. También se procedió a identificar la composición de los microplásticos evaluados mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y a estimar su tiempo de permanencia en el medio marino empleando el método visual asistido por paleta para la asignación de colores. Los resultados indican presencia de bacterias indicadoras de contaminación fecal en algunas muestras de agua de mar, arena y microplásticos. El polietileno fue el componente principal de los microplásticos y hubo un predominio de los tonos blancos y pálidos.

Destacar la presencia de *Vibrio alginolyticus* en la mayoría de muestras estudiadas, así como el aislamiento de la bacteria *Shewanella algae*, considerada una bacteria emergente, en varias muestras de fragmentos de microplásticos.

Abstract

The amount of microplastics, both on beaches and in the marine environment, has increased in recent years. Over time, their accumulation in the environment has caused changes in the ecosystem leading to the formation of plastisphere, a niche for numerous pathogenic microorganisms. The objective of the research was to determine the microbiological contamination of microplastics in Playa Grande (Arico, Tenerife), in different tide lines, as well as in the sand and water of the beach. We also proceeded to identify the composition of the microplastics evaluated by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and to estimate their permanence time in the marine environment using the visual method assisted by colour assignment palette. The results indicate the presence of bacteria indicative of fecal contamination in some samples of seawater, sand and microplastics. Polyethylene was the main component of microplastics and there was a predominance of white and pale shades.

To highlight the presence of *Vibrio alginolyticus* in most of the samples studied, as well as the isolation of the bacterium *Shewanella algae*, considered an emerging bacterium, in several samples of microplastic fragments.

1. Introducción

El uso de plásticos en la sociedad actual se ha visto incrementado de manera exponencial a lo largo de los años. Su difícil reciclaje y su baja capacidad de degradación tienen por consiguiente su acumulación en el medio ambiente, lo que ha sido reconocido como un problema ambiental emergente ⁽¹⁾. Como consecuencia de la eliminación inadecuada, los polímeros sintéticos representan la forma de crecimiento más rápida de desechos antropogénicos que ingresan y se acumulan en los océanos ⁽²⁾, con un estimado de 15 a 51 billones de partículas de plástico flotando en su superficie ⁽³⁾. La mayoría de los polímeros sintéticos se vuelven quebradizos y posteriormente se descomponen en pequeñas partículas, los llamados microplásticos ⁽²⁾.

El término “microplásticos” se refiere a aquellas partículas de plástico con un tamaño entre 1 μm y 5 mm ⁽⁴⁾. Proporcionan un sustrato duradero que puede ser colonizado por microorganismos y transportado a largas distancias, el cual, favorece el crecimiento de biopelículas microbianas que incluyen patógenos potenciales y especies de algas nocivas. Este nuevo ecosistema creado por el hombre se denomina plastisfera ⁽⁵⁾.

La comunidad microbiana de la plastisfera está formada predominantemente por la ubicación geográfica y las condiciones ambientales del agua de mar donde reside el microplástico, lo que sugiere que las comunidades de la plastisfera se adaptan y cambian a las condiciones predominantes a medida que se transporten a través de las regiones oceánicas ⁽³⁾. Estas son genéticamente únicas y difieren consistentemente de las comunidades de agua de mar circundantes ⁽²⁾.

Por tanto, según estudios recientes, los microplásticos están actuando como un vector potencial para la diseminación a gran escala de los microorganismos a través de ambientes marinos y costeros.

La capacidad de los microorganismos para persistir en los desechos plásticos varados en la playa aumenta la propagación de microorganismos potencialmente patógenos en las zonas costeras poniendo en peligro la seguridad pública en los entornos de baño ⁽⁶⁾. A pesar de que se han encontrado patógenos humanos en microplásticos en las aguas de los océanos, no se conoce su potencial patogenicidad y virulencia, o si existe la posibilidad de transmisión de patógenos humanos través de esta ruta ⁽³⁾.

Por otra parte, es importante evaluar la tonalidad presente en los plásticos, ya que nos da información sobre el tiempo que llevan a la deriva y por tanto su mayor o menor posibilidad de colonización ⁽⁸⁾.

La Corriente de Canarias trae los desechos plásticos desde el Océano Atlántico Norte a las costas de sus Islas, principalmente a las playas expuestas al norte y noreste. En consecuencia, Canarias presenta una alta contaminación por microplásticos, alcanzando valores superiores a los 100 g / L arena, en las zonas más expuestas ⁽⁷⁾.

Es por ello, que consideramos de interés en profundizar en este tema, en el medio marino canario.

2. Objetivos

El objetivo principal del trabajo es evaluar la presencia de microorganismos en los microplásticos en las distintas líneas de marea de Playa Grande (Arona, Tenerife).

En consecuencia, se desarrollarán también los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la contaminación microbiana presente tanto en la arena como en el agua de playa.
- Identificar la composición de los diferentes microplásticos mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).
- Estimar el tiempo de permanencia de los microplásticos en el océano a través del método visual asistido por paleta para la asignación de colores.

3. Material y Métodos

3.1. Muestreo

Los muestreos se llevaron a cabo en Playa Grande (Arico, Tenerife) entre los meses de abril y mayo de 2022. Se realizaron dos muestreos, en ambos se recogieron muestras de arena y microplásticos depositados en la misma. La playa se dividió en cinco zonas, determinadas según distintas líneas de marea. Además, se recogieron muestras de agua de baño siguiendo la legislación vigente para la toma de estas muestras ⁽¹⁰⁾.

En los dos muestreos, las tomas de muestras se llevaron a cabo a las 10 am, con marea baja, en días laborales, en Playa Grande (Arico, Tenerife), sin la existencia de bañistas que pudieran haber modificado las condiciones de las muestras a recoger.

En cada día de muestreo se recogieron:

- 3 muestras de agua de baño de 1500 ml en botellas de vidrio estériles
- 5 muestras de arena, una por cada una de las diferentes líneas de marea en las que se dividió la playa.
- 10 muestras de microplásticos, divididas en fragmentos y pellets (5 de fragmentos y 5 de pellets) en cada una en una línea de marea. Para la toma de muestras de microplásticos se utilizaron pinzas estériles y se separaron en origen los dos grupos, recogiendo por un lado fragmentos y por otro lado pellets, todos con un tamaño menor a 5 mm para entrar dentro de la categorización de microplásticos.

