



Tipos, abundancia y contribución de las ciudades costeras en la distribución de microplásticos en los sistemas de surgencia de las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile.

Autora: *Angela Johana Gamba Arenas*¹

Directores: *Andrea Luna Acosta*¹, *Martin Thiel*^{2,3}

Evaluadores: *Sebastian Restrepo Calle*¹, *Angela Moncaleano*¹

Trabajo de grado para otorgar el título de Ecóloga

1. Departamento de Ecología y Territorio, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana, Transversal 4 No. 42-00. Bogotá, Colombia.
2. Universidad Católica del Norte, Larrondo 1281, Coquimbo, Chile.
3. Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Coquimbo, Chile.

Autor correspondiente: Angela Johana Gamba Arenas

E-mail: angela11609@gmail.com

Departamento de Ecología y Territorio

Facultad de Estudios Ambientales y Rurales

Pontificia Universidad Javeriana

Transv 4 No. 42-00 Bogotá, Colombia

2019

Tipos, abundancia y contribución de las ciudades costeras a la distribución de microplásticos en sistemas de surgencia en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile.

Pregunta general

¿Cuáles son los tipos, abundancia y contribución de las ciudades costeras a la distribución de los microplásticos flotantes en las aguas costeras, de los sistemas de surgencia del norte de Chile?

Preguntas específicas

1. ¿Cuáles son las características generales de los microplásticos flotantes en las aguas superficiales costeras de Chile?
2. ¿Cómo la distancia puede ser un factor que determine la abundancia de microplásticos, en las ciudades costeras en sus aguas superficiales de Chile?
3. ¿Qué otras fuentes pueden influir en la abundancia de microplásticos flotantes en las aguas superficiales costeras de Chile?

Objetivo general

Determinar las características generales y evaluar si las ciudades costeras contribuyen a la abundancia y distribución de microplásticos flotantes en aguas costeras de sistemas de surgencia en Chile.

Objetivos específicos

1. Caracterizar los diferentes tipos de microplásticos flotantes en las aguas superficiales costeras de Chile.
2. Evaluar si la distancia influye en la abundancia de los microplásticos en las ciudades costeras en las aguas superficiales de Chile.
3. Describir qué otras fuentes pueden aportar a la abundancia de microplásticos en las ciudades costeras en las aguas superficiales de Chile.

Hipótesis

Hipótesis principal: Entre más cerca de las ciudades, mayor es la abundancia de los microplásticos.

Resumen

La presencia de microplásticos (MP) <5 mm en el océano es un problema de escala global. En este estudio se analizaron 57 muestras de microplásticos flotantes, en los sistemas de surgencia en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile. Se encontró un total de abundancia incluyendo ítems >5 mm de 6.073.129 ítems/km², con un promedio de 104.997 MP/km², excluyendo >5 mm, con un peso total de 63.630g/km². Los fragmentos el tipo más común en esta zona, y los colores transparente/translúcido y blanco fueron los que más predominaron. Fuentes como las ciudades podrían ser responsables de las abundancias de los microplásticos observadas en este estudio, siendo Arica la ciudad que más aportó a la presencia de estas partículas, seguido de Valparaíso. Las actividades portuarias y turísticas y el clima, podrían ser las actividades humanas que más aportaron a la presencia de estas partículas.

Palabras clave: Aguas costeras, Corriente de Humboldt, Microplásticos, Sistemas de Surgencia.

Abstract

The presence of microplastics (MP) <5 mm in the ocean is a problem of global scale. In this study, 57 samples of floating microplastics in the upwelling systems in the coastal surface waters of the South Pacific of northern Chile were analyzed. A total abundance including items >5 mm of 6.073.129 items/km² was found with an average excluding >5 mm of 104.997 MP/km², with a total weight of 63.630g/km². Fragments were the most common type in this area, and transparent/translucent and white were the color most predominant. Sources such as cities, could be affecting the abundance of microplastics. Arica was the city that contributed most to the presence of these particles, followed by Valparaíso. Port and touristic activities, and the weather, could be human activities more affecting the abundance of microplastics.

Key words: Coastal waters, Humboldt Current, Microplastics, Upwelling Systems.

1. Introducción

La presencia de pequeñas partículas flotantes llamadas microplásticos <5 mm (MP) en la superficie del océano, está siendo un problema de escala mundial (Song et al. 2015). Estos MP están causando efectos negativos en la biota marina, a través de la ingestión de estas partículas (Derraik 2002; Jiang 2018). Estudios informan que la fauna marina puede confundir los MP por alimentos y terminan ingiriendo estas partículas (Au et al. 2017; Browne et al. 2015), causando la obstrucción física, daño en los apéndices de alimentación o del tracto digestivo (GESAMP 2015). Los MP son también vectores de sustancias químicas hacia los organismos marinos, que pueden causar toxicidad química en la biota (GESAMP 2015). Adicionalmente, existen evidencias a la posible transferencia de estos MP a través de la cadena alimentaria (Gallo et al. 2018), afectando cada nivel trófico y posiblemente generando consecuencias negativas en la salud humana (Antão et al. 2018).

Existen dos tipos de orígenes de dónde pueden provenir los MP: pueden ser primarios y secundarios. Los de origen primario son aquellos MP que se fabrican y que son usados directamente para aplicaciones industriales o domésticas, por ejemplo, pellets de resina, que se utilizan principalmente como ingrediente de productos para el cuidado personal, como jabones, exfoliantes, cremas dentales, etc (Anbumani and Kakkar 2018; Auta, Emenike, and Fauziah 2017; Zhang et al. 2018). Los de origen secundario son los que se forman a partir de la descomposición de elementos plásticos más grandes, ya sea debido a la radiación ultravioleta u otros factores abióticos (Auta, Emenike, and Fauziah 2017).

Respecto a las fuentes, se sabe que casi el 80% de los desechos plásticos se origina de fuentes terrestres, como desechos generados por poblaciones costeras y/o actividades turísticas a través de la escorrentía de ríos, sistemas de redes de drenaje municipales (Derraik 2002; Pruter 1987), de plantas de tratamiento de aguas residuales (Auta, Emenike, and Fauziah 2017; Pruter 1987). El 20% restante se origina de actividades marítimas como la acuicultura, la pesca, el transporte marítimo, entre otras (Abu and Al 2009; Eriksen, Thiel, and Lebreton 2017; Hinojosa and Thiel 2009). Lo anterior sugiere que la abundancia de los MP en las zonas costeras podría estar relacionada con las ciudades y su densidad poblacional (Yu et al. 2018). Sin embargo, otros factores abióticos como el viento, el clima, con sus eventos catastróficos (Gall and Thompson 2015), las corrientes, las olas y los sistemas de surgencia (Auta, Emenike, and Fauziah 2017; Ory et al 2018), pueden jugar un papel trascendental en el transporte y redistribución vertical y horizontal de los MP, aportando desechos plásticos flotantes a las zonas costeras (GESAMP 2015; Lebreton et al. 2017). Adicionalmente, las actividades humanas, ya sean recreativas, turísticas o con fines económicos, también son fuentes que suministran a la presencia de MP, como es el caso en Portugal, que evidencia las más altas abundancias de MP, como las microfibras, en las zonas donde se ejecutan esas actividades más localmente como en el estuario Tejo (Lourenço et al. 2017).

La distribución de MP en el mar es muy heterogénea. Un estudio global informó, por ejemplo, que el número acumulado de partículas microplásticas para el año 2014 oscilaba entre 15 y 51 billones de partículas (Van Sebille et al. 2015). Esta heterogeneidad está relacionada con muchos factores como la densidad de partículas, la geografía de la costa, los puntos de entrada al medio marino, la posición y la forma de los frentes hidrodinámicos, la fuerza y la dirección de las olas (Barnes et al. 2009; Kim et al. 2015; Yamashita and Tanimura 2007). Por su persistencia y naturaleza de flotabilidad, los MP se pueden dispersar fácil y ampliamente a través de cuerpos de agua, transportando desechos generados por poblaciones costeras, a través de las corrientes oceánicas, fuerza de las olas (Auta et al. 2017), las alcantarillas de aguas pluviales (Auta et al. 2017; Cole et al. 2011), de la escorrentía de ríos, (Cheung et al. 2018; Derraik 2002; Luo et al. 2019; Pruter 1987; Siegfried et al. 2017), de plantas de tratamiento de aguas residuales (Auta et al. 2017; Yu et al. 2018), etc. Es por esto que por un lado, se consideran las corrientes dominantes como un mecanismo de retención, que inhiben el movimiento de los plásticos hacia las costas continentales (Eriksen, Thiel, and Lebreton 2016; Moore et al. 2001). Estudios en la Isla de Pascua, por ejemplo, encontraron que la alta abundancia de pequeños desechos plásticos fue ocasionada por el transporte de partículas plásticas a través del sistema de la corriente oceánica, en especial a través del giro subtropical del Pacífico Sur (Eriksen et al. 2013; Hidalgo-Ruz and Thiel 2013). Esto hace que en dichas zonas haya una abundancia mayor de micropartículas en las aguas superficiales

del océano abierto, en comparación con la abundancia en aguas costeras (Barrows, Cathey, and Petersen 2018). Sin embargo, estudios en estas zonas costeras son primordiales, para entender cuales son los tipos de MP más comunes allí, sin embargo estudios se han enfocado en estudiar la acumulación de los MP en el océano, especialmente en los giros oceánicos.

Por otro lado, estudios sugieren que la mayoría de los pequeños desechos plásticos encontrados en la costa continental son provenientes de fuentes locales cercanas (Hidalgo-Ruz and Thiel 2013; Ryan et al. 2018). Un estudio reportó que las densidades de basura marina plástica encontradas en aguas costeras, en la costa de Yeosu, en el Sur de Corea fueron altas (Lee et al. 2006). Otro estudio comparó las abundancias de MP en distintas zonas costeras, especialmente en distintos cuerpos de agua y encontró que la abundancia fue mayor en cuerpos de agua dulce, comparado con zonas como los estuarios (Luo et al. 2019). Es por esto que las abundancias de los MP puede ser alta en relación a la cercanía de áreas urbanas, especialmente después de los eventos de lluvia (Moore et al. 2002). Además, se debe tener en cuenta que en estas zonas costeras existe un transporte selectivo con los macroplásticos >5 mm que se encuentran cerca de la costa y en las playas, ya que estos son arrastrados con las mareas y las olas y dispersan estas partículas, y este movimiento en aguas costeras funciona de manera persistente hasta que se degradan y se forman los MP <5 mm en las zonas costeras (Isobe et al. 2014). Es por esto que evaluar la abundancia de MP en función de la distancia a la costa, puede ayudar a determinar si las ciudades son una fuente principal de los MP en aguas costeras (Luo et al. 2019; Garrity and Levings 1993; Zeri et al. 2018) y se esperaría que sea cerca de las ciudades más pobladas sea mayor la abundancia de MP (Barnes et al. 2009; Lassen et al. 2015).

Una determinación de los tipos de plástico presentes en las aguas costeras puede ayudar a identificar las principales actividades humanas responsables de la presencia de estos MP en el mar. Las partículas como microfibras, asociadas a la industria textil y a las actividades domésticas de lavado, son las más comunes en las aguas superficiales costeras (Dai et al. 2018; Kang et al. 2015; Yu et al. 2018;). En Dinamarca, por ejemplo, se ha reportado que en un año se pueden emitir alrededor de 21.500 toneladas de MP, de las cuales 2.000 a 5.600 toneladas, se descargan por las aguas residuales anualmente, derivadas principalmente de industrias de textiles, y se encuentran por ejemplo MP como las fibras, que terminan acumulándose en las aguas costeras (Lassen et al. 2015). La presencia de estas fibras de poliéster, contaminan las costas a escala global y su presencia está relacionada con áreas muy pobladas y hábitats que reciben aguas residuales contaminadas provenientes del lavado de ropa, ya que estos textiles contienen más materiales sintéticos que fibras naturales (por ejemplo, algodón, lana, seda) (Browne et al. 2016). Adicionalmente, es importante considerar que fuentes como el turismo y puertos pesqueros aumentan la presencia de MP (Dai et al. 2018), como la espuma en un 99% en las aguas superficiales, tal como se evidenció en Jinhae Bay en Corea (Lee et al. 2015). Y en otros casos, son otros tipos de MP los que se encuentran de manera más abundante, como por ejemplo en las playas de la costa sur de Corea, donde los fragmentos de éstos, incluidas las partículas de resina de pintura, representaron el 75% del total de partículas encontradas, seguido de pellets (14%), fibras (5.8%), poliestireno expandido (4.6%) y láminas (1.6%) (Song et al. 2015). Es por esta razón es importante determinar los tipos de MP presentes en las aguas costeras, en función del área de estudio.

Por lo tanto, desarrollar más investigaciones respecto a los MP, es de gran relevancia, ya que es un problema de escala global (Song et al. 2015). Adicionalmente los estudios deben tener en cuenta las zonas en donde ocurren procesos oceanográficos, como las surgencias. Un caso en el sistema de surgencia del Eastern Boundary Upwelling Systems (EBUS) sugiere por ejemplo que muchos MP flotantes, que ingresan a las aguas costeras, se alejan rápidamente de la costa debido al transporte de aguas superficiales en alta mar que es reemplazado por aguas frías más profundas y libres de contaminación microplástica (Ory et al. 2018). Esto sugiere que la mayoría de los pequeños desechos plásticos encontrados en la costa continental provienen de fuentes locales cercanas (Hidalgo-Ruz and Thiel 2013; Ryan et al. 2018). Sin embargo los estudios en zonas donde hay surgencia son escasos. Adicionalmente, investigaciones en zonas costeras, ayudarían a entender los efectos negativos en la biota marina, evitando efectos posibles en la salud del ser humano, promoviendo la mejora del estado ambiental ecológico de los ecosistemas marítimos y costeros, junto con el estado de calidad de estas aguas. Es por esto que este estudio abarca una gran escala terrestre y marítima costera, ubicándose a lo largo de las aguas de surgencia de la corriente de Humboldt, donde se busca determinar las abundancias de los MP, evidenciando si las ciudades costeras como: Arica, Antofagasta, Coquimbo / La Serena y Valparaíso, pueden ser la posible fuente que aporta MP primarios y secundarios. Adicionalmente se buscan identificar otras posibles fuentes que aportan a estas abundancias, en función de la distancia y ubicación geográfica de estos MP en aguas costeras.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

Para determinar las cantidades de MP, las muestras se recolectaron a lo largo del Océano Pacífico en las costas del norte de Chile, entre 1 y 200 km aproximadamente mar adentro, ubicándose a lo largo de la Corriente oceánica de Humboldt. El área de estudio se dividió en cuatro zonas (Arica, Antofagasta, Coquimbo / La Serena y Valparaíso) (figura.1), que fueron las ciudades más cercanas a en donde se encontraban el mayor número de muestras, y las distancias más cortas entre ellas, teniendo en cuenta que se identificó un punto cero (ZP) en el continente que corresponde a una ubicación aproximada al centro urbano de cada ciudad correspondiente (figura.1).

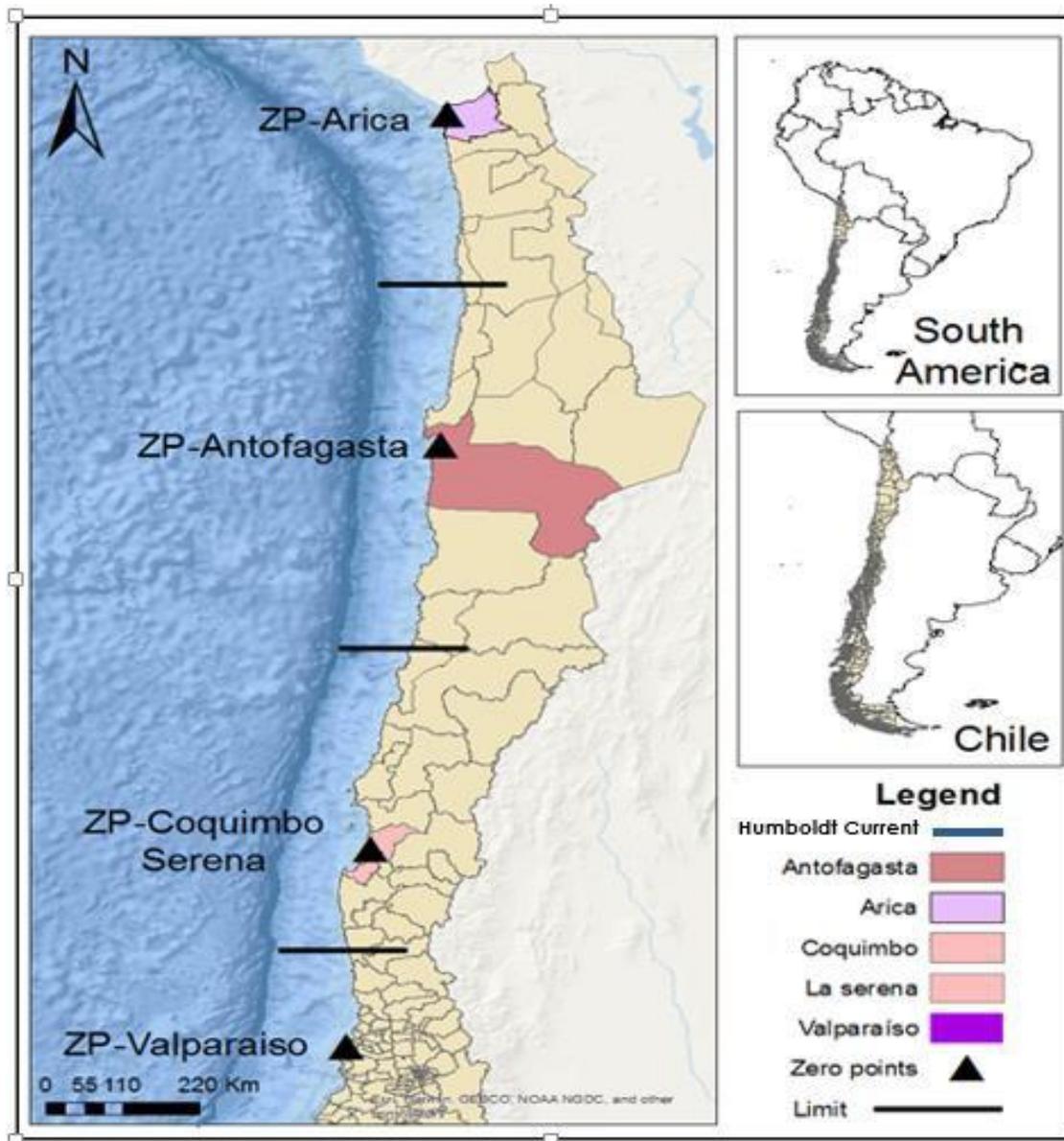


Fig. 1 Área de estudio con el punto cero (ZP) correspondiente para cada ciudad en los sistemas de afloramiento en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile

A continuación se presentan las dimensiones (área) y la población de las zonas costeras, para cada ciudad correspondiente del área de estudio: la región de Arica con un área total de 4.799 km² con una población de 226.068/habitantes, área de Antofagasta 30.718 km² y una población de 607.534/habitantes, área de Coquimbo 1.429 km² y área de La Serena 1.892 km² que conforma una zona, para un total de 3.321 km² con una población de 757.586/habitantes y finalmente para el área de Valparaíso 16.396 km² con una población 1.815.902/habitantes (Biblioteca del Congreso Nacional. 2018).

2.2 Muestreo

Todos los datos fueron recolectados en la expedición Algalita Pacífico Sur, que dio inicio en Noviembre del 2016, dirigida por Charles Moore. Para este estudio solamente se tuvieron en cuenta las muestras

recolectadas a lo largo de 17 días, entre Enero y Marzo del 2017 con una red de arrastre tipo manta trawl (Moore et al. 2001), con las siguientes características: Una abertura en el frente rectangular de 0.9 X 0.15 m², con una red de 333 mm, de largo de 3.5 m y con una bolsa recolectora de 30 X 10 cm² atada a la manta (Moore et al. 2001). (Anexo 4). Con un promedio de tiempo de recolección por cada muestra de 14 minutos aproximadamente.

El recorrido inició sentido sur- norte y en este sentido fueron tomadas las muestras, desde Valparaíso hasta la ciudad de Arica de Chile, con un área costera muestreada total para este estudio de 0.0567 km² (56.000 m²) y una área total recorrida aproximadamente de 1.621 km partiendo desde la muestra M088 en Valparaíso hasta la M133 en Arica (figura 2) teniendo en cuenta que estos dos puntos son los extremos de la costa chilena. Se recolectaron un total de 70 muestras, las cuales 57 fueron analizadas en este estudio, Ver la siguiente tabla:

Tabla 1. Total número de muestras para cada ciudad correspondiente de Chile.

City	Number of samples
Arica	13
Antofagasta	15
Coquimbo / La Serena	18
Valparaíso	11
Total	57

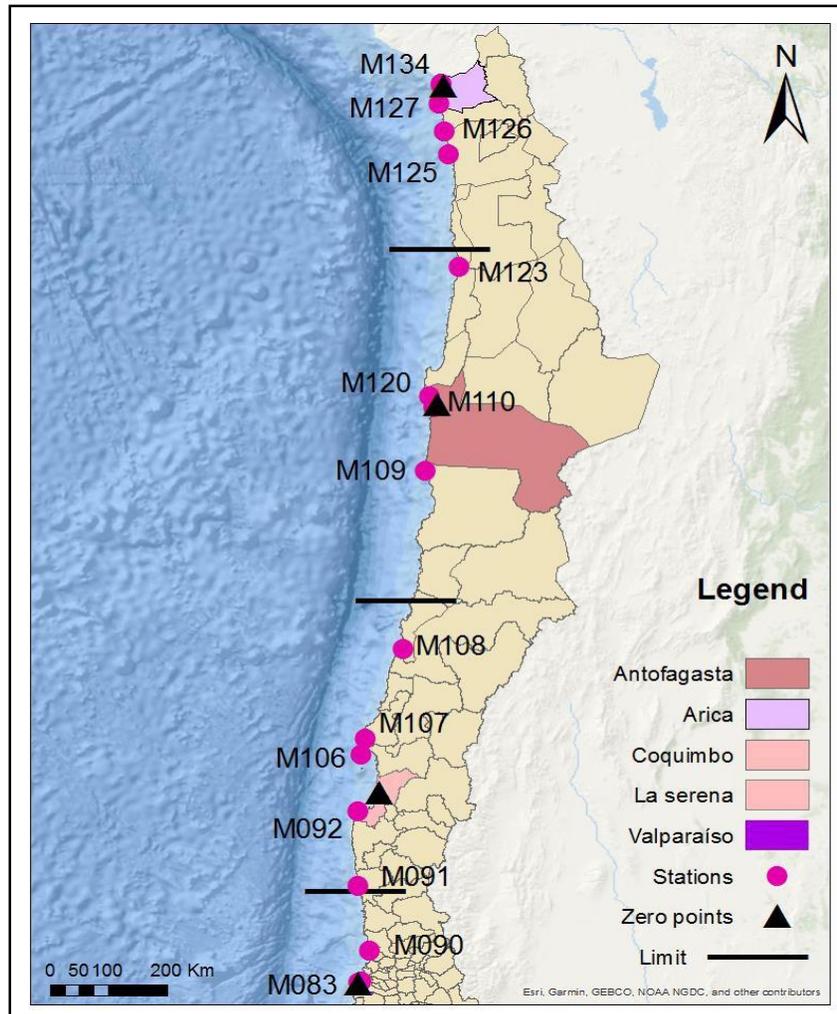


Fig 2. Área de estudio con los puntos de muestreo correspondientes para cada ciudad en los sistemas de afloramiento en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile.

Adicionalmente, para determinar las fuentes se estableció la relación distancia del centro urbano ZP a cada muestra, encontrando las muestras más cercanas desde 1-3 km, 5-19 km no tan cercana, y 31-248 km lejana a la ciudad, para determinar la posible fuente urbana que aporta MP a las aguas costeras chilenas.

2.2.1 Preparación de las muestras

Se analizaron en el laboratorio de microplásticos de la Universidad Católica del Norte en Coquimbo, Chile, siguiendo el protocolo de laboratorio, de análisis de las muestras costeras de MP (Moore et al. 2001), para más detalles, ver anexo 4, métodos. Los MP se identificaron por tipos: fragmentos, líneas, película delgada o pedazos de bolsa, microperlas, espuma/icopor, otros (Fragments, lines, thin film, pellets, foam, others), teniendo en cuenta que otros son objetos como la goma, las tapas, las colillas etc. Tamaños: >4.74, 4.75, 2.80-7.749, 1.00-2.79, 0.710-0.999, 0.500-0.709, y 0.355-0.499 mm; colores: azul/verde, negro/gris, café/bronceado, amarillo, rosa anaranjado/rojo, transparente/translúcido, y blanco. Finalmente se identificó el peso para los tipos y los tamaños de cada área de su respectiva ciudad.

2.3 Análisis de datos

Las bases de datos creadas para el análisis de este estudio respecto a la variable abundancia se clasificó por: tipo, peso, color, distancia, estas fueron manejadas desde la aplicación de Excel 2013, en donde se realizaron operaciones básicas como el conteo, promedios, sumas, porcentajes etc. de los datos.

Se calculó con el programa Google Earth Pro versión 7.3.2 un Punto Cero (ZP) en el borde de la costa en el área continental, para cada ciudad (figura 1), y se determinó la distancia entre el área donde se tomaron las muestras al punto cero (ZP) correspondiente, considerando que el ZP es una ciudad que posiblemente es una fuente que contribuye, a la abundancia de MP en las aguas costeras, con el programa, GIS versión 2.18.3, se realizaron una serie de mapas para ilustrar satelitalmente la ubicación de las abundancias de MP en las zonas de estudio correspondientes.

2.3.1 Análisis estadísticos

Se realizaron pruebas estadísticas con el programa R versión 3.6.0, se calculó la normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk y se evaluaron las pruebas de homogeneidad de varianza con la prueba de Levene, para determinar la abundancia, el peso, color, tipo y tamaño (Zar, 2010). En algunos casos (abundancia total, tipos y colores de MP en Chile, abundancia total de tipos de microplásticos en Arica, tipos y colores totales de MP en Coquimbo), los datos se transformaron a logaritmo para cumplir con los supuestos de pruebas paramétricas, y se realizaron pruebas de Anova y post hoc de Tukey para evaluar las diferencias significativas entre variables (Zar, 2010).

Adicionalmente para determinar las fuentes y verificar la hipótesis de este estudio, se estableció una relación entre distancia-abundancia con una prueba ANOVA, entre el punto donde se recolectó la muestra al punto cero ZP en la costa y la abundancia (ítems/km²) presentes allí. La distancia de categorizó de la siguiente manera: cercana (A) 1-3km, no tan cercana (B) 5-19km, lejana (C) 31-248 km a la ciudad, para verificar si estas abundancias con estas categorías de distancias son significativas, se aplicó una regresión logística y una regresión lineal.

3. Resultados

3.1 Caracterización de los tipos de microplásticos

3.1.1 Abundancia de microplásticos

Se encontró un amplio rango de abundancia respecto al número de ítems (ct: count) y el peso (wt: weight) de los MP en el área de estudio (Tabla 2). La abundancia total de MP fue de 6.073.129 ítems/km² incluyendo todos los tamaños y tipos de MP, los cuales se distribuyeron en cada zona: Arica 41%, Antofagasta 11%, Coquimbo 17%, Valparaíso 31%. El conteo para los MP excluyendo el tamaño >4.75 fue de 5.981.867 ítems/km² con un promedio de 104.997 ítems/km².

Size (mm)	Fragments		Lines		Thin Film		Total	
	ct	wt	ct	wt	ct	wt	ct	wt
>4.75	4.579	7.870	15.222	1.196	116.277	19.281	136.078	28.347
4.75	416.265	2.597	616.039	1.230	471.193	3.691	1.503.497	7.517
2.80 - 4.749	576.501	13.940	173.825	302	203.788	173	954.113	14.415
1.00 - 2.79	1.225.886	870	194.011	62	276.551	68	1.696.447	1.000
0.710 - 0.999	348.612	59	51.633	4	25.724	1	425.969	64
0.500 - 0.709	222.834	19	29.608	2	8.421	0	260.862	21
0.355 - 0.499	96.897	6	39.437	2	5.402	1	141.735	8
Total	2.891.573	25.360	1.119.774	2.797	1.107.355	23.215	5.118.703	51.372

Tabla 2. Abundancia de microplásticos (Ítems/km²) recuento (ct) y densidad de peso (wt) (g/km²) por tipo y tamaño.

Respecto a la correlación entre los factores para cada ciudad se aplicó una prueba ANOVA para las variables: tipo (Fragments, lines, thin film, pellets, foam, others), tamaños: >4.74, 4.75, 2.80-7.749, 1.00-2.79, 0.710-0.999, 0.500-0.709, y 0.355-0.499 mm; colores: azul/verde, negro/gris, café/bronceado, amarillo, rosa anaranjado/rojo, transparente/translúcido de MP, se encontró que para la ciudad de Arica los tipos de MP fueron un factor significativo ($p < 0.05$) y para la ciudad de Coquimbo, el tipo y color de los MP (tabla 3).

	<i>Area / city</i>	<i>Factors</i>	<i>DF</i>	<i>SQ</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
(a)	Arica	Size	6	4.712e+10	7.854e+09	1.805	0.108
		Type	5	1075.1	215.02	22.74	1.29E-13*
		Color	6	28625	4771	1.891	0.0917
(b)	Antofagasta	Size	6	2.351e+09	391833545	1.064	0.389
		Type	5	4.781e+09	956255050	1.869	0.108
		Color	6	1328	221.4	1.465	0.198
(c)	Coquimbo	Size	6	4.770e+09	794960784	1.804	0.104
		Type	5	864.8	172.96	14.52	9.87E-11*
		Color	6	30.91	5.151	4.574	0.000327*
(d)	Valparaíso	Size	6	2.558e+10	4.264e+09	0.623	0.711
		Type	5	4.139e+10	8.279e+09	0.735	0.6
		Color	6	3303	550.4	0.454	0.84

Tabla 3. Resultados estadísticos de la prueba de ANOVA para abundancias de tipos, tamaños y colores de los microplásticos flotantes en (a) Arica (b) Antofagasta (c) Coquimbo y (d) Valparaíso.

La mayor abundancia de MP en las muestras se registró en la M083 en el área de Valparaíso, presentando 1.524.737 ítems/km², seguido de la muestra M134 en el área de Arica con 1.160.484 ítems/km². Mientras

que las muestras M099 en Coquimbo y M126 en Arica tuvieron las muestras con abundancias más bajas, con un rango de 1.527-2.648 MP/km², se presenta (Figura 6) el resultado de las abundancias a lo largo de Chile.

3.1.2 Peso

El peso se dividió en las siguientes categorías de tamaño en mm: A= >4.75; B= 4.75; C= 2.8-4.749; D= 1.00-2.79; E= 0.710-0.999; F= 0.500-0.709; G= 0.355-0.499.

El peso total de los MP flotantes en los sistemas de afloramiento, en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile, incluyendo todos los tipos y tamaños fue de 65.630g/ km², donde los ítems de tamaño A fueron los que pesaron más (40.891g/km²). Sin embargo, los MP que presentaron mayor peso, excluyendo el tamaño A, fueron los que están dentro del rango C, seguido de B y D; de igual manera los tipos como los (FR) fragmentos y las (TF) películas delgadas, presentaron mayor peso que los otros tipos de MP (Tabla 4).

Respecto a la ubicación de los MP, se puede decir que los mayores pesos se observaron en Valparaíso, seguido de Antofagasta y Arica (Figura 3). Sin embargo, no se presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) de la prueba ANOVA del peso entre ciudades para las abundancias totales de peso (Figura 3), pero si para el tamaño en Arica, Coquimbo y Valparaíso (Tabla 4).

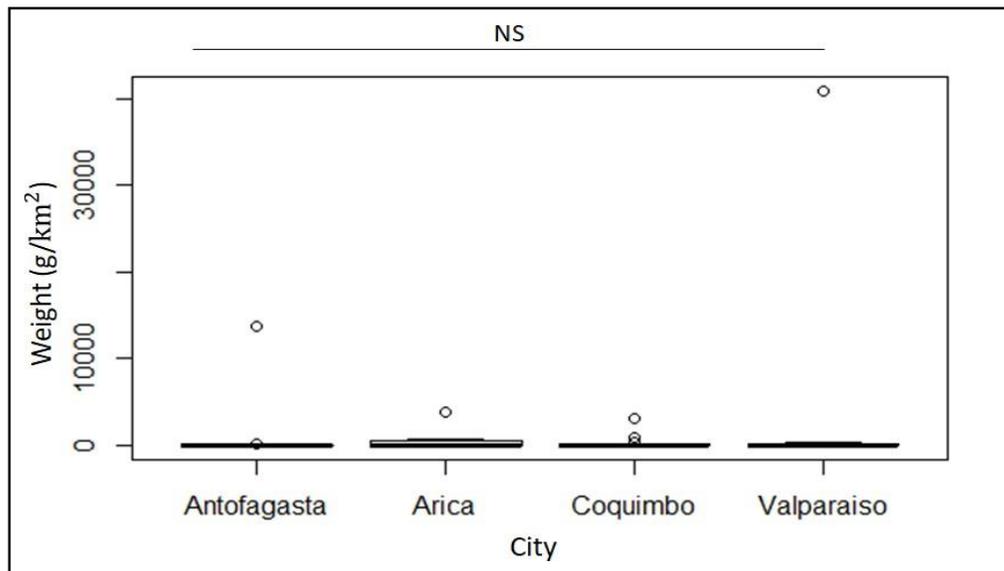


Fig. 3 Peso total de los MP en los sistemas de afloramiento en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile por ciudad. NS: no significativo ($p > 0.05$).

	<i>Area / city</i>	<i>Factors</i>	<i>DF SQ</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
(a)	Arica	Size	6 122637	20440	3.399	0.00269*
		Type	5 578948	115790	1.477	0.208
(b)	Antofagasta	Size	6 1479710	246618	0.841	0.539
		Type	5 9000263	1800053	0.978	0.436
(c)	Coquimbo	Size	6 81619	13603	2.87	0.00908*
		Type	5 143931	28786	0.808	0.547
(d)	Valparaiso	Size	6 53.4	8.895	4.908	0.0000724*
		Type	5 25900680	5180136	0.616	0.688

Tabla 4. Resultados de prueba de ANOVA para los pesos correspondientes de los tamaños y tipos de los microplásticos flotantes en (a) Arica (b) Antofagasta (c) Coquimbo y (d) Valparaíso.

3.1.3 Tipos de microplásticos

Respecto a los tipos de MP, el más común a lo largo de los sistemas de surgencia en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile fue los (FR) fragmentos 48%, seguido de (L) líneas 18% y (TF) película delgada 18%, (FO) espuma 13%, (P) microperlas 2%, y (OT) otros 1%. Sin embargo, el porcentaje total por tipo de MP varió a lo largo de la costa, presentando diferencias entre los porcentajes para cada área con su respectiva ciudad (Tabla 5).

Type	FR	L	TF	FO	P	OT
City						
Arica	58%	23%	51%	0%	17%	8%
Antofagasta	10%	19%	14%	1%	17%	26%
Coquimbo/La Serena	14%	39%	13%	5%	19%	18%
Valparaiso	18%	19%	22%	94%	47%	48%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 5. Representa el % total encontrado de cada tipo de microplástico (Fragments, lines, thin film, foam, pellets, others), para cada ciudad.