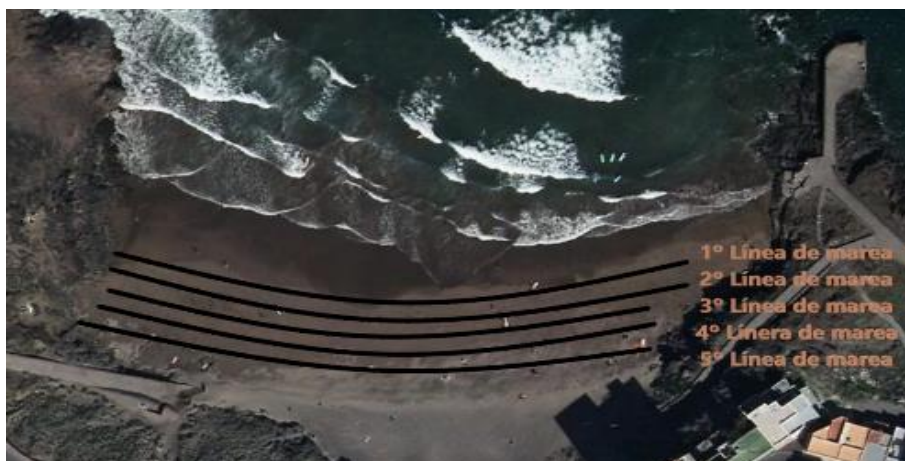


Figura 1. Zona de muestreo y líneas de marea de playa Grande.

3.2. Análisis microbiológico

Para la identificación de los microorganismos presentes en los microplásticos, fragmentos y pellets y en la arena, se introdujeron las distintas muestras en 250 mL de Buffered Peptone Water (Oxoid ®) y se incubaron durante 18-24 horas a 37°C en condiciones aeróbicas. Posteriormente, tras el período de incubación se llevó a cabo la siembra de cada muestra para el aislamiento e identificación de los microorganismos a estudiar.

Como indicadores de contaminación fecal utilizamos los incluidos en la legislación de aguas de mar, es decir determinación de *Escherichia coli* y de *Enterococcus faecalis* ⁽¹⁰⁾.

Para la identificación de *E.coli* se utilizó el medio TBX Agar (medio cromogénico de Triptona Bilis X-Glucurónido BioMerieux Marcy l'Etoile, France ®) , específico para esta bacteria, la cual forma colonias redondeadas de color azul.

Para el aislamiento e identificación de *Enterococcus faecalis* se utilizó el medio Slanetz – Bartley Agar Base (Scharlau, Sentmenat, Spain) donde crece dando colonias de color rosado fuerte o morado, y la confirmación en medio Agar Kanamicina-esculina-azida (Merck, Darmstadt, Germany) donde crece formando colonias verde aceituna o negras.

Para los patógenos *Pseudomonas aeruginosa* se utilizó el medio Cetrimide Agar (Sigma, Aldrich S. Louis, USA). El medio Mannitol Salt Agar (Oxoid, Hampshire, England) para *Staphylococcus aureus*.

En el caso del *Vibrio* spp. el aislamiento se realizó en Thiosulfate Citrate Bile Salts Sucrose (TCBS) Agar (Merck, Darmstadt, Germany) y la identificación de las especies mediante el sistema automatizado MALDI-TOF (VITEK MS v3.0, BioMérieux, Marcy l'Etoile, France).

Finalmente, se utilizó el medio (CARB/OXA) Agar, BioMerieux Marcy l'Etoile, France ®, que es un medio cromogénico selectivo para el cribado de las Enterobacterias productoras de carbapenemasas (EPC).

El análisis microbiológico de agua de mar se llevó a cabo el método de análisis de filtración por membrana. El método consistía en filtrar un volumen determinado de agua a través de un filtro de membrana con tamaño del poro de 0.45µm con la finalidad de retener en la superficie del filtro, todos los microorganismos que pueda contener la muestra filtrada. Posteriormente el filtro de membrana se colocaba sobre el medio sólido en cuestión y se incubaba en condiciones de temperatura y tiempo específicos, para luego realizar la lectura de los resultados.

Los medios utilizados para la identificación de los diferentes microorganismos en el agua de mar fueron Tergitol® 7 Agar OXOID para la detección de *Escherichia coli*. Slanetz – Bartley Agar Base (Scharlau, Sentmenat, Spain) para *Enterococcus faecalis* y Thiosulfate Citrate Bile Salts Sucrose (TCBS) Agar (Merck, Darmstadt, Germany) para *Vibrio spp.*

Todas las placas utilizadas para el análisis microbiológico se cultivaron a 37° C, durante un periodo de 24 horas.

3.3. Determinación de la composición de los fragmentos y pellets

Para conocer la composición de los polímeros de las partículas de plástico y pellets, se utilizó un espectrómetro de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) Cary 630 equipado con un módulo de reflectancia total atenuada (ATR) de diamante de reflexión simple (Agilent Technologies, California, EE.UU.), con un divisor de haz de ZnSe y un detector de sulfato de deuterio y triglicina (dTGS) de 1,3 mm de diámetro refrigerado termoeléctricamente. Los espectros FTIR se recogieron con 32 barridos por espectro (se aplicó la función de apodización de Happ-Genzel) con una resolución de 8 cm^{-1} en el rango de 4000 y 650 cm^{-1} . Se utilizó el software para PC Agilent MicroLab para identificar los espectros utilizando bibliotecas de polímeros. La coincidencia mínima para la identificación se fijó en valores de calidad $\geq 0,70$ sobre $1,00$, lo que corresponde a un 70% de identificación positiva. Dicho criterio se fijó siguiendo las indicaciones de la Guía de desechos marinos en los mares europeos de la Comisión Europea ⁽¹⁹⁾.

Se analizó el 10% de las muestras de cada línea de marea, obteniéndose por tanto los diferentes espectros de los microplásticos con el fin de conocer su composición ⁽¹⁹⁾.

3.4. Estimación del tiempo de permanencia de los microplásticos en el medio marino

Para la estimación del tiempo de permanencia de los microplásticos en el océano se utilizó el método visual asistido por paleta (figura 1) para la clasificación cromática de los residuos plásticos ⁽⁸⁾. Esta clasificación nos permitió estimar el tiempo que llevaban los microplásticos a la deriva en el mar.

A cada fragmento de microplástico, previamente limpio y seco, se le asignó un color de la paleta por semejanza visual entre el plástico y la gama cromática. La paleta de colores empleada contenía 120 códigos de color, incluyendo 13 colores en el eje vertical y 9 tonalidades en el eje horizontal, partiendo desde el negro hasta el blanco, además del translúcido/transparente, los códigos de Pantone y las puntuaciones RGB.