Se encontraron diferencias significativas entre los tipos de MP, la abundancia de los FR fragmentos fue significativamente ($P < 0.05$) mayor comparado con los otros tipos de MP. Sin embargo el promedio de la abundancia por ciudad respecto a los tipos encontrados varió (Figura 4) en el caso de las ciudades de Arica y Antofagasta se observa que el tipo más común fue (FR), a diferencia de Coquimbo/La Serena donde se encontró que las (L) líneas fueron más comunes seguido de los (FR) fragmentos, y finalmente

para Valparaíso en donde (FO) la espuma fue la más común seguido nuevamente de (FR) fragmentos (Figura 4).

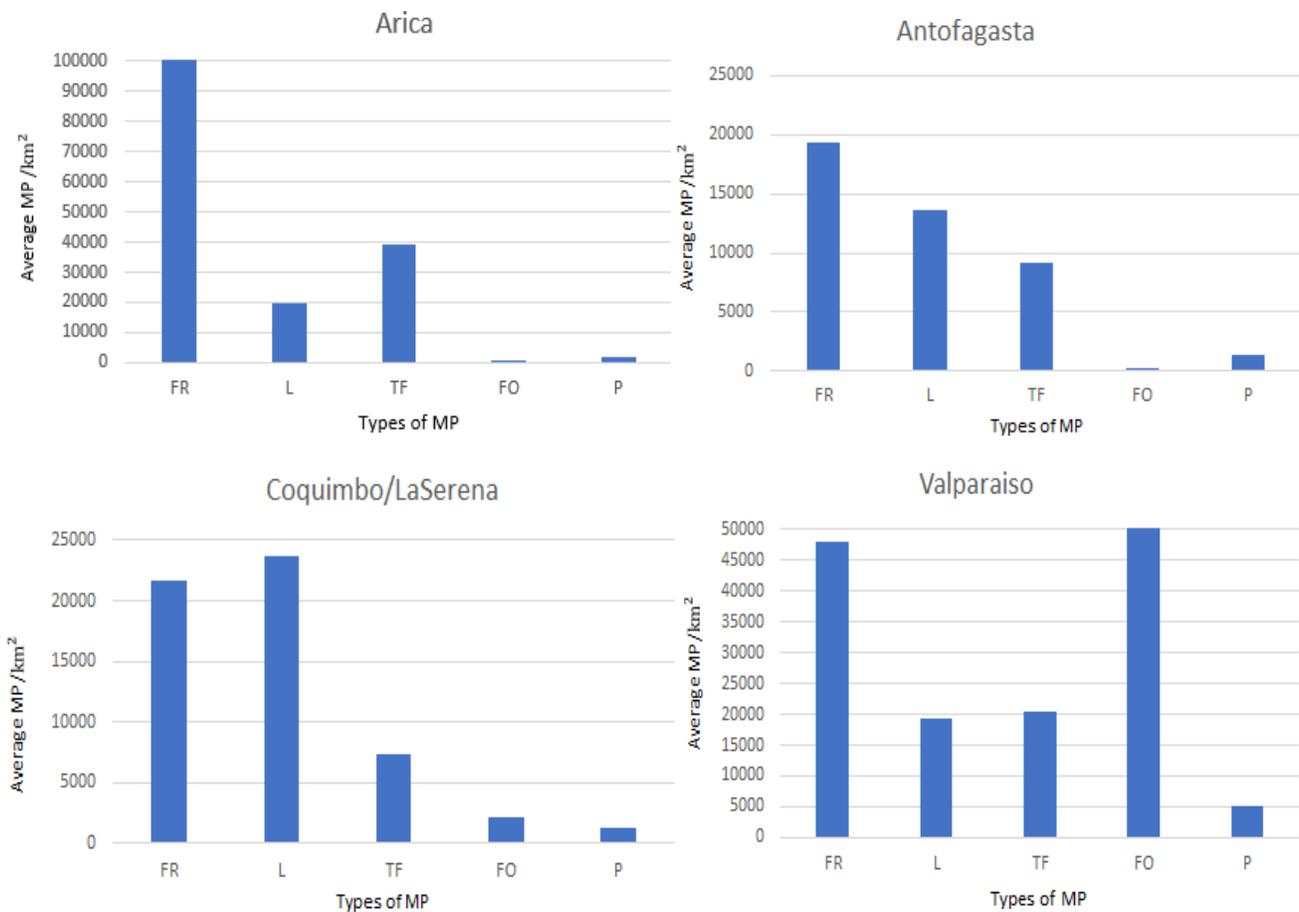


Fig.4 Promedio de la abundancia total de microplásticos por tipos para cada ciudad en los sistemas de afloramiento en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile. Tipos de microplásticos: FR: Fragments; L: Lines; TF: Thin-film; FO: Foam; P: Pellets.

3.1.4 Tamaño

El tamaño de los MP se agrupó en mm: A= >4.75; B= 4.75; C= 2.8-4.749; D= 1.00-2.79; E= 0.710-0.999; F= 0.500-0.709; G= 0.355-0.499.

La composición para el tamaño de los MP correspondió a que el 35% del total de los tamaños, hicieron parte los MP de 1.00-2.79mm, seguido del 26% que comprende al tamaño 4.75mm, para el tamaño 2.80-7.749 el 20% y para el 19% restante, comprendió el resto de los tamaños, incluyendo los MP >4.75mm (Figura 5). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los tamaños, (figura 5).

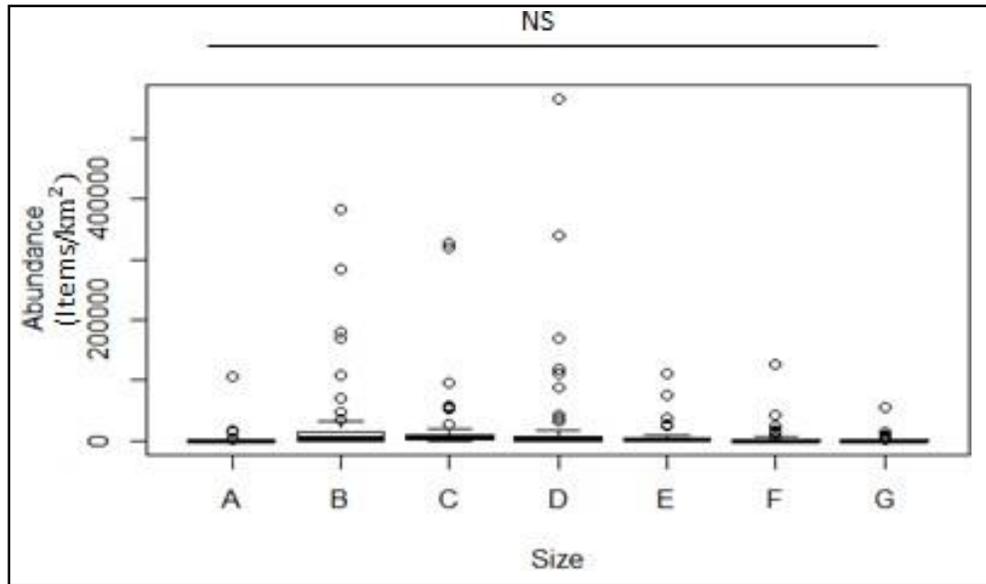


Fig.5 Abundancia total de los MP en los sistemas de afloramiento en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile por tamaño, representado en mm: A= >4.75; B= 4.75; C= 2.8-4.749; D= 1.00-2.79; E= 0.710-0.999; F= 0.500-0.709; G= 0.355-0.499. NS: no significativo ($p > 0.05$).

Sin embargo, los resultados estadísticos para cada ciudad con respecto al tamaño de lo MP demostró que D fue el tamaño más abundante, D para Arica fue significativamente el más abundante sin embargo B presentó un las abundancias más altas. Para Antofagasta, B y C fueron altos en abundancia pero no se presentaron diferencias significativas. Coquimbo presentó altas abundancias en B y D pero no hubo diferencias significativas entre ellos, y finalmente para Valparaíso nuevamente el tamaño D fue el más abundante sin mostrar diferencias significativas.

3.1.5 Color

Se observó una amplia gama de colores para los MP analizados. El color dominante de MP en los sistemas de surgencia en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile es la categoría transparente/translúcida (29%), seguida de blanco (19%), marrón y tostado (16%), azul y verde (15%), negro y gris (9%), rosa anaranjado y rojo (7%) y finalmente amarillo (6%), (figura 6).

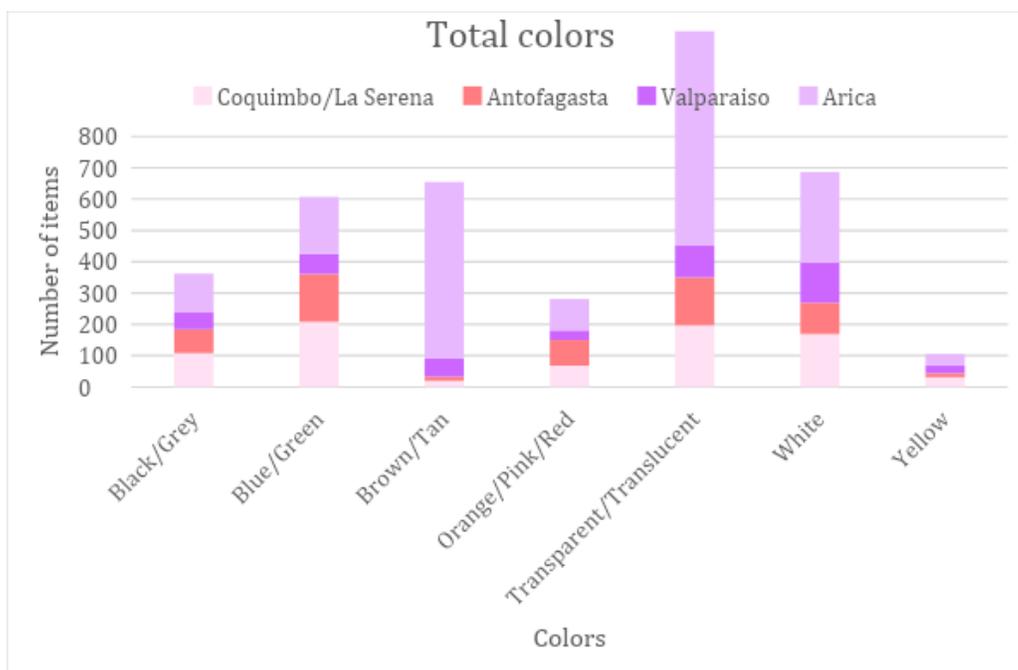
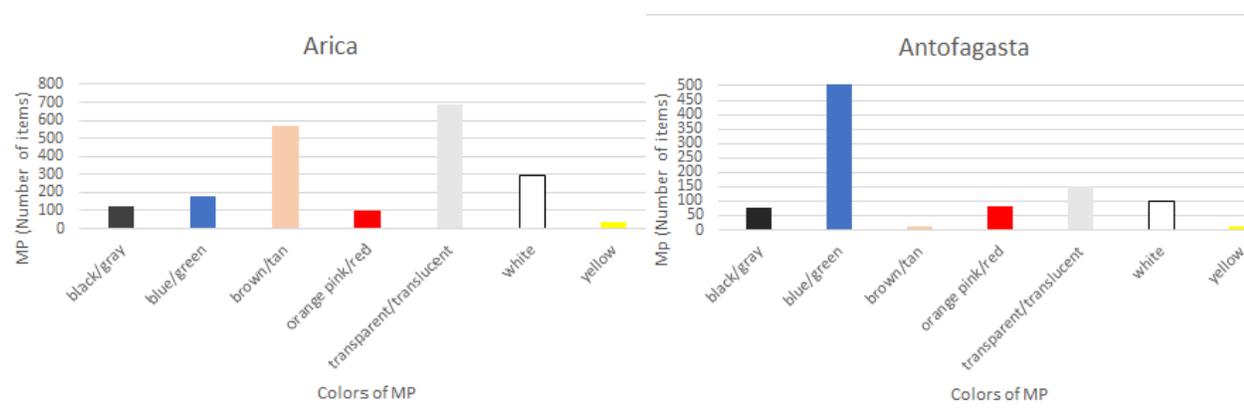


Fig.6 Gráfico de columnas con los colores totales de microplásticos (n° de artículos) para cada ciudad del Pacífico Sur del norte de Chile.

Respecto a los colores para cada ciudad se encontró que: Arica presentó abundancias altas para las categorías transparente/translúcido y marrón/tostado, Coquimbo presentó abundancias significativamente mayor para, azul/verde en comparación al resto de categoría de colores, seguido de transparente/translúcido. Para Antofagasta, azul/verde fueron los más abundantes, pero no se encontraron diferencias entre colores. Valparaíso presentó el color blanco con mayor abundancia (Figura 7).



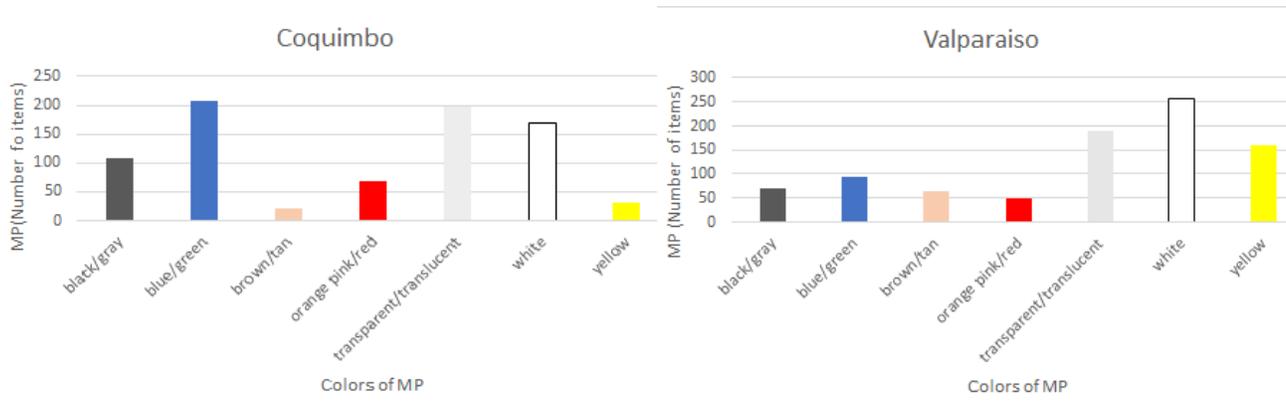


Fig.7 Gráfico de columnas por ciudad con los colores totales de microplásticos (n° de artículos) del Pacífico Sur del norte de Chile

3.2 Caracterización de fuentes que aportan a la presencia de microplásticos

3.2.1 Fuentes urbanas

La distribución de las abundancias a lo largo de los sistemas de afloramiento en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile varió (figura 8), donde la abundancia para los MP se categorizó entre 1.500-5.000 MP/km² representada por el color verde, 5.000-500.000 MP/km² representado con el color amarillo, 500.000-1.000.000 MP/km² representado con el color naranja, >1.000.000 MP/km² representado con el color rojo. También se puede observar en donde se ubica el límite y el punto cero ZP que se determinó para cada ciudad.

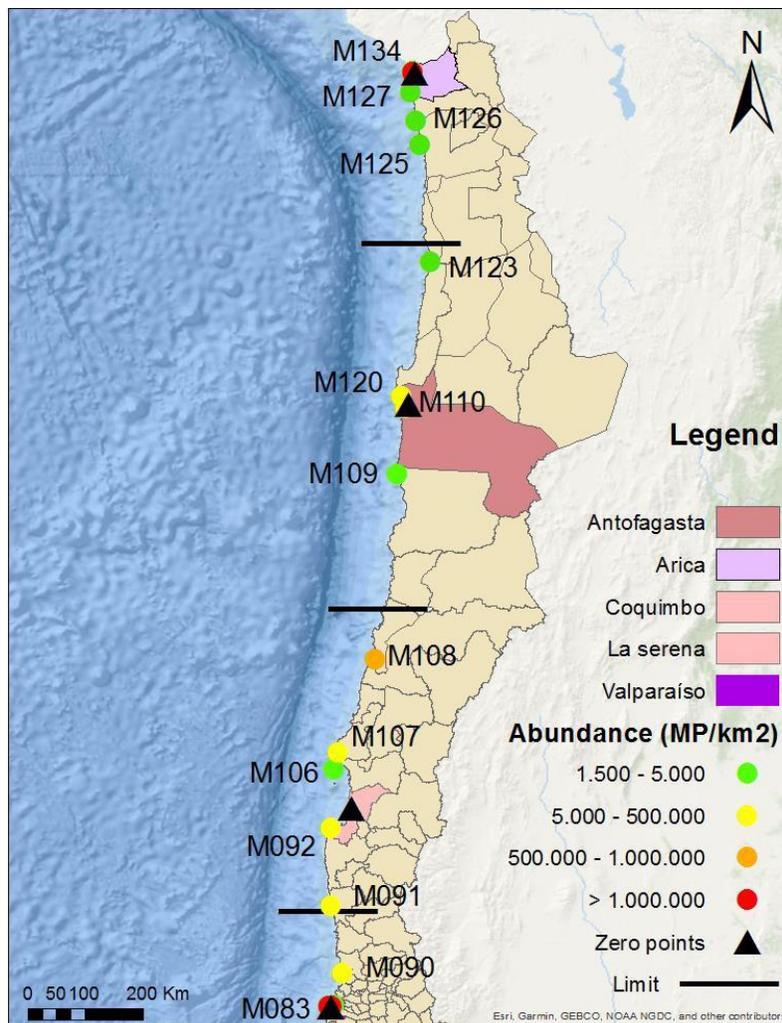


Fig. 8 Área de estudio con las abundancias correspondientes de microplásticos para cada ciudad en los sistemas de afloramiento en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile.

La abundancia de MP en Arica es mayor en comparación con las abundancias MP/km² entre ciudades, sin embargo, no hay diferencias significativas en la abundancia, aun así se puede observar que Arica tuvo un rango más amplio entre la abundancia de MP/km² sin embargo Valparaíso presenta un punto con la abundancia más alta (Figura 9).

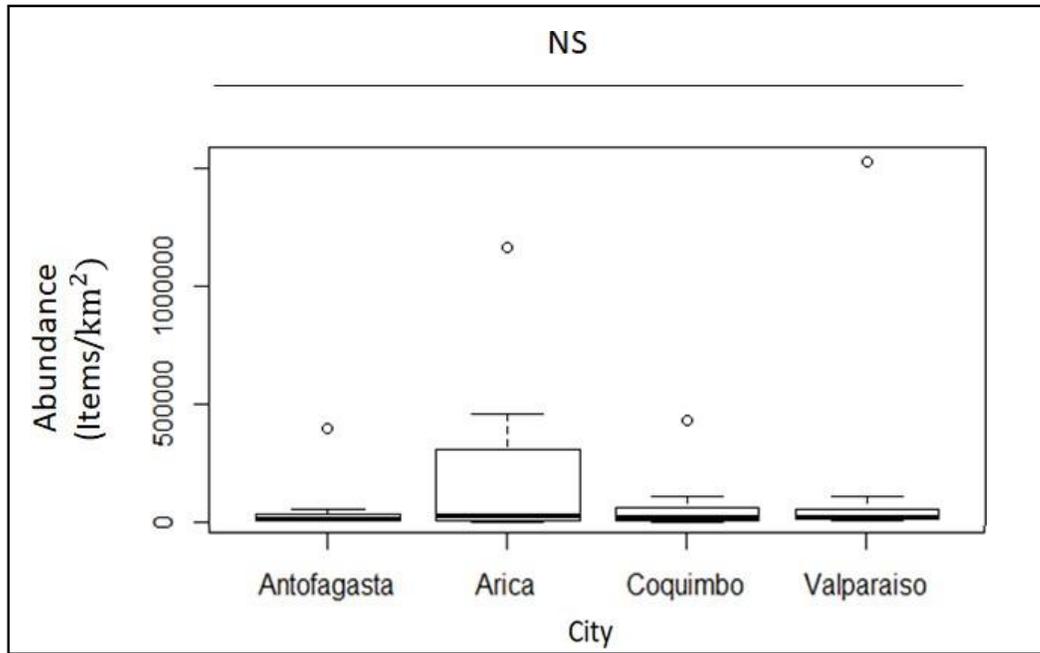


Fig. 9 Abundancia total de microplásticos en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile. NS: no significativo ($p > 0.05$).

3.2 .2 Fuentes oceanográficas

Existe una relación significativa entre la distancia y la abundancia, con un p de 0.00406, es decir < 0.05 . Las distancias al ZP punto cero, se dividieron por las siguientes categorías: cercana (A) 1-3km, no tan cercana (B) 5-19km, lejana (C) 31-248km a la fuente (ciudad) (figura 10). La regresión lineal arrojó un p valor de 0.05027, valor muy cercano al $p < 0.05$ lo que demuestra que esta relación distancia-abundancia es casi que significativa, de igual forma se encuentran diferencias significativas entre la categoría de distancia A (cercana a la ciudad) en relación a las distancias B y C (lejanas de la ciudad) (Figura 10).

Oceanográficamente estas distancias podrían relacionarse con dos factores: los sistemas de surgencia y los giros, la relación que se estableció para este estudio era ver si a medida que aumentaba la distancia (hacia mar abierto) aumentaban los MP, pero la correlación que se encontró fue contraria, que entre más cercano a las ciudades más aumentaba la abundancia (figura 10), lo que afirma la hipótesis principal de este estudio que entre más cerca de las ciudades, mayor es la abundancia de los microplásticos.

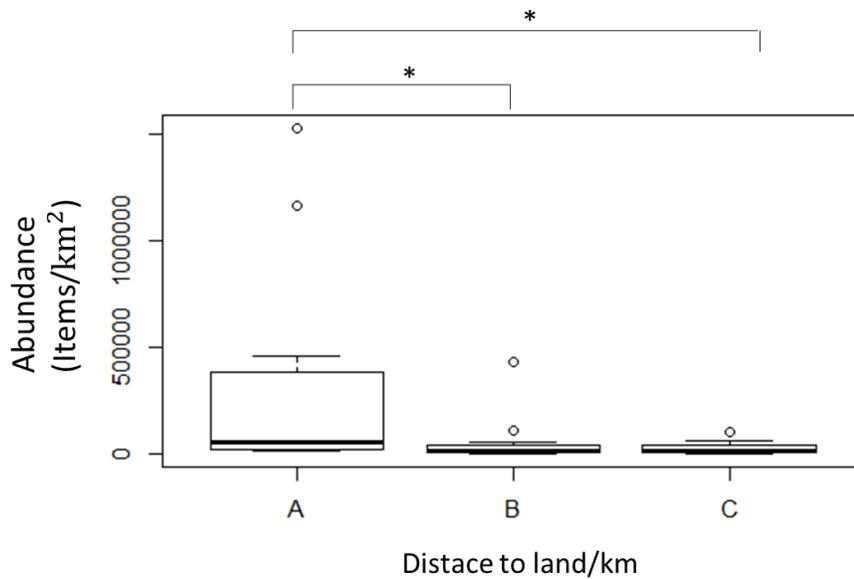


Fig.10 Abundancia total de microplásticos en relación a la distancia al punto cero ZP, en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile. * Significativo ($p < 0.05$). Distancias en km: (A) 1-3 cercana, (B) 5-19 no tan cercana, (C) 31-248 lejana.

Respecto al detalle de las abundancias de cada muestra correspondiente para cada ciudad, se representan en los siguientes mapas. Se evidencian las abundancias en relación a las distancias a la costa, en donde se observa cómo varían las abundancias de los MP en las aguas costeras, y refleja que entre más cerca de la ciudad hay más MP, también aparecen los puntos con más MP del estudio como por ejemplo: para el caso de Arica (figura 11) y Valparaíso (figura 14).

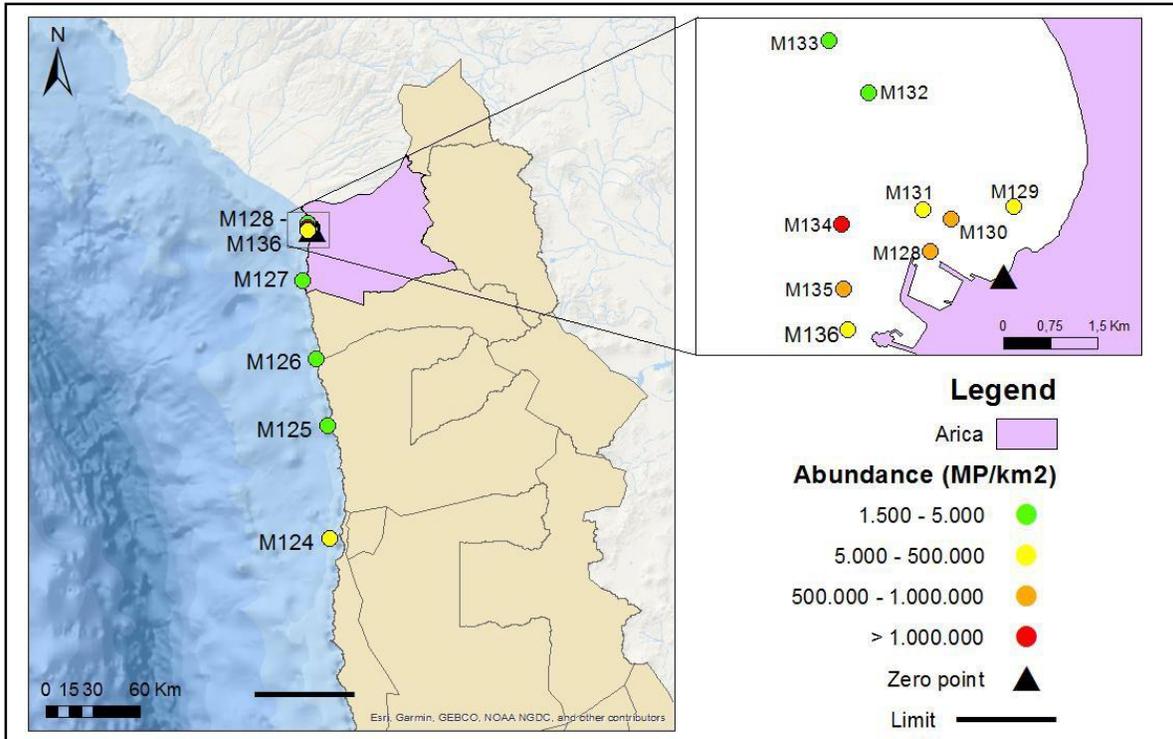


Fig.11 Área de estudio con las abundancias correspondientes de microplásticos para Arica en los sistemas de afloramiento en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile.

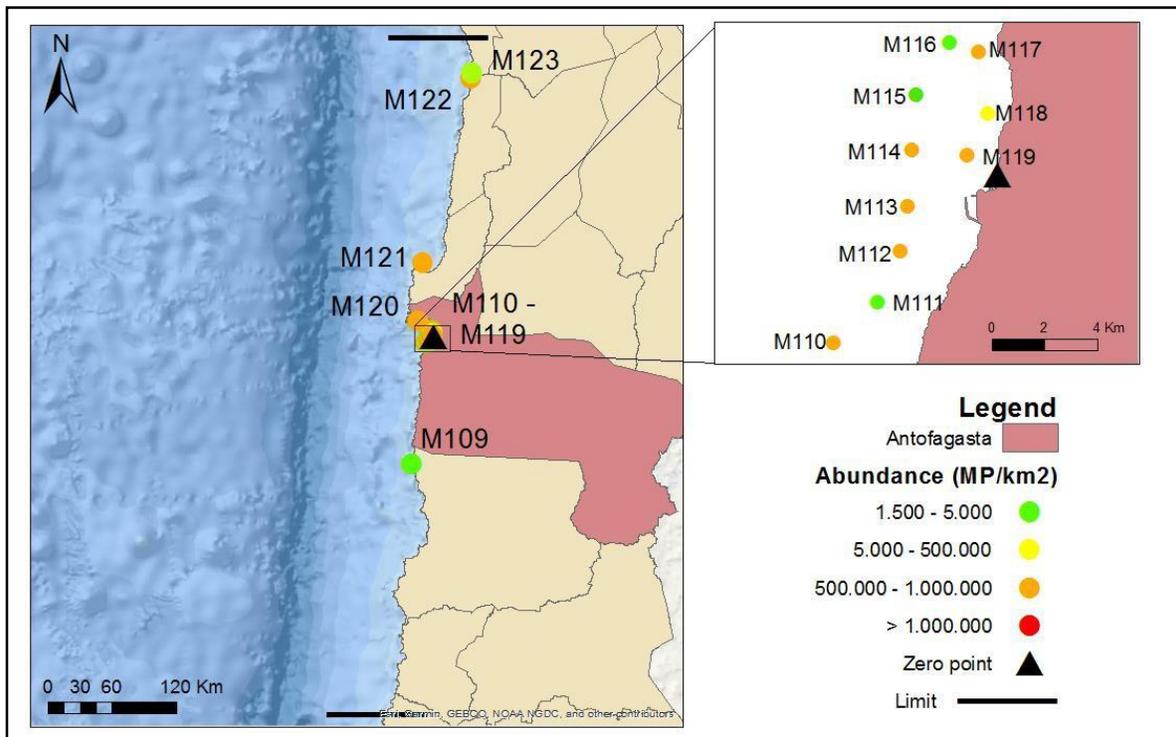


Fig.12 Área de estudio con las abundancias correspondientes de microplásticos para Antofagasta en los sistemas de afloramiento en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile.

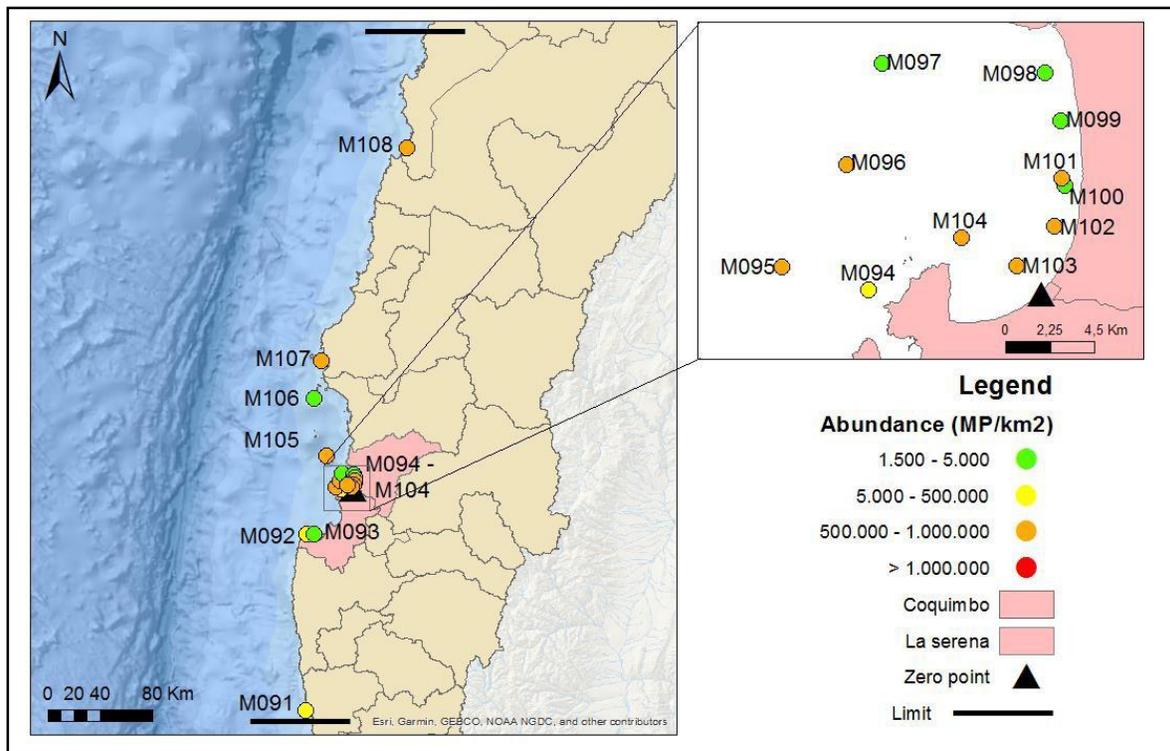


Fig.13 Área de estudio con las abundancias correspondientes de microplásticos para Coquimbo y La Serena en los sistemas de afloramiento en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile.

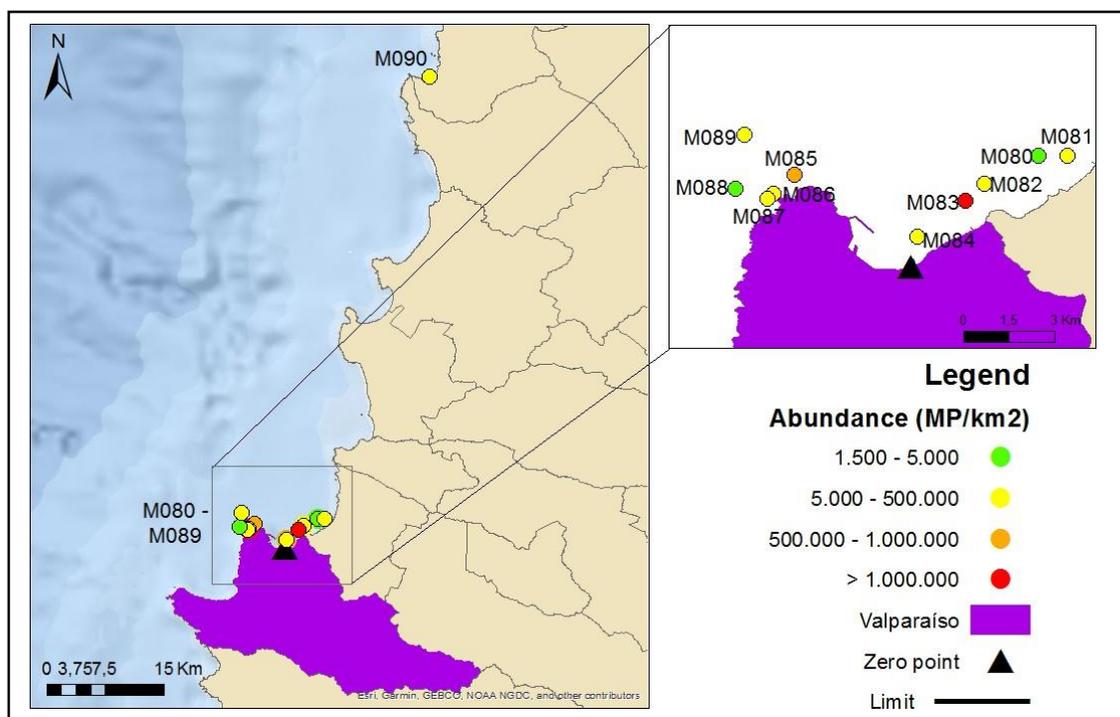


Fig.14 Área de estudio con las abundancias correspondientes de microplásticos para Valparaíso en los sistemas de afloramiento en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile.

3.3 Descripción de los factores que aportan a la distribución y abundancia de los MP

A partir de una identificación satelital con Google Earth, se identificaron actividades humanas cercanas a los lugares de muestreo, en donde se identificaron las siguientes fuentes principales por ciudad: actividades costeras, drenaje de aguas y puertos en Arica, y actividades costeras y drenajes de sistemas de aguas en las otras ciudades (Tabla 6).