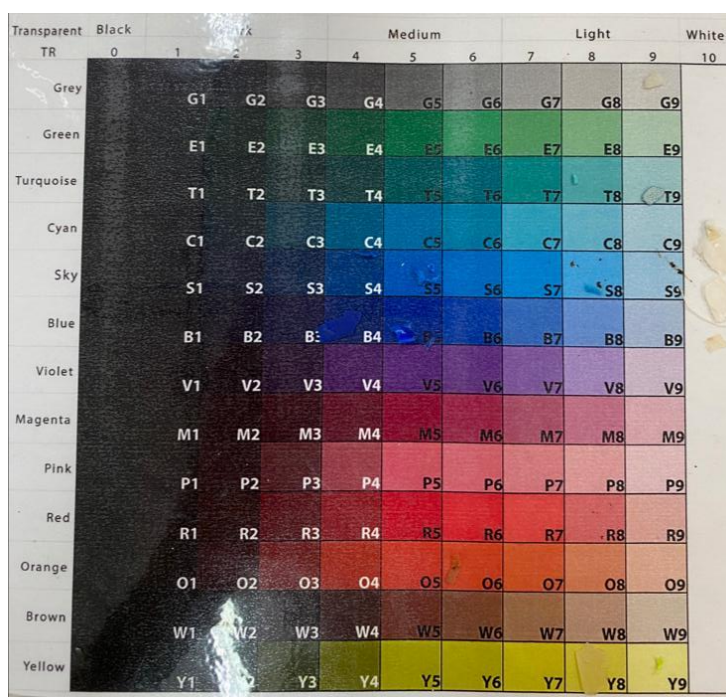


Figura 1. Paleta de colores empleada para catalogar las muestra.

4. Resultados y discusión

4.1. Resultados del análisis microbiológico

Los microorganismos identificados en el agua de mar de los muestreos realizados en playa Grande (Arico, Tenerife) se observan en la Tabla 1. En las muestras de agua de mar, se observó la presencia de *E.coli* y *Vibrios spp.* en todas las muestras de agua del primer muestreo, no aislándose *E. faecalis*. El segundo muestreo se caracterizó por la presencia de todas las bacterias estudiadas. Posteriormente se confirmó que la especie existente de *Vibrio* era *V. alginolyticus*.

Muestreos	Muestras de agua de mar	<i>E.coli</i>	<i>E.faecalis</i>	<i>Vibrio spp.</i>
Primer muestreo	1	+	-	+
	2	+	-	+
	3	+	-	+
Segundo muestreo	1	+	+	+
	2	+	+	*
	3	+	+	+

Tabla 1. Contenido microbiológico del agua de mar en los dos muestreos.

En ninguna de las muestras analizadas de microplásticos o de arena se aislaron las bacterias *Pseudomonas aeruginosa* o *Staphylococcus aureus*, ni Enterobacterias resistentes a las carbapenemasas.

En la Tabla 2.1 y la Tabla 2.2 se reflejan los resultados del análisis microbiológico de las muestras de microplásticos y de arena recogidas en las 2 tomas efectuadas. En la toma 1 (Tabla 2.1) se observa la presencia en microplásticos, tanto en pellets como en fragmentos, de contaminación bacteriana por los indicadores fecales, *E. coli* y *Enterococcus faecalis*. Si comparamos por líneas de mareas, es difícil establecer una relación, aunque en general *E. coli* aparece en la línea de marea más próxima al agua (línea 1) y *Enterococcus faecalis* en las más alejadas. El género *Vibrio* y concretamente tras su identificación la especie *V. alginolyticus* aparece en la totalidad de las muestras, tanto fragmentos como pellets.

En esta primera toma, las muestras de arena de las líneas 2,3 y 4, aparecen contaminadas por *E. coli* y la más alejada del mar la línea 5 por *E. faecalis*, siendo esta bacteria más resistente en el medio ambiente y suele indicar contaminación más antigua en el tiempo. En todas las muestras de arena se aisló la especie *V. alginolyticus*.

Líneas de Marea	Microplásticos	<i>E.coli</i>	<i>E. faecalis</i>	<i>Vibrio spp.</i>
Línea de Marea 1	Fragmentos	+	-	+
	Pellets	+	-	-
	Arena	-	-	+
Línea de Marea 2	Fragmentos	-	-	+
	Pellets	-	-	+
	Arena	+	-	+
Línea de Marea 3	Fragmentos	-	-	+
	Pellets	-	-	+
	Arena	+	-	+
Línea de Marea 4	Fragmentos	-	+	+
	Pellets	-	+	+
	Arena	+	-	+
Línea de Marea 5	Fragmentos	-	+	+
	Pellets	-	+	+
	Arena	-	+	+

Tabla 2.1 Contenido microbiológico de los microplásticos y la arena en las diferentes líneas de marea en el primer muestreo.

Con respecto a los resultados microbiológicos de la segunda toma de muestra podemos observar en la Tabla 2.2, que *E. coli* aparece más en fragmentos encontrados en líneas de mareas más cercanas a la playa (líneas 1, 2, 3 y 4) y solo en una muestra de pellets intermedia (línea 2) y si comparamos con la primera toma el número de muestras con aislamiento de *E. faecalis* fue muy inferior (sólo en fragmentos de la línea 2 de marea). También fueron los Vibrios y concretamente la especie *V. alginolyticus* la que se encontró en la mayoría de muestras.

Si hacemos referencia a las muestras de arena, en esta toma la contaminación encontrada fue por la especie *V. alginolyticus*, no apareciendo las bacterias indicadoras de contaminación fecal en ninguna de las muestra.

Líneas de Marea	Microplásticos	<i>E.coli</i>	<i>E.faecalis</i>	<i>Vibrio spp.</i>
Línea de Marea 1	Fragmentos	+	-	+
	Pellets	-	-	-
	Arena	-	-	+
Línea de Marea 2	Fragmentos	+	+	+
	Pellets	-	-	-
	Arena	-	-	+
Línea de Marea 3	Fragmentos	+	-	+
	Pellets	+	-	+
	Arena	-	-	+
Línea de Marea 4	Fragmentos	+	-	+
	Pellets	-	-	-
	Arena	-	-	+
Línea de Marea 5	Fragmentos	-	-	+
	Pellets	-	-	+
	Arena	-	-	+

Tabla 2.2. Contenido microbiológico de los microplásticos y la arena en las diferentes líneas de marea en el segundo muestreo.

En nuestro estudio la especie *Vibrio alginolyticus* es el principal colonizador de los biofilm presentes en las muestras de MP analizados. Estos hallazgos concuerdan con lo manifestado por diversos autores que encuentran con frecuencia esta especie bacteriana en los microplásticos de distintas zonas geográficas (Rodrigues *et al.*, en 2019⁽¹¹⁾ y Lacerda *et al.*, 2021⁽¹²⁾).

En el medio de cultivo TCBS, en algunas muestras del segundo muestreo encontramos, aparte de las colonias características de *Vibrio spp.*, colonias más translúcidas y con un color diferente al verde o amarillo de las especies de *Vibrio spp.* Concretamente en las muestras de arena de todas las líneas de marea y en las de fragmentos más próximas a el agua (líneas 1, 2 y 3). Una vez realizado la identificación de estas colonias mediante el sistema automatizado se identificó como *Shewanella algae*, un bacilo Gram-negativo no fermentador, que produce infecciones en humanos de forma infrecuente. Se asocia con la exposición al agua de mar durante las estaciones cálidas, produciendo úlceras cutáneas, otitis externa y bacteriemia.