Actividades costeras: Para este estudio se tuvieron en cuenta las zonas más cercanas al punto en donde se recolectó la muestra y para las 4 ciudades se identificaron la presencia de parques y playas posiblemente turísticas.

Para Arica con la presencia de playa tortuga, presenta un caso especial ya que en la tortuga marina verde (*Chelonia mydas*), que habita en todos los océanos, pero particularmente en el área de la desembocadura del río San José y Playa Chinchorro de Arica donde se registra una población de unos pocos ejemplares que fluctúa entre los 10 a 400 ejemplares aproximadamente. Es común observarlas asomando la cabeza sobre el agua. Son vegetarianas y se alimentan principalmente de algas (Herreros de Lartundo 2011). Adicionalmente dentro del área que abarca Arica, se encuentra una de las ciudades más pobladas de la región de Tarapacá, la ciudad costera llamada Iquique con 164.396 habitantes (Biblioteca del Congreso Nacional. 2018).

En Antofagasta la presencia de algunos parques urbanos infantiles y de recreación costeros fueron las zonas que más estuvieron cercanas a las áreas de donde se tomaron las muestras.

Para Coquimbo fue relevante la presencia de playas costeras como Caleta Barranquilla y Puerto Aldea adicionalmente la presencia de una empresa pesquera llamada Orizon.

Con respecto al área de Valparaíso se encontró la presencia de Caleta Portales y fue notable que la abundancia de los microbeats (P) y películas delgadas (TF) fue abundante en esta área. Adicionalmente también fue notable la presencia de playas como Las Torpederas, Carvallo y Chica Papudo.

Puertos: La presencia de puertos con sus actividades portuarias económicas/turísticas como las del puerto de Arica

Coquimbo presento el puerto Punta de Choros que es un pequeño puerto de pescadores artesanales.

Sistemas de drenaje acuático: Para Arica los sistemas de descarga de agua residuales domésticas, aportan a la presencia de MP, probablemente emisarios como el de Chinchorro, aportan a las abundancias de MP, adicionalmente por medio de la escorrentía ríos como Camarones y San José podrían estar transportando y redistribuyendo los MP en esta área.

Para Antofagasta la presencia de una empresa fue relevante, Sembcorp aguas del norte, es una empresa que ofrece servicios sanitarios y cinco de las quince muestras recolectadas en el área de Antofagasta están cercanas a esta empresa, presentando la muestra más abundante dentro de estas cinco con 393.097MP/km². Adicionalmente el río Loa podría estar transportando y redistribuyendo los MP en esta área.

Para el área de Coquimbo existen dos emisarios que podrían aportar a la presencia de MP, corresponden a los emisarios de Punta Tinajas y el de La Serena junto con la presencia de dos ríos, que corresponden a al Elqui y Pachingo.

Finalmente para Valparaíso presentó un emisario llamado Loma Larga y adicionalmente la presencia de un río Cruz de Piedra.

City	Sources	Activities
Arica	Coastal activities	Tortuga/ Chinchorros beach
		Iquique city
	Aquatic drainage	The emissary Chinchorro
		Camarones river
		San Jose river
	Port	Port of arica
	Antofagasta	Coastal activities
Los pinares park		
Aquatic drainage		Sembcorp northern waters
		The Loa river

Coquimbo	Coastal activities	Caleta barranquilla beach
		Puerto aldea beach
		Coquimbo fishing plant orizon
	Aquatic drainage	Emissary la Serena
		Emissary punta tinajas
		Pachingo river
		Elqui river
Port	Punta de Choros port	
Valparaiso	Coastal activities	Caleta portales
		Las torpederas beach
		Carvallo beach
		Chica papudo beach
	Aquatic drainage	Emissary loma larga

Tabla 6. Posibles actividades que aportan a las fuentes de MP para cada ciudad

4. Discusión

4.1. Caracterización de los tipos de microplásticos

Como primera instancia, la abundancia total presente en este estudio fue de 6.073.129 ítems/km² incluyendo todos los tipos y tamaños de MP, con un promedio de 104.997 MP/km². Esta abundancia es menor comparada con las abundancias de los MP flotantes de las aguas del Adriático (mar Mediterráneo) (Zeri et al. 2018). Otros estudios (Ruiz-Orejón, Sardá, and Ramis-Pujol 2016), en el mar Mediterráneo central y occidental, las concentraciones de partículas oscilaron entre 8.999 y 1.164.403 artículos km², otro estudio (Pan et al. 2019) en el Pacífico noroccidental encontró un promedio de MP de 1.0×10 ítems km², por consiguiente, aquellos estudios presentaron abundancias menores en comparación a este estudio.

Sin embargo, un estudio demuestra una abundancia de 2.3 billones de objetos incluidos fragmentos, con un total de peso de 30.438kg aproximadamente, lo que indica unas cifras elevadas, debido a la influencia y contribución de una gran zona urbana como la de la ciudad de Los Ángeles, California. En este estudio se identifican dos principales vías transporte que aportan al problema, los ríos San Gabriel y Los Ángeles, además evidencian los efectos como del clima en las abundancias especialmente de cómo las abundancias aumentan en temporada de lluvia (Moore et al. 2011)

Teniendo en cuenta que los fragmentos FR fueron el tipo de MP más común en las aguas costeras chilenas, estas partículas con provenientes de origen secundario, en otras palabras, son partículas derivadas de la descomposición de plásticos más grandes. Adicionalmente es interesante observar cómo los fragmentos son tipos comunes en otros cuerpos de agua, como en los ríos, seguido de las fibras (Horton et al 2017). Así como los fragmentos fueron el tipo más común también fue abundante el color transparente / translúcido en ellos.

Con respecto a los colores, los resultados de este estudio muestran que es dominante la gama de los transparentes (29%), seguido del color blanco (19%), al igual que otros estudios como en el Pacífico noroccidental donde el blanco (~57.4%), seguido del color transparente (22.8%) fueron los colores más abundantes (Pan et al. 2019), o en Colombia, en una playa urbana que prevaleció el color blanco durante todo el periodo de recolecta de las muestras (Acosta and Olivero 2015). Lo anterior podría representar que estas partículas pierden su color por el tiempo de exposición en la superficie del agua y los efectos de los factores abióticos (Andrady 2011). Sin embargo, a lo largo de la costa Chilena varió la gama de colores (figura 7) para los MP, lo que se sugiere que futuros estudios desarrollen más cuál puede ser la causa de esta variabilidad. Otros estudios demuestran que no solo los colores blancos y transparentes son predominantes, sino también los colores oscuros como la gama de los azules y los rojos (Luo et al 2019).

Aunque la presencia de diferentes tipos de MP puede variar según el cuerpo de agua, para los ríos de Los Ángeles, California el tipo de MP más común fue la espuma (FO) (Moore et al 2011), como fue el caso del área Valparaíso, que presentó un 98% del total de los tipos a espuma (FO). Este tipo de MP es usualmente derivado de objetos más grandes de icopor (Poliestireno expandido), este material es usado usualmente para actividades de acuicultura, por ejemplo, para el cultivo de ostras, ayuda a mantenerlas en la superficie del mar (Sagawa et al 2018).

Respecto a los resultados de tamaño de MP este estudio presentó que 35% correspondió al tamaño 1.00-2.79mm, seguido del 26% que comprendió al tamaño 4.75mm; Los resultados de otro estudio muestran diferencias en el tamaño, donde aproximadamente el 50% de los MP detectados, se concentran entre un tamaño de 0.5 a 1.0 mm y seguido de tamaño 1–2.5 mm que correspondió al 29.8% de los MP. Esto demuestra que los MP que están entre 1.00-2.79 son comúnmente abundantes en las aguas costeras (Pan et al. 2019).

4.2 Distancia en relación con la abundancia

La abundancia microplástica en las áreas urbanas <3 km fue significativamente ($p < 0.05$) mayor las zonas rurales o lejanas >3 km. Esto apoyaría la hipótesis de que las áreas urbanas son la fuente principal que aportan MP a las aguas costeras, que las zonas rurales de estas zonas, gracias a sus actividades costeras, como en los puertos, como fue el caso de la ciudad de Arica. Además, factores como los sistemas de descarga acuática, como las aguas residuales, que descargan MP al mar, o por ejemplo por medio de los ríos, ya que se consideran una de las vías de entrada más importantes para plásticos en el océano (Luo et al. 2019; Rech et al. 2014; Siegfried et al. 2017; Song et al. 2018; Yu et al. 2018). Así como un estudio previo encontró esta misma correlación significativa entre la concentración de MP en la superficie y las zonas urbanas costeras (Song et al. 2018) apoyando los resultados de este estudio.

En vista de la correlación distancia a la costa - abundancia se deduce que entre más cercano a las fuentes como las ciudades aumentan la presencia de MP, determinando las ciudades como fuente principal. Si los sistemas de surgencia estuviesen teniendo un efecto trayendo aguas “limpias” desde las profundidades, tal vez las abundancias habrían sido menores en las aguas costeras, lo que sugiere que estos sistemas no parecen estar afectando la presencia de MP en las aguas costeras, al igual que un estudio reciente en el cual no se encontraron diferencias significativas entre zonas influenciadas por los sistemas de surgencia y zonas no influenciadas por estos sistemas (Kanhai et al. 2017). Sin embargo para hacer una evaluación más completa del efecto que tienen los sistemas de surgencia se recomendaría hacer estudios a una escala vertical en estos cuerpos de agua para ver si realmente las abundancias están mostrando diferencias con respecto a los sistemas de surgencia como en el estudio de Song et al. (2018). Por otro lado, al alejarse de la costa, es decir cuando la distancia es mayor, la abundancia no aumenta, lo que sugiere para este estudio que los giros no estarían afectando la presencia de MP en aguas costeras (Figura 8). Sin embargo, habría que hacer una evaluación a mayores distancias para confirmar esta hipótesis.

En este estudio se encontró que el peso promedio de las muestras fue de 1.151 g/km^2 con un peso mínimo de 0.137 g/km^2 y un peso máximo de 40.840 g/km^2 , (incluyendo ítems > 5mm), estas cifras siguen siendo bajas comparadas con el estudio anterior en California (Moore et al 2011), y con las cifras encontradas

(70.96 g km²) en el giro del Pacífico Sur subtropical Eriksen et al 2013). Sin embargo es interesante ver como otros estudios (Ruiz-Orejón, Luis F., Rafael Sardá, and Juan Ramis-Pujol. 2016) relacionan el peso en relación a la distancia al continente, y se observa que a medida que la muestra está más cerca al continente o a la tierra, el peso es mayor, esto comparado con este estudio, demuestra que es posible que también exista esta correlación (figura 15), sin embargo no fue significativa (p valor = 0.588).

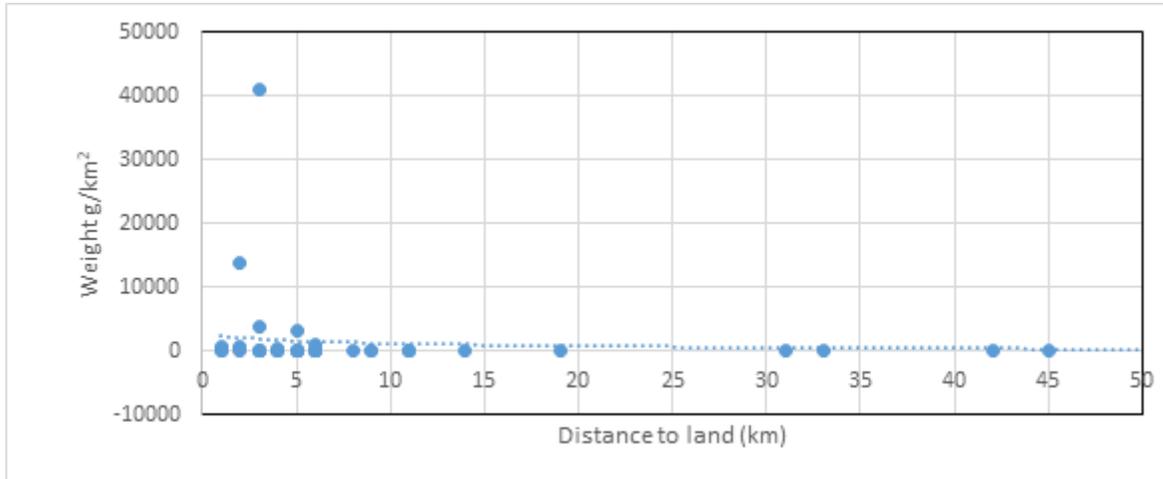


Fig. 15 Gráfico de puntos con una línea de tendencia logarítmica del peso de los MP en relación a la distancia al Punto Zero.

También es relevante observar para este estudio, como las abundancias se comportan de manera similar al peso (figura 10), que a medida que se está cerca de la ciudad, o al punto cero (ZP) que se estableció para cada área/ciudad, las abundancias son mayores (Moore et al 2011), sin embargo es importante aclarar que este estudio no determinó de donde pueden estar proviniendo los MP, ya que por efectos como los del transporte (Isobe et al. 2014) de las corrientes oceánicas (Zhang 2017) los MP se puedan estar desplazando a lo largo de las aguas costeras de Chile.

Adicionalmente, es importante tener en cuenta que hay definiciones con respecto a las aguas costeras, por ejemplo, un estudio define el océano costero como, aquella parte del océano donde la cercanía a los continentes afecta la circulación y los procesos ecológicos (Thiel et al 2007). Es por esto por lo que la relación distancia abundancia de MP, que se estableció para este estudio, es interesante porque si ya la cercanía tiene efectos en los procesos del océano, los MP también serán redistribuidos y afectados por consecuencia de los mismos.

4.3 Fuentes que aportan a la abundancia de los MP

Existen dos puntos de muestreo con abundancias elevadas comparadas el resto de las muestras a lo largo de los sistemas de afloramiento en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile, de los cuales, el primero se encontró en Valparaíso con 1.524.737 MP/km². Actividades cercanas a este punto, como el turismo y actividades pesqueras en Caleta Portales, pueden ser los responsables de la presencia de películas delgadas (TF), adicionalmente también es relevante la presencia de microperlas allí, ya que este tipo de MP proviene posiblemente de los productos de cuidado personal.

Con respecto al segundo punto con mayor abundancia se ubica en Arica, teniendo en cuenta que esta es la zona que presenta mayor abundancia, presentando una muestra con de 1.160.484 MP/km². Las actividades portuarias que se estarían llevando a cabo en el puerto de Arica pueden ser factores que puedan influir en estas cifras, cómo ha sido evidenciado en otros estudios (Lassen et al. 2015; Lee et al. 2015; Thiel, Hinojosa, and Macaya 2003; Zhou et al. 2018). Actividades de turismo, asociadas por ejemplo a cruceros, podrían contribuir también a la presencia de MP en aguas costeras (Edyvane et al. 2004; Gallo et al. 2018; GESAMP 2016; Williams et al. 2016). Sin embargo, se debe tener en cuenta que las abundancias de estas dos muestras anteriores, son valores que incluyen todos los tamaños y tipos de MP, incluida la categoría de otros (OT).

Adicionalmente, es interesante que estas dos muestras abundantes, se ubicaron en las ciudades/áreas más extremas a la zona de estudio, por ejemplo para la zona norte en Arica, que está relativamente cerca de la frontera de Perú (13 km aproximadamente desde la muestra más abundante), podrían estar mezclándose aguas provenientes de este país vecino, ya que efectos como el clima, con las lluvias, y los procesos de escorrentía como, los de distribución y transporte, por medio de los sistemas de descarga de agua o los ríos aportarían. Se presentaron temporadas de lluvias entre los meses de Noviembre y Marzo (Endara Huanca 2016) para este país vecino, sin embargo no solo Perú, Bolivia es otro país frontera con Chile que por medio de los ríos también podría favorecer a las abundancias de MP en las aguas costeras de Chile.

Por otro lado es relevante tener en cuenta factores naturales de la tierra, como es la oceanografía de la Corriente de Humboldt (CH), ya que todas las muestras recolectadas para este estudio se ubicaron a lo largo de esta corriente, la CH está identificada como uno de las los cuatro corrientes principales fronterizas orientales, caracterizada por fuertes vientos que son causados por el estrés del viento dominante en el ecuador y a lo largo de la costa, favoreciendo al transporte en alta mar, adicionalmente es marcada la afluencia que tienen las aguas costeras con las aguas subterráneas frías, ricas en nutrientes y finalmente se caracteriza por pesquerías altamente productivas (Thiel et al 2007). Es por esto que el viento juega un papel esencial en la presencia de los MP, un estudio analizó el efecto de la mezcla del viento en la distribución vertical de los desechos plásticos flotantes y por ejemplo concluye que a medida que el bote avanza en condiciones de viento fuerte, la captura de las piezas de plástico van a ser menores, porque estas piezas son redistribuidas verticalmente, causada por la mezcla provocada por el viento, en otras palabras, esto significaría que, el método de muestreo puede afectar en las mediciones de arrastre de las aguas superficiales, afectando significativamente el contenido total de plástico encontrado, incluso en condiciones de viento moderado o controlado (Kukulka et al 2012).

5. Limitaciones y alcances

Una de las limitaciones principales de este estudio, es un número relativamente bajo de muestras para cada ciudad, ya que tal vez no fueron suficientes muestras, para evaluar si las abundancias totales son representativas de las abundancias reales. Además, la distancia, pudo ser otro limitante para este estudio, ya que entre las distancias de cada muestra existió un amplio rango, lo que significa que para cada área

faltaron muestras entre las zonas lejanas a las ciudades, esto, se podría ver reflejado en las diferencias de las abundancias para cada zona. En función al objetivo tres con respecto a las actividades que aportarían MP a las aguas costeras, limitantes como la ubicación, se encontraron ya que era difícil determinar un área puntual en donde los de los sistemas de descarga de aguas drenan, por ende, es importante enfatizar cómo estas actividades y sus procesos pueden afectar la presencia de MP en las aguas superficiales costeras de Chile.

Sin embargo, los alcances de este estudio fueron varios: 1) las muestras se recolectaron a lo largo de aguas costeras, lo que permite tener un alcance a la proporción que pueden brindar las ciudades costeras, en torno a los MP más localmente como Arica, Antofagasta, Coquimbo, Valparaíso. 2) el área está directamente ubicada en zonas de surgencia de la corriente de Humboldt, permitiendo estudiar cómo acciones oceanográficas pueden afectar el transporte y la distribución con la presencia de los MP en las aguas costeras superficiales del norte de Chile. 3) El total de la zona de estudio comprendió un área a gran escala lo que proporciona información actual de los desechos MP de gran parte del Océano Pacífico Sur.

6. Conclusiones y perspectivas

La abundancia en los sistemas de afloramiento en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile fue de 6.073.129 ítems/km² presentando los fragmentos como el tipo más común en estas aguas, identificando que esto MP provienen de orígenes secundarios. Actividades que provienen de la ciudad de Arica como las actividades portuarias, podrían ser los responsables de suministrar la mayor cantidad de MP a las aguas costeras de Chile. Sin embargo, efectos como el del turismo y sus actividades costeras, el clima, el viento y la oceanografía de la Corriente de Humboldt, podrían estar afectando también la presencia y distribución de los MP flotante, esto en otras palabras representa que los efectos de las fuentes que aportan a las abundancias pueden ser tanto sociales como es como ambientales.

Estos resultados demuestran que la cantidad de MP es relativamente alta en los sistemas de afloramiento, en las aguas superficiales, costeras del Pacífico Sur del norte de Chile. En particular, la importancia de la calidad de las aguas marinas costeras, con respecto a su estado ambiental, ya que estas partículas de pequeño tamaño no pueden ser controladas fácilmente y de ninguna manera pueden ser retiradas en cantidades importantes, lo que sugiere que la biota marina está siendo afectada directamente por el consumo de MP, ya que en este estudio se evidencia que el color más abundante fue el transparente/translúcido haciendo similitud con el plancton lo que puede ser una de las causas por las cuales la fauna marina confunden sus alimentos con MP, generando graves consecuencias por ejemplo en los tractos digestivos y causando posiblemente la muerte (Moore et al. 2001; Ory et al. 2018).

Estudios se han enfocado en las zonas de acumulación como en los giros oceánicos (Cozar et al. 2014; Eriksen et al. 2014; Eriksen, Thiel, and Lebreton 2016), evidenciando la escala de gran problemática de la contaminación por MP en el mar, en donde estos estudios han los utilizados datos para modelar y predecir su abundancia y distribución espacial. Estudios en las zonas costeras son también importantes porque ayudan a entender cuáles son las fuentes de MP, teniendo en cuenta que estas zonas costeras cercanas al continente son ricas en biodiversidad marina. Sin embargo, faltan datos sobre estas áreas costeras, ya que pocos son los estudios que han investigado la abundancia, distribución espacial y

composición de los MP en estas áreas, por lo tanto, se necesitan investigaciones de los MP en las zonas costeras, como las de Song et al. (2018) y las de este estudio.

Los esfuerzos para minimizar los residuos que están siendo mal gestionados en la tierra tienen que reforzarse. Prácticas de conciencia ambiental tales como el control y el monitoreo del manejo de los desechos en zonas portuarias, al mismo tiempo que las campañas continuas de sensibilización dirigidas a los ciudadanos, principalmente a los que de alguna manera realizan sus actividades económicas en las zonas marítimas costeras, como pesca turismo etc., son una necesidad casi que obligatoria para prevenir y reducir este tipo de contaminación oceánica, adicionalmente proyectos como ciudadanos científicos (Rech et al 2015), ayudan a monitorear las cantidades y la composición de la basura marina incluyendo los MP , en zonas costeras incluidos los sistemas de agua dulce.

En conclusión, relaciones oceanográficas con abundancias de MP en zonas costeras, en este caso relación abundancia - distancia a la costa son importantes procesos que hay que tener en cuenta para identificar las principales fuentes responsables de la presencia de MP en aguas costeras. Sin embargo, no solo las actividades humanas costeras, sino también, procesos naturales pueden jugar un papel importante en la distribución de MP en aguas costeras. Se sugiere que futuras investigaciones, no solo tengan en cuenta una escala local, como las ciudades con sus respectivas actividades, sino que también lleven los estudios a una escala más global que permita incluir las corrientes oceanográficas.

7. Agradecimientos

Algalita org. por tomar y compartir las muestras del Pacífico Sur, a Martin Thiel por su apoyo a través de la Universidad del Norte de Coquimbo y la guía de Camila Gallardo y Abril Sánchez en los análisis de laboratorio y también a Andrea Luna por ser mi guía principal, por apoyarme con sugerencias útiles y acompañarme a lo largo de este de este estudio.

8. Referencias

Abu, Ahmad, and Tariq Al. 2009. "Marine Litter." *Journal of Environmental Management* 90 (2): 1043–49. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19889428>.

Acosta, Isabel, and Jesus Olivero. 2015. "Microplastic Resin Pellets on an Urban Tropical Beach in Colombia." *Environmental Monitoring and Assessment* 187 (7). <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4602-7>.

Anbumani, Sadasivam, and Poonam Kakkar. 2018. "Ecotoxicological Effects of Microplastics on Biota: A Review." *Environmental Science and Pollution Research* 25 (15): 14373–96. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1999-x>.

Andrady, Anthony L. 2011. "Microplastics in the Marine Environment." *Marine Pollution Bulletin* 62 (8): 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>.

Antão, Luís Gabriel, Dick Vethaak A., Beatriz Lavorante, Anne Katrine Lundebye, and Lúcia Guilhermino. 2018. "Marine Microplastic Debris: An Emerging Issue for Food Security, Food Safety and Human Health." *Marine Pollution Bulletin* 133 (January): 336–48. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.047>.

Au, Sarah Y., Cindy M. Lee, John E. Weinstein, Peter van den Hurk, and Stephen J. Klaine. 2017.

“Trophic Transfer of Microplastics in Aquatic Ecosystems: Identifying Critical Research Needs.” *Integrated Environmental Assessment and Management* 13 (3): 505–9. <https://doi.org/10.1002/ieam.1907>.

Auta, H.S, C.U Emenike, and S.H Fauziah. 2017. “Distribution and Importance of Microplastics in the Marine environment: A Review of the Sources, Fate, Effects, and Potential Solutions.” *Environment International* 102: 165–76. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.02.013>.

Barnes, David K.A., Francois Galgani, Richard C. Thompson, and Morton Barlaz. 2009. “Accumulation and Fragmentation of Plastic Debris in Global Environments.” *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364 (1526): 1985–98. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>.

Barrows, A. P.W., S. E. Cathey, and C. W. Petersen. 2018. “Marine Environment Microfiber Contamination: Global Patterns and the Diversity of Microparticle Origins.” *Environmental Pollution* 237: 275–84. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.062>.

Biblioteca del Congreso Nacional. 2018. “Indicadores Estadísticos , 1 °3 °5 °6 ° Circunscripción Senatorial.”

Browne, Mark Anthony, Phillip Crump, Stewart J Niven, Emma Teuten, Andrew Tonkin, Tamara Galloway, and Richard Thompson. 2016. “Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks.” *Environmental Science & Technology* 45: 9175–79. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es201811s%5Cnhttp://files/82/es201811s.html>.

Browne, Mark Anthony, A J Underwood, M G Chapman, Rob Williams, Richard C Thompson, Jan A Van Franeker, and Mark Anthony Browne. 2015. “Linking Effects of Anthropogenic Debris to Ecological Impacts.” *Proc. R. Soc.*, no. 282: 1–10.

Cheung, Pui Kwan, Lincoln Fok, Pui Lam Hung, and Lewis T.O. Cheung. 2018. “Spatio-Temporal Comparison of Neustonic Microplastic Density in Hong Kong Waters under the Influence of the Pearl River Estuary.” *Science of the Total Environment* 628–629: 731–39. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.338>.

Cole, Matthew, Pennie Lindeque, Claudia Halsband, and Tamara S. Galloway. 2011. “Microplastics as Contaminants in the Marine Environment: A Review.” *Marine Pollution Bulletin* 62 (12): 2588–97. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>.

Cozar, A., F. Echevarria, J. I. Gonzalez-Gordillo, X. Irigoien, B. Ubeda, S. Hernandez-Leon, A. T. Palma, et al. 2014. “Plastic Debris in the Open Ocean.” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (28): 10239–44. <https://doi.org/10.1073/pnas.1314705111>.

Dai, Zhenfei, Haibo Zhang, Qian Zhou, Yuan Tian, Tao Chen, Chen Tu, Chuancheng Fu, and Yongming Luo. 2018. “Occurrence of Microplastics in the Water Column and Sediment in an Inland Sea Affected by Intensive Anthropogenic Activities.” *Environmental Pollution* 242: 1557–65. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.131>.

Derraik, Jose G. B. 2002. “The Pollution of the Marine Environment by Plastic Debris: A Review.” *Marine Pollution Bulletin* 44: 842–52.

Edyvane, K. S., A. Dalgetty, P. W. Hone, J. S. Higham, and N. M. Wace. 2004. “Long-Term Marine Litter Monitoring in the Remote Great Australian Bight, South Australia.” *Marine Pollution Bulletin* 48 (11–12): 1060–75. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.12.012>.

- Endara Huanca, Sofia. 2016. "Ciclos Horarios de Precipitación En El Perú Utilizando Información Satelital," 1–52.
- Eriksen, Marcus, Laurent C.M. Lebreton, Henry S. Carson, Martin Thiel, Charles J. Moore, Jose C. Borerro, Francois Galgani, Peter G. Ryan, and Julia Reisser. 2014. "Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea." *Plos One* 9 (12): 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>.
- Eriksen, Marcus, Nikolai Maximenko, Martin Thiel, Anna Cummins, Gwen Lattin, Stiv Wilson, Jan Hafner, Ann Zellers, and Samuel Rifman. 2013. "Plastic Pollution in the South Pacific Subtropical Gyre." *Marine Pollution Bulletin* 68 (1–2): 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.12.021>.
- Eriksen, Marcus, Martin Thiel, and Laurent Lebreton. 2016. "Nature of Plastic Marine Pollution in the Subtropical Gyres." *Marine Environmental Research*, 1–28. <https://doi.org/10.1007/698>.
- Gallo, Frederic, Cristina Fossi, Roland Weber, David Santillo, Joao Sousa, Imogen Ingram, Angel Nadal, and Dolores Romano. 2018. "Marine Litter Plastics and Microplastics and Their Toxic Chemicals Components: The Need for Urgent Preventive Measures." *Environmental Sciences Europe* 30 (1). <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0139-z>.
- GESAMP. 2015. "Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: A Global Assessment." *International Maritime Organization* 90: 96.
- . 2016. *Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: Part 2 of a Global Assessment. International Maritime Organization*. Vol. 93. London.
- Herreros de Lartundo, Jorge. 2011. "Biodiversidad Del Borde Costero de Arica." Ministerio Del Medio Ambiente, 1–94. Arica, Chile. 91
- Hidalgo-Ruz, Valeria, and Martin Thiel. 2013. "Distribution and Abundance of Small Plastic Debris on Beaches in the SE Pacific (Chile): A Study Supported by a Citizen Science Project." *Marine Environmental Research* 87–88: 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.02.015>.
- Hinojosa, Iván A., and Martin Thiel. 2009. "Floating Marine Debris in Fjords, Gulfs and Channels of Southern Chile." *Marine Pollution Bulletin* 58 (3): 341–50. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.10.020>.
- Isobe, Atsuhiko, Kenta Kubo, Yuka Tamura, Shin'ichio Kako, Etsuko Nakashima, and Naoki Fujii. 2014. "Selective Transport of Microplastics and Mesoplastics by Drifting in Coastal Waters." *Marine Pollution Bulletin* 89 (1–2): 324–30. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.09.041>.
- Jiang, Jia Qian. 2018. "Occurrence of Microplastics and Its Pollution in the Environment: A Review." *Sustainable Production and Consumption* 13 (November): 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2017.11.003>.
- Kang, Jung Hoon, Oh Youn Kwon, Kyun Woo Lee, Young Kyoung Song, and Won Joon Shim. 2015. "Marine Neustonic Microplastics around the Southeastern Coast of Korea." *Marine Pollution Bulletin* 96 (1–2): 304–12. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.054>.
- Kanhai, La Daana K., Rick Officer, Olga Lyashevskaya, Richard C. Thompson, and Ian O'Connor. 2017. "Microplastic Abundance, Distribution and Composition along a Latitudinal Gradient in the Atlantic Ocean." *Marine Pollution Bulletin* 115 (1–2): 307–14.

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.025>.

- Kim, In Sung, Doo Hyeon Chae, Seung Kyu Kim, Soo Bong Choi, and Seung Bum Woo. 2015. "Factors Influencing the Spatial Variation of Microplastics on High-Tidal Coastal Beaches in Korea." *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 69 (3): 299–309. <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0155-6>.
- Kukulka, T, G Proskurowski, D W Meyer, and K L Law. 2012. "The Effect of Wind Mixing on the Vertical Distribution of Buoyant Plastic Debris." *Geophysical Research Letters* 39 (January): 1–6. <https://doi.org/10.1029/2012GL051116>.
- Lassen, Carsten, Steffen Foss Hansen, Kerstin Magnusson, Fredrik Norén, Nanna Isabella Bloch Hartmann, Pernille Rehne Jensen, Torkel Gissel Nielsen, and Anna Brinch. 2015. *Microplastics Occurrence, Effects and Sources of Releases to the Environment in Denmark*. Ministry E. Denmark.
- Lee, Jongmyoung, Jong Su Lee, Yong Chang Jang, Su Yeon Hong, Won Joon Shim, Young Kyung Song, Sang Hee Hong, et al. 2015. "Distribution and Size Relationships of Plastic Marine Debris on Beaches in South Korea." *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 69 (3): 288–98. <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0208-x>.
- Luo, Wenya, Lei Su, Nicholas J Craig, Fangni Du, Chengxi Wu, and Huahong Shi. 2019. "Comparison of Microplastic Pollution in Different Water Bodies from Urban Creeks to Coastal Waters." *Environmental Pollution* 246: 174–82. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.081>.
- Moore, Charles J, S. L Moore, M. k Leecaster, and S. B Weisberg. 2001. "A Comparison of Plastic and Plankton in the North Pacific Central Gyre." *Marine Pollution Bulletin* 42 (12): 1297–1300. <https://doi.org/10.1155/2014/758679>.
- Moore, Charles J, Gwen L Lattin, and Ann F Zellers. 2011. "Quantity and Type of Plastic Debris Flowing from Two Urban Rivers to Coastal Waters and Beaches of Southern California." *Journal of Integrated Coastal Zone Management* 11 (1): 65–73. <https://doi.org/10.1109/MSR.2015.31>
- Ory, Nicolas, Catherine Chagnon, Fernando Felix, César Fernández, Joana Lia Ferreira, Camila Gallardo, Ostin Garcés Ordóñez, et al. 2018. "Low Prevalence of Microplastic Contamination in Planktivorous Fish Species from the Southeast Pacific Ocean." *Marine Pollution* 2018, 127 (November 2017): 211–16. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.016>.
- Pan, Zhong, Huige Guo, Hongzhe Chen, Sumin Wang, Xiuwu Sun, Qingping Zou, Yuanbiao Zhang, Hui Lin, Shangzhan Cai, and Jiang Huang. 2019. "Microplastics in the Northwestern Pacific: Abundance, Distribution, and Characteristics." *Science of the Total Environment* 650: 1913–22. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.244>.
- Rech, S., V. Macaya-Caquilpán, J. F. Pantoja, M. M. Rivadeneira, C. Kroeger Campodónico, and M. Thiel. 2015. "Sampling of Riverine Litter with Citizen Scientists — Findings and Recommendations." *Environmental Monitoring and Assessment* 187 (6). <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4473-y>.
- Rech, S., V. Macaya-Caquilpán, J. F. Pantoja, M. M. Rivadeneira, D. Jofre Madariaga, and M. Thiel. 2014. "Rivers as a Source of Marine Litter - A Study from the SE Pacific." *Marine Pollution Bulletin* 82 (1–2): 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.03.019>.
- Ruiz-Orejón, Luis F., Rafael Sardá, and Juan Ramis-Pujol. 2016. "Floating Plastic Debris in the

Central and Western Mediterranean Sea.” *Marine Environmental Research* 120: 136–44.
<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.08.001>.

Ryan, Peter G. 1988. “The Characteristics and Distribution of Plastic Particles at the Sea-Surface off the Southwestern Cape Province, South Africa.” *Marine Environmental Research* 25 (4): 249–73.
[https://doi.org/10.1016/0141-1136\(88\)90015-3](https://doi.org/10.1016/0141-1136(88)90015-3).

Ryan, Peter G, Vonica Perold, Alexis Osborne, and Coleen L Moloney. 2018. “Consistent Patterns of Debris on South African Beaches Indicate That Industrial Pellets and Other Mesoplastic Items Mostly Derive from Local.” *Environmental Pollution*, 1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.017>.

Sagawa, Nao, Keiyu Kawaai, and Hirofumi Hinata. 2018. “Abundance and Size of Microplastics in a Coastal Sea: Comparison among Bottom Sediment, Beach Sediment, and Surface Water.” *Marine Pollution Bulletin* 133 (May): 532–42. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.036>.