Aunque se pensaba que estos bacilos rara vez eran patógenos, ha habido un número creciente de informes de que están implicados en una amplia variedad de infecciones clínicamente significativas, por lo que se considera un patógeno emergente ^(13, 14,15).

Existen pocos estudios que relacionan esta bacteria con relación a su presencia en los microplásticos. Un estudio realizado en la acumulación de microplásticos en los manglares de una zona tropical indicaron colonización por *Vibrio parahemolyticus* (*V. parahemolyticus*), *Vibrio alginolyticus* (*V. alginolyticus*) y *Shewanella*, indicando además, que en comparación con *V. parahaemolyticus* aislado de los mismos microplásticos de manglares, *Shewanella* y *V. alginolyticus* mostraron una mayor resistencia a los antibióticos ⁽¹⁶⁾.

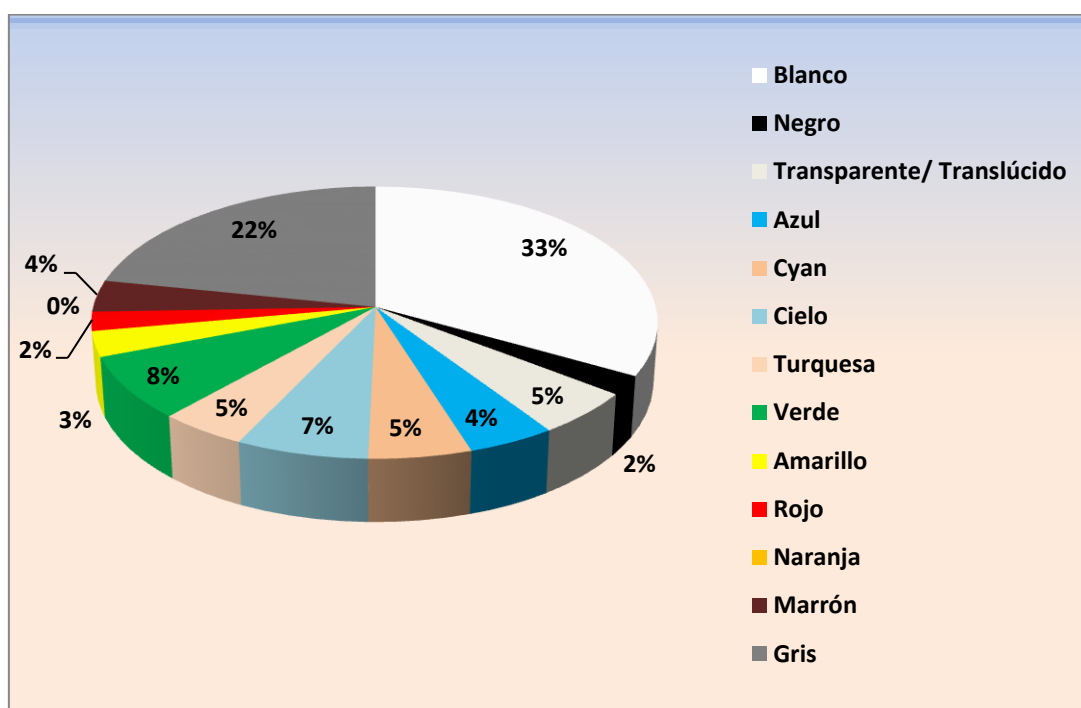
En este mismo sentido, otros autores manifiestan que la contaminación plástica en ambientes acuáticos, particularmente microplásticos (<5 mm), es una amenaza emergente para la salud, ya que la composición y estructura de los microplásticos hacen que puedan transportar a grandes distancias formando biopelículas a microorganismos patógenos y además pudiendo intercambiar genes de resistencia a los antibióticos ^(17,18).

Dada que la procedencia de estas bacterias, tanto del género *Vibrio* como *Shewanella*, presentes normalmente de aguas cálidas, podríamos considerar que los microplásticos pueden transportar y diseminar bacterias de lugares con aguas más cálidas hasta aguas más templadas y esto se podría ver agravado por el cambio climático.

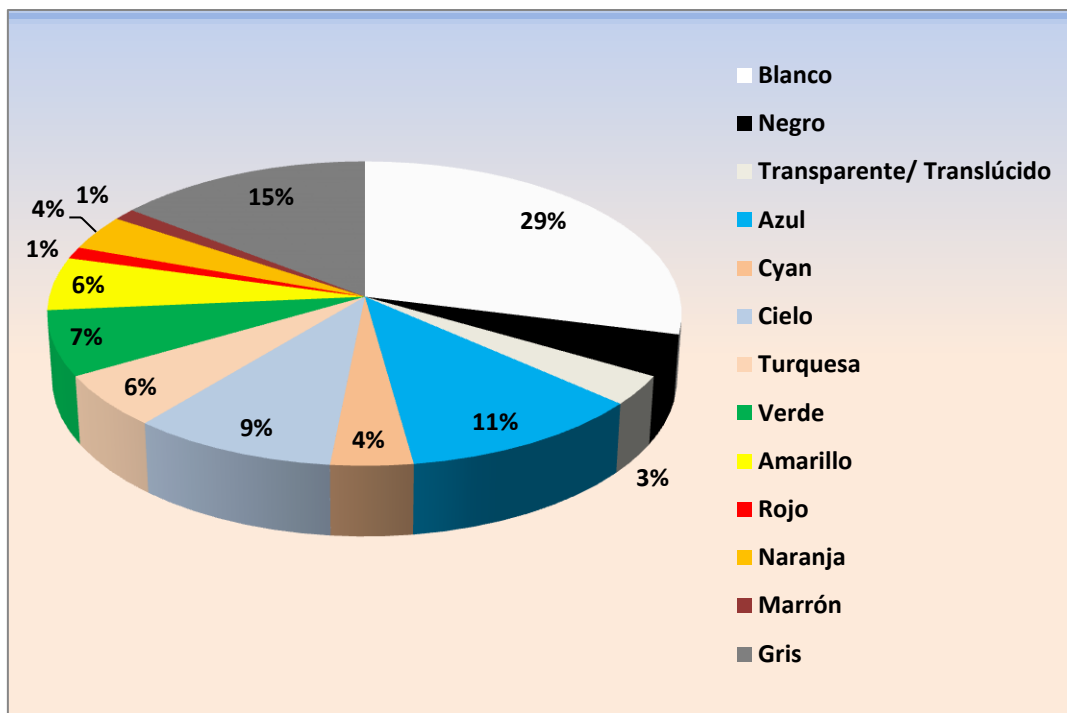
4.2. Evaluación del tiempo de permanencia de los microplásticos en el medio marino

Se recogieron un total 292 fragmentos de microplásticos (133 en el primer muestreo y 159 en el segundo muestro). Los resultados de la distribución de los fragmentos por colores y tonalidades en las diferentes líneas de marea en el primer y segundo muestreo se encuentran en Tabla A y la Tabla B en los anexos. Además, la cantidad de fragmentos de cada color en ambos muestreos se recogen en la Tabla C, también en anexos.

Para obtener una idea global acerca de los porcentajes de colores de los fragmentos de microplásticos en ambos muestros se realizaron las gráficas 1 y 2.



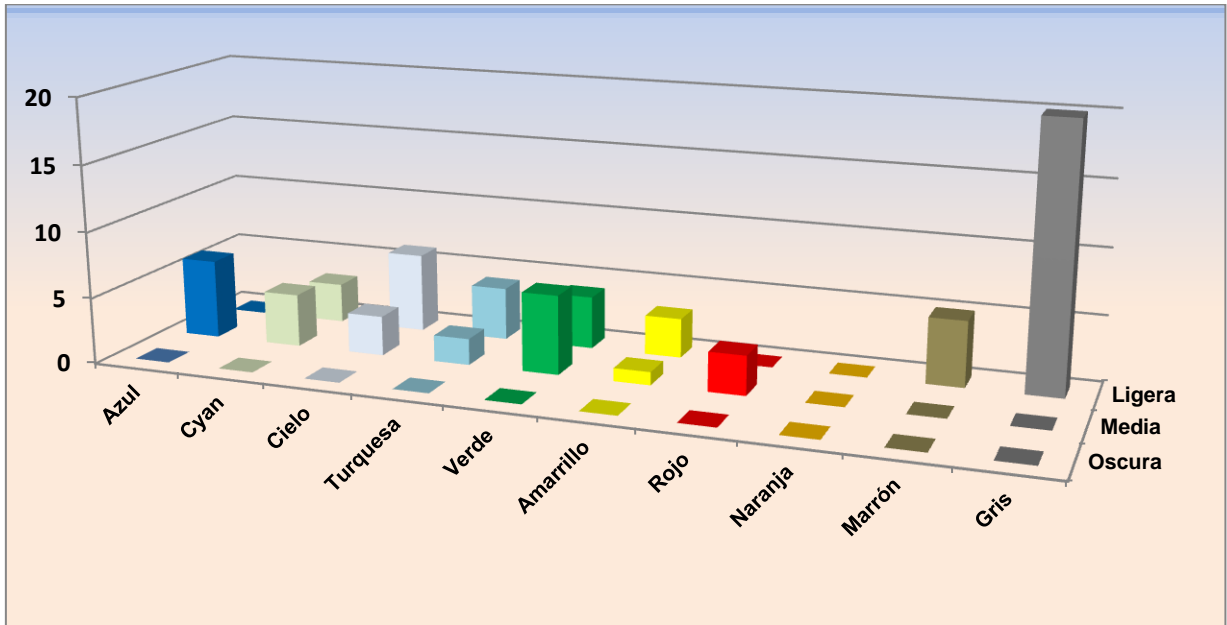
Gráfica 1. Porcentaje de colores de los fragmentos de microplásticos en el primer muestreo.



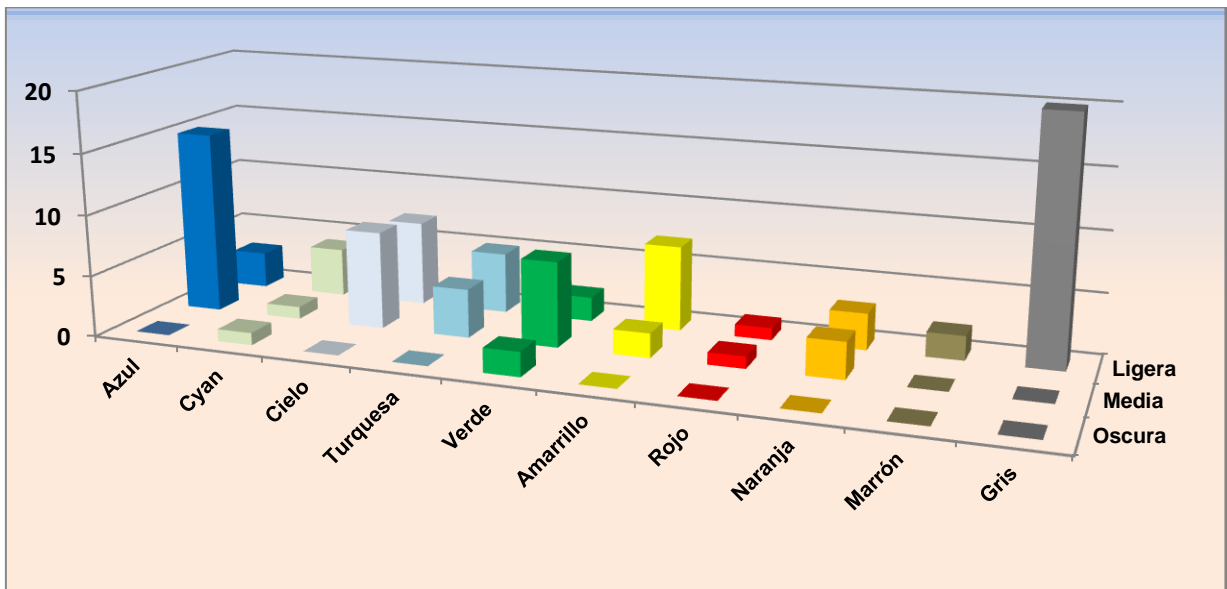
Gráfica 2. Porcentaje de colores de los fragmentos de microplásticos en el segundo muestreo.

En base a los datos de las Gráficas (1 y 2) se puede concluir la existencia de una diversa gama de colores en los microplásticos estudiados. El color blanco es el más predominante en ambos muestreos. Compone el 33% del total en el primer muestreo y el 29% en el segundo. El segundo color más prominente es el gris con un porcentaje del 22% en el primer muestreo y del 15% en el segundo. En el 55% restante del primer muestreo predominaron colores como el verde, el cielo, el transparente, etc... En cambio, en el 44% restante del segundo muestreo predominaron colores como el verde, el azul y el cielo.

Por otro lado, se desarrollaron otras dos gráficas (Gráfica 3 y Gráfica 4) en columnas para interpretar la distribución de los colores y tonalidades en los fragmentos de microplásticos del primer y segunda muestreo.



Gráfica 3. Distribución de los colores y tonalidades en los fragmentos de microplásticos en primer muestreo. En la gráfica se excluyen los colores y tonalidades: blanco, translúcido/transparente y negro.



Gráfica 4. Distribución de los colores y tonalidades en los fragmentos de microplásticos en el segundo muestreo. En la gráfica se excluyen los colores y tonalidades: blanco, translúcido/transparente y negro.