Sebille, Erik Van, Chris Wilcox, Laurent Lebreton, Nikolai Maximenko, Britta Denise Hardesty, Jan A. Van Franeker, Marcus Eriksen, David Siegel, Francois Galgani, and Kara Lavender Law. 2015. “A Global Inventory of Small Floating Plastic Debris.” *Environmental Research Letters* 10 (12). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/124006>.

Siegfried, Max, Albert A. Koelmans, Ellen Besseling, and Carolien Kroeze. 2017. “Export of Microplastics from Land to Sea. A Modelling Approach.” *Water Research* 127: 249–57.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.10.011>.

Song, Young Kyoung, Sang Hee Hong, Soeun Eo, Mi Jang, Gi Myung Han, Atsuhiko Isobe, and Won Joon Shim. 2018. “Horizontal and Vertical Distribution of Microplastics in Korean Coastal Waters.” *Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b04032>.

Song, Young Kyoung, Sang Hee Hong, Mi Jang, Gi Myung Han, and Won Joon Shim. 2015. “Occurrence and Distribution of Microplastics in the Sea Surface Microlayer in Jinhae Bay, South Korea.” *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 69 (3): 279–87.
<https://doi.org/10.1007/s00244-015-0209-9>.

Thiel, M, I Hinojosa, and E Macaya. 2003. “Floating Debris of Coastal Waters of SE Pacific Chile.” *Marine Pollution Bulletin* 46: 224–31.

Thiel, M., E.C. Macaya, E. Acuña, W.E. Arntz, H. Bastias, K. Brokordt, P.A. Camus, et al. 2007. “The Humboldt Current System of Northern and Central Chile - Oceanographic Processes, Ecological Interactions and Socioeconomic Feedback.” *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 45: 195–344. <https://doi.org/10.1091/mbc.E04-05-0427>.

Williams, Allan Thomas, Nelson Guillermo Rangel, Giorgio Anfuso, Omar Cervantes, and Camilo Mateo Botero. 2016. “Litter Impacts on Scenery and Tourism on the Colombian North Caribbean Coast.” *Tourism Management* 55: 209–24. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.02.008>.

Yamashita, Rei, and Atsushi Tanimura. 2007. “Floating Plastic in the Kuroshio Current Area, Western North Pacific Ocean.” *Marine Pollution Bulletin* 54: 464–88.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.11.016>.

Yu, Xubiao, Samantha Ladewig, Shaowu Bao, Catherine A. Toline, Stefanie Whitmire, and Alex T. Chow. 2018. “Occurrence and Distribution of Microplastics at Selected Coastal Sites along the Southeastern United States.” *Science of the Total Environment* 613–614: 298–305.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.100>.

Zeri, C., P. Tutman, J. Siljic, A. Kržan, C. Mazziotti, M. Mandic, M. Kovač Viršek, et al. 2018. "Floating Plastics in Adriatic Waters (Mediterranean Sea): From the Macro- to the Micro-Scale." *Marine Pollution Bulletin* 136 (July): 341–50. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.09.016>.

Zhang, Hua. 2017. "Transport of Microplastics in Coastal Seas." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 199: 74–86. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.09.032>.

Zhang, Kai, Huahong Shi, Jinping Peng, Yinghui Wang, Xiong Xiong, Chenxi Wu, and Paul K.S. Lam. 2018. "Microplastic Pollution in China's Inland Water Systems: A Review of Findings, Methods, Characteristics, Effects, and Management." *Science of The Total Environment* 630: 1641–53. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.300>.

Zhou, Qian, Haibo Zhang, Chuancheng Fu, Yang Zhou, Zhenfei Dai, Yuan Li, Chen Tu, and Yongming Luo. 2018. "The Distribution and Morphology of Microplastics in Coastal Soils Adjacent to the Bohai Sea and the Yellow Sea." *Geoderma* 322 (December 2017): 201–8. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.015>.

ANEXOS

1. Requisitos de formato para la revista *Marine Pollution Bulletin*

- No existen requisitos estrictos de formato, pero todos los manuscritos deben contener los elementos esenciales necesarios para transmitir su manuscrito, por ejemplo, Resumen, Palabras clave, Introducción, Materiales y métodos, Resultados, Conclusiones, Ilustraciones y Tablas con subtítulos.

Divida el artículo en secciones claramente definidas.

- Resumen

Los resúmenes no deben exceder las 150 palabras.

Se requiere un resumen conciso y fáctico. El resumen debe indicar brevemente el propósito de la investigación, los resultados y las conclusiones principales.

- Palabras clave

Inmediatamente después del resumen, proporcione un máximo de 6 palabras clave, utilizando la ortografía estadounidense y evitando términos generales y plurales y múltiples conceptos (evite, por ejemplo, "y", "de"). En su caso, estos deberían incluir las principales especies en cuestión, el área geográfica y el contaminante. Tenga cuidado con las abreviaturas: solo las abreviaturas firmemente establecidas en el campo pueden ser elegibles. Estas palabras clave se utilizarán para fines de indexación.

- Información esencial de la portada
- Título. Conciso e informativo. Los títulos se usan a menudo en sistemas de recuperación de información. Evite abreviaturas y fórmulas cuando sea posible.
- Nombres de autor y afiliaciones. Indique claramente los nombres de pila y los apellidos de cada autor y verifique que todos los nombres estén escritos correctamente. Puede agregar su nombre entre paréntesis en su propio guion detrás de la transcripción en inglés. Presente las direcciones de afiliación de los autores (donde se realizó el trabajo real) debajo de los nombres. Indique todas las afiliaciones con una letra en superíndice en minúscula inmediatamente después del nombre del autor y delante de la dirección correspondiente. Proporcione la dirección postal completa de cada afiliación, incluido el nombre del país y, si está disponible, la dirección de correo electrónico de cada autor.
- Autor de correspondencia. Indique claramente quién manejará la correspondencia en todas las etapas del arbitraje y la publicación, también después de la publicación. Esta responsabilidad incluye responder cualquier consulta futura sobre Metodología y Materiales. Asegúrese de que se proporcione la dirección de correo electrónico y que el autor correspondiente mantenga actualizados los datos de contacto.
- Dirección actual / permanente. Si un autor se mudó desde que se realizó el trabajo descrito en el artículo, o estaba visitando en ese momento, una 'Dirección actual' (o 'Dirección permanente') puede indicarse como una nota al pie del nombre del autor. La dirección en la que el autor realmente hizo el trabajo debe conservarse como la dirección principal de afiliación. Los números arábigos en superíndice se usan para tales notas al pie.

- Los aspectos más destacados son obligatorios para esta revista. Consisten en una breve colección de viñetas que transmiten los hallazgos principales del artículo y deben enviarse en un archivo editable separado en el sistema de envío en línea. Utilice 'Destacados' en el nombre del archivo e incluya de 3 a 5 viñetas (máximo 85 caracteres, incluidos espacios, por viñeta).
- Leyendas de figuras

Asegúrese de que cada ilustración tenga un título. Una leyenda debe comprender un título breve (no en la figura misma) y una descripción de la ilustración. Mantenga el texto en las ilustraciones al mínimo, pero explique todos los símbolos y abreviaturas utilizados.

- Formato de referencia

No hay requisitos estrictos sobre el formato de referencia en el envío. Las referencias pueden estar en cualquier estilo o formato siempre que el estilo sea consistente. Cuando corresponda, deben estar presentes los nombres de autor (es), título de la revista / título del libro, título del capítulo / título del artículo, año de publicación, número de volumen / capítulo del libro y el número o paginación del artículo. Se recomienda encarecidamente el uso de DOI.

2. Marco conceptual

2.1 Antecedentes temáticos

2.1.1. Oceanografía

La contaminación generada por el plástico es una preocupación marina importante ya que el alcance de los estudios en el océano abierto no es suficiente, aun así existen comportamientos oceanográficos que pueden estar favoreciendo la distribución del plástico en el mar (Law et al. 2010). Los giros subtropicales son sistemas de corrientes a gran escala impulsadas por el viento, que fluyen en sentido contrario de las manecillas del reloj en el hemisferio Sur y en el sentido de las manecillas del reloj en el Norte, causadas por el efecto llamado Coriolis, una fuerza que tiende a mover las corrientes de viento y agua hacia la derecha en el hemisferio Norte y hacia a la izquierda en el Sur, creando movimientos ciclónicos atmosféricos y oceánicos (Eriksen, Thiel, and Lebreton 2016).

El giro central del Pacífico Norte es una de esas áreas de convergencia que obliga a los desechos plásticos a entrar en un área central donde disminuyen los vientos y las corrientes (Moore et al. 2001) de igual forma que ocurrió con el plástico de la superficie del Océano Atlántico Norte occidental y el Mar Caribe en 1986 hasta 2008. La mayor concentración de desechos plásticos se relacionó con la convergencia de las corrientes superficiales de Ekman (Law et al. 2010). Por otro lado, uno de los sistemas de surgencia más productivos del mundo es el Sistema de Corriente Humboldt (Graco et al. 2007). Esta corriente se encuentra a lo largo de la costa del Pacífico, comenzando en el sur de Chile con las frías aguas subantárticas hasta Perú, donde se mezcla con las aguas superficiales ecuatoriales (Marín, Delgado, and Luna-Jorquera 2003; Thiel et al. 2007). A lo largo de la costa chilena, algunas regiones son conocidas especialmente por sus fuertes sistemas de afloramientos como Antofagasta (23 ° S), Coquimbo (30 ° S) y Valparaíso (33 ° S) (Thiel et al. 2007), y esta corriente posiblemente, como lo mostraron estudios anteriores, puede estar llevando los microplásticos de las aguas costeras a esas áreas de convergencia lejos de la costa (GESAMP 2015; Lebreton et al. 2017), prediciendo que posiblemente haya menos cantidad de microplásticos cerca de la línea de costa. Los estudios que brindan información sobre microplásticos en los sitios de afloramiento costero son particularmente importantes porque podrían proporcionar (i) una indicación de la probabilidad de encuentro entre organismos y microplásticos en dichos sitios y, (ii) una idea del efecto potencial de los fenómenos oceanográficos como el afloramiento sobre microplásticos en los océanos del mundo (Kanhai et al. 2017).

2.1.2 Fuentes

Por lo general, los estudios han determinado que las fuentes principales que aportan microplásticos se relacionan con las actividades humanas, y cuando estas actividades se relacionan a áreas costeras como en las playas, la composición de los microplásticos puede variar por tipo de playa presente. Por ejemplo, el microplástico de tipo espuma fue en un 99% dominante en playas turísticas costeras en Corea, lo que quiere decir que provienen de empaques de alimentos, otro tipo, como las fibras, procedentes de líneas de pesca rotas, se encontraron en playas cercanas a puertos pesqueros (Lee et al. 2015). Por lo tanto, la abundancia de microplásticos a lo largo de la costa puede variar por las actividades humanas intensivas como el turismo, la maricultura, la construcción de puertos y diques, así como por la descarga de ríos y mareas oceánicas, como también se encontró en China (Dai et al. 2018).

Como se evidenció en los estudios anteriores, la mayoría de los estudios se han centrado en la presencia de microplásticos en el mar, especialmente en las zonas costeras como en Hong Kong, en donde se recolectaron muestras de plásticos y se encontraron 304.816 n/km² de partículas en las superficies marinas, identificando factores que influyen en la presencia de los microplásticos, como la época del año, el método de muestreo, la identificación plástica y principalmente los ríos, como una fuente

importante de aporte plástico al mar, como fue el aporte del río Pearl en este estudio (Cheung, Fok, Hung, Cheung, et al. 2018). Por otro lado, se ha evidenciado en ciertos casos que los factores más importantes que afectan la distribución de los plásticos flotantes en las aguas marinas son la proximidad a las fuentes de basura marina (es decir, centros urbanos y turísticos, rutas marítimas, áreas de pesca) y caminos (es decir ríos, pero también plantas de tratamiento de aguas residuales) (Zeri et al. 2018).

2.2 Antecedentes de contexto

Los estudios sobre la contaminación plástica en los océanos del mundo son preocupantes, ya que muestran cifras de abundancia donde más de 5 billones de piezas de plástico que pesan más de 250,000 toneladas terminan a flote en el mar (Eriksen et al. 2014), como se evidenció en el Océano Pacífico Norte y Sur Oriental que por un periodo 11 años de estudio se encontraron 106 piezas km^2 (Law et al. 2014). En el mar Adriático, se analizaron áreas pobladas, salidas de ríos y aguas de alta mar y se encontraron microplásticos con una abundancia promedio de $315,009 \pm 568,578$ artículos/ km^2 . Además, las abundancias de microplásticos más altas se correlacionaron con la distancia y se encontró el siguiente patrón: entre más cerca de la costa ≤ 4 km mayor abundancia, comparado con aguas costeras >4 km de la línea de costa (Zeri et al. 2018).

En un estudio en el Mar Mediterráneo, se analizaron 71 muestras de desechos plásticos flotantes que se obtuvieron con una red de arrastre de Manta (Ruiz-Orejón, Sardá, and Ramis-Pujol 2016). Se obtuvo una concentración de plásticos de 147,500 artículos km^2 con una concentración de peso promedio de 597.3 g/km^2 en áreas influenciadas por la descarga de grandes ríos, gran población costera y turismo (Cózar et al. 2015; Jambeck et al. 2015). Los autores esperaban que se pudiera encontrar una mayor concentración de partículas de plástico en áreas cercanas a la costa, pero no se logró encontrar una relación entre la concentración de partículas y la distancia a la tierra, concluyendo más bien que existía, en este caso, una relación inversa. En general, las áreas con partículas plásticas más altas se relacionaron en este estudio con áreas de convergencia de la circulación de la superficie costera que también fueron influenciadas por los grandes centros de población (Ruiz-Orejón, L.F., Sardá, R. and Ramis-Pujol, J. 2016).

Así como la distribución de plástico en el mundo ha sido un tema reciente de estudiar, estudios han podido determinar patrones de distribución de los microplásticos, estos pueden variar dependiendo de la circulación de superficie, los vientos, la geografía de la costa y los puntos de entrada al medio marino (Barnes et al. 2009; Kim et al. 2015) (Un estudio comparó diferentes cuerpos de agua como arroyos de la ciudad (Shanghai), ríos (río Suzhou y río Huangpu), un estuario (estuario de Yangtze) y aguas costeras (mar de China Oriental) en el Yangtze (Luo et al. 2019) y concluyeron que la abundancia de microplásticos fue mayor (1.8-2.4 ítems/L) en cuerpos de agua dulce que en estuarios y aguas costeras (0.9 ítems/L) pero nuevamente la concentración más alta de microplásticos estuvo cerca de los ríos urbanos en este caso en el río Suzhou, señalando a los ríos como una fuente importante de contribución a los microplásticos (Lares et al. 2018; Luo et al. 2019).

Un estudio sobre los tipos de microplásticos, especialmente de las fibras, muestra una tendencia en la abundancia de fibras donde decrece desde pequeños cuerpos de agua urbanos hasta el mar (Luo et al. 2019). Posiblemente el efecto de los afluentes urbanos, como la contaminación doméstica, es un factor principal que contribuye a la abundancia de microfibras. Los resultados de este estudio sugieren que es más probable que las microfibras se encuentren más cerca de las costas, donde se descargan efluentes, y que los factores hidrológicos como la salinidad, la temperatura del agua, las fuerzas de las corrientes, contribuyen a la distribución espacial y al transporte de microplásticos desde los ríos continentales hasta el océano abierto (Luo et al. 2019), incluyendo también los efectos de la radiación solar, el viento, la acción microbiana que también aportan a los procesos de degradación debido al tiempo expuesto que

dura un plástico en la intemperie (Andrady 2011; Pruter 1987). La radiación solar además es un mecanismo muy eficiente para los plásticos expuestos a través del aire o simplemente expuestos en la superficie de una playa, por lo tanto, cuando se va a exponer a la luz solar mientras aún flota en el agua de mar, la degradación se retrasa severamente (Andrady 2011).

3. Métodos

3.1 Muestreo

Las muestras se recolectaron utilizando una red de arrastre de manta con las siguientes características físicas:

Una abertura rectangular de 0.9 X 0.15 m² y una red de 333 mm de largo de 3.5 m con una bolsa colectora de 30 X 10 cm² (Moore et al. 2001), con dos alas grandes huecas laterales, que funcionan como flotador para poder empujar el frente de la red de arrastre hacia arriba mientras está bajo el remolque y que no se hunda. Vea la figura 1. La media de recolección de tiempo para cada muestra fue de 0:13min45seg, y una media de la velocidad de la embarcación de 1.025 m/s.