Con respecto a las tonalidades, en ambos muestreos se observa una tendencia hacia las tonalidades más claras (ligeras), con un porcentaje del 41% en el primer muestreo y del 36% en el segundo. Existe un escaso número de fragmentos de tonalidad oscura, negra y transparente/translúcida donde ninguno representa más del 10%.

La fotooxidación es un proceso conocido que induce cambios en el color de los polímeros plásticos. El daño fotooxidativo provoca un cambio gradual hacia colores claros, como el blanco y amarillo-marrón en los plásticos que se encuentran en el océano un mayor tiempo de exposición en el medio ambiente. Por lo tanto, el color de los plásticos proporciona información sobre el envejecimiento de las muestras de plásticos marinos ⁽⁸⁾.

Tras la evaluación realizada podemos indicar un período de permanencia largo de los microplásticos en el medio marino debido a la predisposición por tonalidades más claras.

Los datos obtenidos coinciden con el estudio *“Los colores de los plásticos del océano”* realizado por Martí *et al* en 2020⁽⁸⁾, siendo en su trabajo los fragmentos de color blanco los más abundantes con una clara tendencia a las tonalidades más claras.

4.3. Composición de los microplásticos y pellets

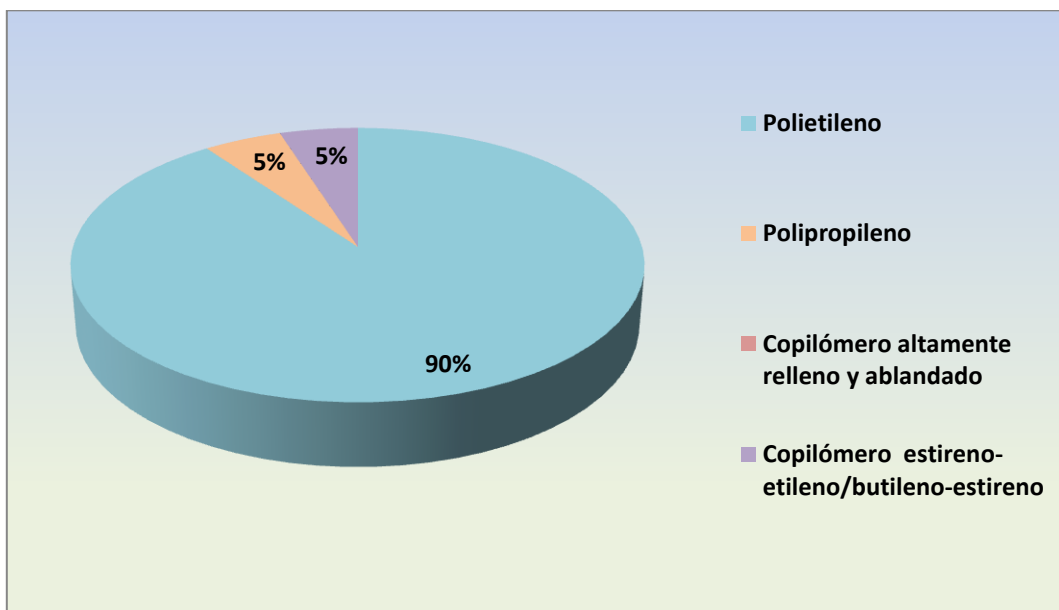
Se determinó la composición de 30 fragmentos de microplásticos (15 pertenecientes al primer muestreo y 15 al segundo) y de 10 pellets (5 de primer muestreo y 5 del segundo). Los resultados de la composición de los fragmentos y pellets en las distintas líneas de marea del primer y el segundo muestreo se encuentran en la Tabla D y la Tabla E en los anexos.

Para observar los resultados obtenidos sobre de la distribución de la composición de los fragmentos y pellets en el primer y segundo de manera global se realizó la Tabla 4. A partir de la misma, se determina el polietileno como el componente principal de los microplásticos estudiados en ambos muestreos.

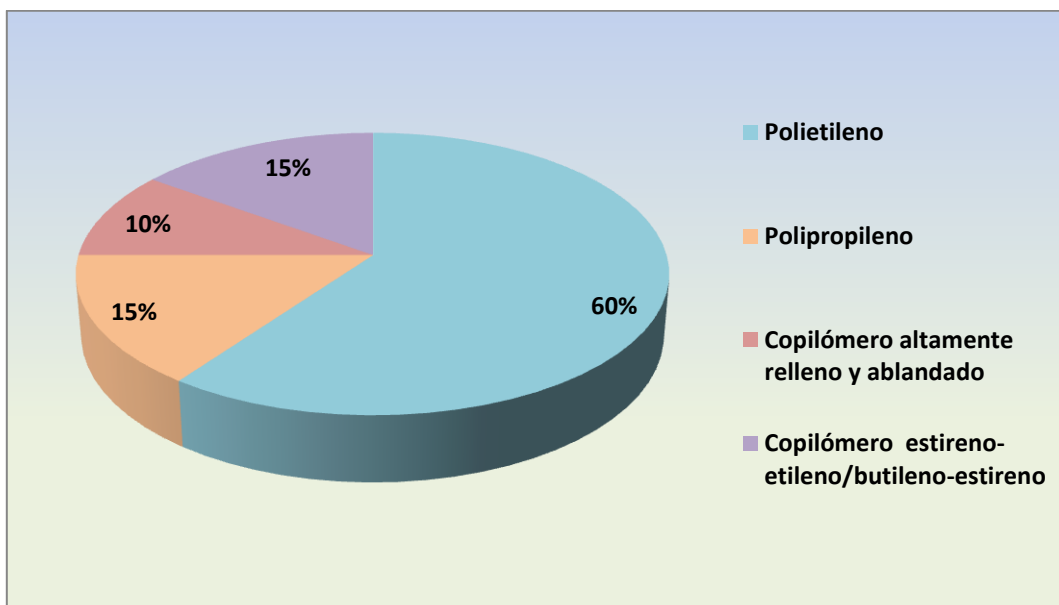
	Primer muestreo	Segundo muestreo
Composición	Cantidad	
Polietileno	18	12
Polipropileno	1	3
Copilómero altamente relleno y ablandado	-	2
Copilómero estireno-etileno/butileno-estireno	1	3

Tabla 4. Distribución de la composición de los microplásticos en el primer y segundo muestreo.

Se realizaron dos gráficas (Gráfica 5 y Gráfica 6) circulares acerca de los porcentajes de composición de los microplásticos del primer y segundo muestreo.



Gráfica 5. Porcentajes de composición de los microplásticos en el primer muestreo.



Gráfica 6. Porcentajes de composición de los microplásticos en el segundo muestreo.

En el primer muestreo, teniendo en cuenta los resultados mostrados en las Gráficas (5 y 6) y la Tabla 4, se observa el polietileno como el componente principal de los microplásticos con un 90% del porcentaje total, seguido del polipropileno y el copilómero estireno-etileno/butileno-estireno (5%). Con respecto al segundo muestreo, predomina el polietileno, al igual que en el primero, con un 60% del porcentaje total. Sin embargo, en este caso le sigue polipropileno y el copilómero estireno-etileno/butileno-estireno con un porcentaje de 15% ambos y el copilómero altamente relleno y ablandado (10%).

En un estudio realizado por Gewert B, *et al.*, 2017⁽⁹⁾ sobre la abundancia y composición de microplásticos y desechos plásticos cerca de la superficie en el archipiélago de Estocolmo, Mar Báltico se realizó un análisis FTIR donde se confirmó como los tipos de polímeros más comunes el polipropileno, siendo este el más cuantioso, y el polietileno. En comparación con nuestro trabajo, el polietileno se contrasta como el polímero plástico más abundante. Sin embargo, los microplásticos de polipropileno fueron hallados en una menor proporción, la misma que para los microplásticos de copilómero estireno-etileno/butileno-estireno.

5. Conclusiones

1. En los dos muestreos realizados y en todas las zonas de la playa Grande de Arico (Tenerife) se encontraron una gran cantidad de microplásticos, predominando los fragmentos sobre los pellets.
2. Con relación al contenido microbiano de los microplásticos y si comparamos por tipo (fragmentos y pellets) y por líneas de mareas, es difícil establecer una relación, aunque en general hay mayor contenido microbiano en los fragmentos que en los pellets. *E. coli* aparece en los fragmentos de las muestras recogidas en las líneas de marea más próximas al agua y *Enterococcus faecalis* en las más alejadas.
3. *V. alginolyticus* se aisló en la totalidad de las muestras, tanto de fragmentos como pellets. Además, se identificó en los fragmentos recogidos en las líneas más cercanas al agua la bacteria *Shewanella algae*, considerada como un patógeno emergente
4. En las muestras de agua de mar, se observó la presencia de *E.coli* y *Vibrio alginolyticus* en todas las muestras de agua del primer muestreo. En el segundo, además de los anteriores, se aisló *Enterococcus faecalis*. En las muestras de arena se aislaron tanto las bacterias de origen fecal como *Vibrio alginolyticus*
5. El polietileno fue el componente principal de los microplásticos estudiados en ambos muestreos y la mayoría llevaban bastante tiempo en el ecosistema marino si consideramos que al estudiar su color, hubo un predominio de los tonos blancos y pálidos.
6. Dada que la procedencia de las bacterias *Vibrio alginolyticus* y *Shewanella algae* es de aguas cálidas, sería de interés profundizar en la posibilidad de que los microplásticos puedan transportar y diseminar bacterias de lugares con aguas más cálidas hasta aguas más templadas, lo que podría verse agravado por el cambio climático.

6. Referencias Bibliográficas

1. Bollaín Pastor C, Vicente Agulló D. Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública [Presence of microplastics in water and the potential impact on public health]. *Rev Esp Salud Publica*. 2019 Aug 28;93:e201908064. Spanish. PMID: 31462628.
2. Kirstein IV, Kirmizi S, Wichels A, Garin-Fernandez A, Eler R, Löder M, Gerds G. Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. on microplastic particles. *Mar Environ Res*. 2016 Sep;120:1-8. doi: 10.1016/j.marenvres.2016.07.004. Epub 2016 Jul 5. PMID: 27411093.
3. Bowley J, Baker-Austin C, Porter A, Hartnell R, Lewis C. Oceanic Hitchhikers - Assessing Pathogen Risks from Marine Microplastic. *Trends Microbiol*. 2021 Feb;29(2):107-116. doi: 10.1016/j.tim.2020.06.011. Epub 2020 Aug 13. PMID: 32800610.
4. Andrady AL. Microplastics in the marine environment. *Mar Pollut Bull*. 2011 Aug;62(8):1596-605. doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030. Epub 2011 Jul 13. PMID: 21742351.
5. Amaral-Zettler LA, Zettler ER, Mincer TJ. Ecology of the plastisphere. *Nat Rev Microbiol*. 2020 Mar;18(3):139-151. doi: 10.1038/s41579-019-0308-0. Epub 2020 Jan 14. PMID: 31937947.
6. Keswani A, Oliver DM, Gutierrez T, Quilliam RS. Microbial hitchhikers on marine plastic debris: Human exposure risks at bathing waters and beach environments. *Mar Environ Res*. 2016 Jul;118:10-9. doi: 10.1016/j.marenvres.2016.04.006. Epub 2016 Apr 11. PMID: 27128352.
7. Herrera A, Asensio M, Martínez I, Santana A, Packard T, Gómez M. Contaminación por microplásticos y alquitrán en tres playas de Canarias: un estudio anual. *Toro Mar Contaminación*. 2018 abril; 129 (2): 494-502. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.10.020. Epub 2017 6 de noviembre. PMID: 291
8. Martí E, Martin C, Galli M, Echevarría F, Duarte CM, Cózar A. The Colors of the Ocean Plastics. *Environ Sci Technol*. 2020 Jun 2;54(11):6594-6601. doi: 10.1021/acs.est.9b06400. Epub 2020 May 21. PMID: 32392043.

9. Gewert B, Ogonowski M, Barth A, MacLeod M. Abundance and composition of near surface microplastics and plastic debris in the Stockholm Archipelago, Baltic Sea. *Mar Pollut Bull.* 2017 Jul 15;120(1-2):292-302. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.04.062. Epub 2017 May 18. PMID: 28527744.
10. Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño, Real Decreto nº 1341/2007, 11 de octubre de 2007, Boletín Oficial del Estado [Internet], 26 de octubre de 2007;(257) (España).
11. Rodrigues A, Oliver DM, McCarron A, Quilliam RS. Colonisation of plastic pellets (nurdles) by *E. coli* at public bathing beaches. *Mar Pollut Bull.* 2019 Feb;139:376-380. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.01.011. Epub 2019 Jan 11. PMID: 30686440.
12. Lacerda ALDF, Taylor JD, Rodrigues LDS, Kessler F, Secchi E, Proietti MC. Floating plastics and their associated biota in the Western South Atlantic. *Sci Total Environ.* 2022 Jan 20;805:150186. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150186. Epub 2021 Sep 9. PMID: 34818771.
13. Torri A, Bertini S, Schiavone P, Congestrì F, Matteucci M, Sparacino M, Testa G, Pedna MF, Sambri V. *Shewanella algae* infection in Italy: report of 3 years' evaluation along the coast of the northern Adriatic Sea. *New Microbes New Infect.* 2018 Mar 12;23:39-43. doi: 10.1016/j.nmni.2018.01.002. PMID: 29556408; PMCID: PMC5854895.
14. Bernshteyn M, Ashok Kumar P, Joshi S. *Shewanella algae* - A Novel Organism Causing Bacteremia: A Rare Case and Literature Review. *Cureus.* 2020 Sep 27;12(9):e10676. doi: 10.7759/cureus.10676. PMID: 33133842; PMCID: PMC7592632.
15. Yan Y, Chai X, Chen Y, Zhang X. The Fulminating Course of Infection Caused by *Shewanella algae*: A Case Report. *Infect Drug Resist.* 2022 Apr 8;15:1645-1650. doi: 10.2147/IDR.S357181. PMID: 35422640; PMCID: PMC9005229.

16. Tan B, Li Y, Xie H, Dai Z, Zhou C, Qian ZJ, Hong P, Liang Y, Ren L, Sun S, Li C. Microplastics accumulation in mangroves increasing the resistance of its colonization *Vibrio* and *Shewanella*. *Chemosphere*. 2022 May;295:133861. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.133861. Epub 2022 Feb 8. PMID: 35149013.
17. Mughini-Gras L, van der Plaats RQJ, van der Wielen PWJJ, Bauerlein PS, de Roda Husman AM. Riverine microplastic and microbial community compositions: A field study in the Netherlands. *Water Res*. 2021 Mar 15;192:116852. doi: 10.1016/j.watres.2021.116852. Epub 2021 Jan 19. PMID: 33517045.
18. Zhu D, Ma J, Li G, Rillig MC, Zhu YG. Soil plastispheres as hotpots of antibiotic resistance genes and potential pathogens. *ISME J*. 2022 Feb;16(2):521-532. doi: 10.1038/s41396-021-01103-9. Epub 2021 Aug 28. Erratum in: *ISME J*. 2021 Oct 27;: PMID: 34455424; PMCID: PMC8776808.
19. European Union. European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability. 2013 Disponible en: <https://mcc.jrc.ec.europa.eu/documents/201702074014.pdf>

7. Anexos

Colores	Tonalidades	Fragmentos L1	Fragmentos L2	Fragmentos L3	Fragmentos L4	Fragmentos L5
Blanco		8	12	10	7	7
Negro						3
Transparente/ Translúcido		2	1	3		1
Azul	Oscura					
	Media	1		2	1	2
	Ligera					
Cyan	Oscura					
	Media		1		1	2
	Ligera	2			1	
Cielo	Oscura					
	Media		1		1	1
	Ligera	2	2			2
Turquesa	Oscura					
	Media			1	1	
	Ligera		2		1	1
Verde	Oscura					
	Media	1	1	1	1	2
	Ligera	2	1	1		
Amarillo	Oscura					
	Media				1	
	Ligera			2		1
Rojo	Oscura					
	Media			1	1	1
	Ligera					
Naranja	Oscura					
	Media					
	Ligera					
Marrón	Oscura					
	Media					
	Ligera	1	2		1	1
Gris	Oscura					
	Media					
	Ligera	7	3	7	7	5
TOTAL		26	26	28	24	25

Tabla A. Distribución de colores y tonalidades de los fragmentos del primer muestreo en las diferentes líneas de marea.

Colores	Tonalidades	Fragmentos L1	Fragmentos L2	Fragmentos L3	Fragmentos L4	Fragmentos L5
Blanco		9	11	12	8	6
Negro			3	2		2
Transparente/ Translúcido		2		1		2
Azul	Oscura					
	Media	3	1	2	5	4
	Ligera				3	
Cyan	Oscura		1			
	Media		1			
	Ligera			1	2	1
Cielo	Oscura					
	Media	4	2	1	1	
	Ligera		3		2	2
Turquesa	Oscura					
	Media			1	2	1
	Ligera	2				3
Verde	Oscura			1		1
	Media		3	2		2
	Ligera					2
Amarillo	Oscura					
	Media			2		
	Ligera	2	1		2	2
Rojo	Oscura					
	Media		1			
	Ligera				1	
Naranja	Oscura					
	Media	1	1	1		
	Ligera					3
Marrón	Oscura					
	Media					
	Ligera		1		1	
Gris	Oscura					
	Media					
	Ligera	2	5	6	7	3
TOTAL		25	34	32	35	34

Tabla B. Distribución de colores y tonalidades de los fragmentos del segundo muestreo en las diferentes líneas de marea.

	Primer muestreo	Segundo muestreo
Colores	Cantidad	
Blanco	44	46
Negro	3	7
Transparente/ Translúcido	7	5
Azul	6	18
Cyan	7	6
Cielo	9	15
Turquesa	6	9
Verde	10	11
Amarrillo	4	9
Rojo	3	2
Naranja	0	6
Marrón	5	2
Gris	29	23
TOTAL	133	159
	292	

Tabla C. Cantidad de fragmentos de cada color en el primer y segundo muestreo.

Líneas de Marea	Microplásticos	Composición
Línea de Marea 1	Fragmento 1	Polietileno
	Fragmento 2	Polietileno
	Fragmento 3	Polietileno
	Pellet	Polietileno
Línea de Marea 2	Fragmento 1	Polietileno
	Fragmento 2	Polietileno
	Fragmento 3	Copilómero estireno-etileno/butileno-estireno
	Pellet	Polietileno
Línea de Marea 3	Fragmento 1	Polietileno
	Fragmento 2	Polietileno
	Fragmento 3	Polietileno
	Pellet	Polietileno
Línea de Marea 4	Fragmento 1	Polipropileno
	Fragmento 2	Polietileno
	Fragmento 3	Polietileno
	Pellet	Polietileno
Línea de Marea 5	Fragmento 1	Polietileno
	Fragmento 2	Polietileno
	Fragmento 3	Polietileno
	Pellet	Polietileno

Tabla D. Composición de los fragmentos y pellets en las distintas líneas de marea pertenecientes al primer muestreo.

Líneas de Marea	Microplásticos	Composición
Línea de Marea 1	Fragmento 1	Polietileno
	Fragmento 2	Polietileno
	Fragmento 3	Copilómero estireno-etileno/butileno-estireno
	Pellet	Polietileno
Línea de Marea 2	Fragmento 1	Polietileno
	Fragmento 2	Polietileno
	Fragmento 3	Copilómero altamente relleno y ablandado
	Pellet	Polietileno
Línea de Marea 3	Fragmento 1	Copilómero estireno-etileno/butileno-estireno
	Fragmento 2	Copilómero altamente relleno y ablandado
	Fragmento 3	Copilómero estireno-etileno/butileno-estireno
	Pellet	Polietileno
Línea de Marea 4	Fragmento 1	Polietileno
	Fragmento 2	Polipropileno
	Fragmento 3	Polietileno
	Pellet	Polietileno
Línea de Marea 5	Fragmento 1	Polipropileno
	Fragmento 2	Polietileno
	Fragmento 3	Polipropileno
	Pellet	Polietileno

Tabla E. Composición de los fragmentos y pellets en las distintas líneas de marea pertenecientes al segundo muestreo.