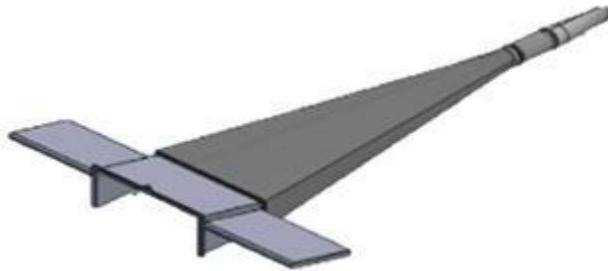


Fig 1. Manta trawl

3.2 Metodología del laboratorio de análisis de las muestras costeras de microplásticos.

Materiales

- 2 formatos de hoja de datos (anexo 3)
 - 2016 S Pacific Gyre - Plástico
 - Hoja de datos de color 2016 S Pacific Gyre - Plástico
- Placa de Petri
- 2 tazas grandes
- Pinzas
- Cuchara metálica o gotero
- Frasco o viales



<https://colombia.bioweb.co/products/viales-no-esterilizados-brand-1-5-ml-x-500-u>

- Tamiz de malla de 200 a 333 micras
- Agua filtrada, tamizada (con tamiz de 333 micras) en una jarra
- 6 tamices de forma descendente (malla más pequeña en la parte inferior); tamaños = 4.75 mm, 2.80 mm, 1.00 mm, 0.710 mm, 0.500 mm, 0.355 mm
- Horno
- Cepillo o raspador
- Cinta adhesiva y transparente
- Marcador permanente
- Alcohol al 70%
- Balanza



<http://www.basculas-industriales-barcelona.es/balanzas-digitales-barcelona.html>

- Microscopio
- Embudo
- Malla 0.333 micras
- Clip
- Vaso de vidrio de 1 litro

Guía fotográfica de tipos de microplásticos:

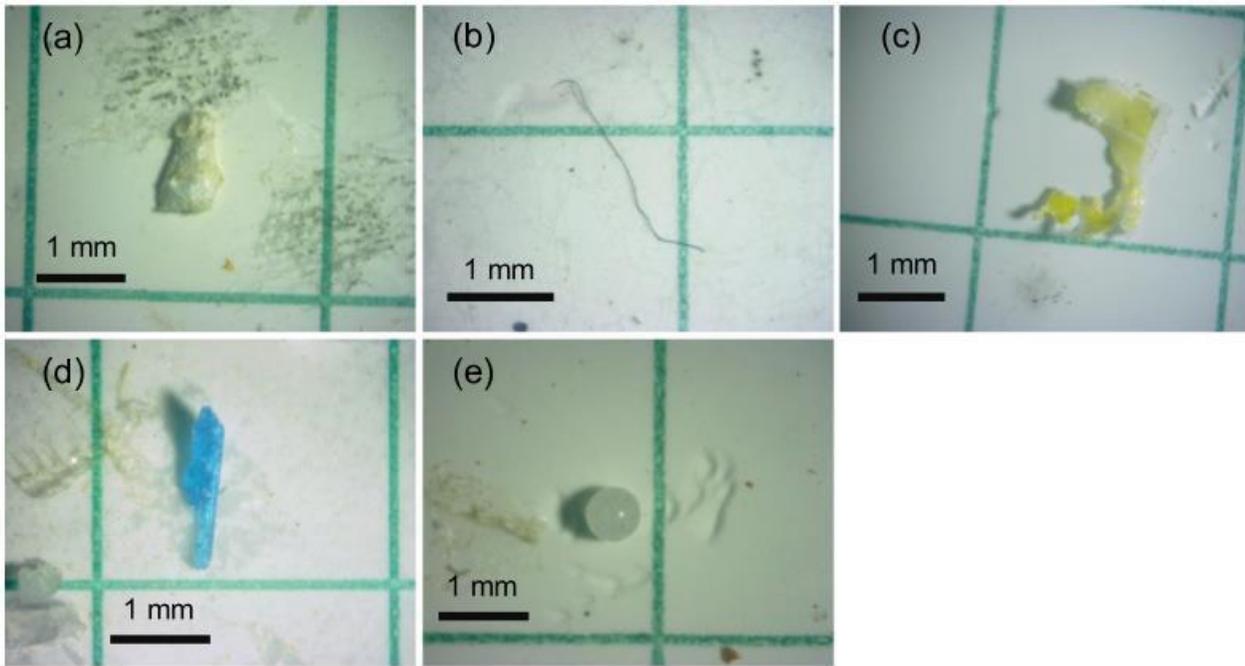


Fig.2 Photomicrographs of MP types: (a) foam, (b) fiber, (c) thin film (d) fragment and (e) pellet (Cheung, Fok, Hung, and Cheung 2018)

3.2 Paso a paso:

1. Preparación de la muestra

Objetivo: limpiar la muestra y conservarla en alcohol.

1.1 Complete el formato 1 con el número de la estación, fecha, tipo de red y quién está revisando.

1.2 Prepare frascos limpios para separar y etiquetar con los datos correspondientes (Número de la muestra): microplásticos flotantes, microplásticos y elementos orgánicos.

1.2 Tome la muestra y escúrrala a través de un tamiz de malla de 200 a 333 micras.

1.3 Enjuague las partículas adheridas al tamiz de malla de micras con una botella de lavado de agua filtrada*.

1.4 En un recipiente coloque la muestra con agua filtrada y capture los microplásticos flotantes y los artículos u organismos grandes con las pinzas y colóquelos en su propio recipiente.

1.5 Luego se vuelve a tamizar todo el recipiente y se descarta el agua sobrante (hágalo 3 veces más).

1.6 Los organismos y los microplásticos no flotantes (de la muestra) se vuelven a colocar en el recipiente original después de limpiarlos con la ayuda de una cuchara.

1.7 Con una cuchara tome un poco de la muestra y colóquela en la placa de Petri con el número de la muestra y verifíquela bajo el microscopio y separe los microplásticos de la muestra.

1.8 Coloque la placa de Petri debajo de un anillo de luz.

1.9 Utilizando pinzas, retire todas las piezas de plástico reconocibles que estén flotando ($> 5 \text{ mm} \Rightarrow 1/2 \text{ cm}$).

1.10 Coloque trozos grandes de plástico enjuagados en placas de Petri de vidrio y reserve para su posterior secado, recuento y pesaje.

1.11 Con una cuchara o gotero, retire todo el plástico restante del plancton. Comience en el centro de la placa de Petri y salga a los lados. Coloque estas piezas en un frasco o vial etiquetado por separado.

* Agua filtrada: toda el agua dulce que se use, debe ser agua que se filtró en el tamiz de malla de 333 micras.

2. Tamizado de la muestra

Objetivo: Separar las piezas de plástico en 6 clases de diferentes tamaños.

2.1 Organizar 6 tamices Tyler en orden de tamaño desde la parte inferior hasta la parte superior de la más pequeña a la más grande, tamaños = 4.75 mm, 2.80 mm, 1.00 mm, 0.710 mm, 0.500 mm, 0.355 mm (asegúrese de que los tamices estén 100 % limpios).

2.2 Coloque los tamices alineados en una superficie plana y alinee las etiquetas en el frente de los lados de los tamices entre sí.

2.3 Vierta el material plástico que quede después del paso 1 a través de los tamices, en el lado de los tamices donde están las etiquetas (de esta manera podrá ubicar sus piezas de muestra porque sabrá dónde buscar); enjuague todas las partículas en un conjunto de tamices cuidadosamente con una botella de agua filtrada.

2.4 Continuar enjuagando las partículas a través de tamices para asegurarse que el plástico quede en su clase de tamaño apropiado.

2.5 Separar los 6 tamices para inspeccionar.

2.6 Con un embudo en un frasco de vidrio de 1 litro, coloque una malla doblada con la ayuda de un clip (para darle una forma de cono) de 0,33 micras.

2.8 Asegúrese de que el agua lave por encima y por debajo del tamiz para que los microplásticos no se adhieran al tamiz y baje al embudo para que el MP se detenga en la malla.

2.9 Doblar la malla por la mitad y ponerla en una caja de Petri etiquetada con el tamaño respectivo del tamiz.

2.10 Hacerlo con cada tamaño y obtendrá 6 Petri con cada tamaño con el MP respectivo.

3. Secado del plástico

Objetivo: secar el plástico para pesar

3.1 Ajuste el horno a 60 ° C (~ 3.3 en la escala del horno) y espera hasta que esté lista la temperatura.

3.2 Coloque las mallas con los plásticos (todos los tamaños incluyendo > 4.75 mm) en el horno. Nota: estos fragmentos deben estar en una placa de Petri de vidrio cuando entran al horno y también asegúrese de que no haya guantes similares a la goma o algo similar que pueda derretirse.

3.3 Las muestras estarán secas a 60 ° durante aproximadamente 30 minutos. Después de secar, durante ese tiempo las muestras, si aún siguen húmedas, déjalas en el horno y verifique cada 15 minutos para ver si se han secado.

4. Separación de los tipos de plástico

Objetivo: determinar cuáles son los tipos de plástico

4.1 Transfiera las brocas de plástico secas de cada tamiz a una placa de Petri (use un cepillo, raspador, pinzas o una cuchara con mucho cuidado para realizar la transferencia, ya que podría perder cualquier pieza de plástico, ya que quedará liviana por el proceso de secado y puede soltarse fácilmente).

4.2 Con las pinzas, clasifique la muestra para los diferentes tipos de plástico tal como están escritos en la hoja de datos (consulte el anexo 2016 S Pacific Gyre - Plastic).

Fragmentos: deben ser fuertes

Película delgada: son bolsas blandas

Pellets: bolas de plástico duro que incluyen microperlas

Líneas: son fibras duras, las fibras blandas pueden ser fibras ambientales y no cuentan como microplásticos

Otros: lo que no pertenece a todo lo anterior, ejemplos: cigarrillos de vidrio, tapas de botellas de goma, etc.

4.3 Escriba en la hoja de datos el número de plásticos para cada tipo.

4.4 Tome un vial vacío y coloque el MP encontrado. Marque en el vial: número de muestras, la fecha en que se tomó la muestra, el tamaño del MP, qué tipo son y el número total de MP que se encontraron en la muestra. Guarde el vial para pesarlo más tarde.

5. Pesar el plástico seco

Objetivo: determinar los pesos de los diferentes tipos de plástico

5.1 Encienda la báscula 30 minutos antes de pesar la máquina y calibre la báscula cuando se caliente.

5. Coloque una malla en la máquina de pesaje y calibre el peso de la bandeja a 0.

5.3 Transfiera el plástico clasificado a la malla / bandeja de pesaje, espere hasta que se detengan los números de la máquina de pesaje (asegúrese de que ya se hayan detenido) y obtenga el peso en gramos. Si el valor cambia demasiado, tomé el primer número que aparece cuando se detiene.

Nota: asegúrese de que después de colocar los plásticos, se cierren las puertas de la máquina de pesaje con mucho cuidado y rapidez, también asegúrese de que no se mueva nada sobre la mesa donde está trabajando.

* Escriba solo los primeros cuatro decimales que aparecen en la máquina de pesaje

* Si el número no cambia y aparece 0.000000 ... Escriba en la hoja de datos el valor de 0.0004

5.4 Escriba el recuento en la hoja de datos.

5.5 Transfiera el plástico cuidadosamente seleccionado y pesado a un vial o frasco que esté debidamente etiquetado.

5.6 Realice este procedimiento hasta que todo el plástico clasificado y contado se pese y se registre en la hoja de datos.

* En este punto, su muestra está lista para ser sometida a control de calidad. Avise a uno de los supervisores o uno de los asistentes que su muestra está lista y luego colóquela en el vial apropiado con la etiqueta Pacific Gyre - Ready for QC. Comience con otra muestra.

6. Control de calidad 2

Objetivo: verificar si los tipos y el peso son correctos

6.1 Encuentre un supervisor para verificar los viales donde están separados los MP.

6.2 Tome el 10% del total de viales y verifique nuevamente el tipo, la cantidad y el peso si corresponde a la información que se escribió fuera del vial.

6.3 Si la información corresponde a las muestras, el análisis ha finalizado, si no, la persona que clasificó las muestras debe hacer nuevamente los pasos del 4 al 6.

4. Referencias

- Andrady, Anthony L. 2011. "Microplastics in the Marine Environment." *Marine Pollution Bulletin* 62 (8): 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>.
- Auta, H.S, C.U Emenike, and S.H Fauziah. 2017. "Distribution and Importance of Microplastics in the Marine environment A Review of the Sources, Fate, Effects, and Potential Solutions." *Environment International* 102: 165–76. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.02.013>.
- Barnes, David K.A., Francois Galgani, Richard C. Thompson, and Morton Barlaz. 2009. "Accumulation and Fragmentation of Plastic Debris in Global Environments." *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364 (1526): 1985–98. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>.
- Cheung, Pui Kwan, Lincoln Fok, Pui Lam Hung, and Lewis T.O. Cheung. 2018. "Spatio-Temporal Comparison of Neustonic Microplastic Density in Hong Kong Waters under the Influence of the Pearl River Estuary." *Science of the Total Environment* 628–629: 731–39. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.338>.
- Cheung, Pui Kwan, Lincoln Fok, Pui Lam Hung, Lewis T.O. Cheung, Zhenfei Dai, Haibo Zhang, Qian Zhou, et al. 2018. "Occurrence of Microplastics in the Water Column and Sediment in an Inland Sea Affected by Intensive Anthropogenic Activities." *Science of the Total Environment* 650 (July): 1557–65. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.08.001>.
- Cózar, Andrés, Marina Sanz-Martín, Elisa Martí, J. Ignacio González-Gordillo, Bárbara Ubeda, José A. Gálvez, Xabier Irigoien, and Carlos M. Duarte. 2015. "Plastic Accumulation in the Mediterranean Sea." *Plos One* 10 (4): 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121762>.
- Dai, Zhenfei, Haibo Zhang, Qian Zhou, Yuan Tian, Tao Chen, Chen Tu, Chuancheng Fu, and Yongming Luo. 2018. "Occurrence of Microplastics in the Water Column and Sediment in an Inland Sea Affected by Intensive Anthropogenic Activities." *Environmental Pollution* 242: 1557–65. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.131>.
- Derraik, Jose G. B. 2002. "The Pollution of the Marine Environment by Plastic Debris: A Review." *Marine Pollution Bulletin* 44: 842–52.
- Eriksen, Marcus, Laurent C.M. Lebreton, Henry S. Carson, Martin Thiel, Charles J. Moore, Jose C. Borerro, Francois Galgani, Peter G. Ryan, and Julia Reisser. 2014. "Plastic Pollution in the

- World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea." *Plos One* 9 (12): 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>.
- Eriksen, Marcus, Martin Thiel, and Laurent Lebreton. 2016. "Nature of Plastic Marine Pollution in the Subtropical Gyres." *Marine Environmental Research*, 1–28. <https://doi.org/10.1007/698>.
- Gall, S. C., and R. C. Thompson. 2015. "The Impact of Debris on Marine Life." *Marine Pollution Bulletin* 92 (1–2): 170–79. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.041>.
- GESAMP. 2015. "Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: A Global Assessment." *International Maritime Organization* 90: 96.
- Graco, Michelle, Jesús Ledesma, Georgina Flores, Margarita Girón, Ruth Calienes, Oscar Guillén, and Nelson Lostaunau. 2007. "Nutrients, Oxygen and Biogeochemical Processes in the Humboldt Upwelling Current System off Peru." *Rev. Peru. Biol* 14 (August): 117–28. <https://doi.org/10.1029/2009JC005710>.
- Hengstmann, Elena, Dennis Gräwe, Matthias Tamminga, and Elke Kerstin Fischer. 2017. "Marine Litter Abundance and Distribution on Beaches on the Isle of Rügen Considering the Influence of Exposition, Morphology and Recreational Activities." *Marine Pollution Bulletin* 115 (1–2): 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.026>.
- Jambeck, Jenna R., Roland Geyer, Chris Wilcox, Theodore R. Siegler, Miriam Perryman, Anthony Andrady, Ramani Narayan, and Kara Lavender Law. 2015. "Plastic Waste Inputs from Land into the Ocean." *Marine Pollution Bulletin* 347 (6223): 1655–1732. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415386.010>.
- Kanhai, La Daana K., Rick Officer, Olga Lyashevskaya, Richard C. Thompson, and Ian O'Connor. 2017. "Microplastic Abundance, Distribution and Composition along a Latitudinal Gradient in the Atlantic Ocean." *Marine Pollution Bulletin* 115 (1–2): 307–14. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.025>.
- Kim, In Sung, Doo Hyeon Chae, Seung Kyu Kim, Soo Bong Choi, and Seung Bum Woo. 2015. "Factors Influencing the Spatial Variation of Microplastics on High-Tidal Coastal Beaches in Korea." *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 69 (3): 299–309. <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0155-6>.
- Law, Kara Lavender, Skye E. Morét-Ferguson, Deborah S. Goodwin, Erik R. Zettler, Emelia Deforce, Tobias Kukulka, and Giora Proskurowski. 2014. "Distribution of Surface Plastic Debris in the Eastern Pacific Ocean from an 11-Year Data Set." *Environmental Science and Technology* 48 (9): 4732–38. <https://doi.org/10.1021/es4053076>.
- Law, Kara Lavender, Skye Morét-Ferguson, Nikolai A. Maximenko, Giora Proskurowski, Emily E. Peacock, Jan Hafner, and Christopher M. Reddy. 2010. "Plastic Accumulation in the North." *Science* 329 (September): 1185–88. <https://doi.org/10.1126/science.1192321>.
- Lares, M., Ncibi, M.C., Sillanpa, M., Sillanpa, M., 2018. Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. *Water Res.* 133, 236e246.
- Lebreton, Laurent C.M., Joost Van Der Zwet, Jan Willem Damsteeg, Boyan Slat, Anthony Andrady, and Julia Reisser. 2017. "River Plastic Emissions to the World's Oceans." *Nature Communications* 8: 1–10. <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>.

- Lee, Jongmyoung, Jong Su Lee, Yong Chang Jang, Su Yeon Hong, Won Joon Shim, Young Kyung Song, Sang Hee Hong, et al. 2015. "Distribution and Size Relationships of Plastic Marine Debris on Beaches in South Korea." *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 69 (3): 288–98. <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0208-x>.
- Luo, Wenya, Lei Su, Nicholas J Craig, Fangni Du, Chengxi Wu, and Huahong Shi. 2019. "Comparison of Microplastic Pollution in Different Water Bodies from Urban Creeks to Coastal Waters." *Environmental Pollution* 246: 174–82. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.081>.
- Marín, Víctor H., Luisa E. Delgado, and Guillermo Luna-Jorquera. 2003. "S-Chlorophyll Squirts at 30°S off the Chilean Coast (Eastern South Pacific): Feature-Tracking Analysis." *Journal of Geophysical Research: Oceans* 108 (12): 1–6. <https://doi.org/10.1029/2003jc001935>.
- Moore, Charles J, S. L Moore, M. k Leecaster, and S. B Weisberg. 2001. "A Comparison of Plastic and Plankton in the North Pacific Central Gyre." *Marine Pollution Bulletin* 42 (12): 1297–1300. <https://doi.org/10.1155/2014/758679>.
- Pruter, A. T. 1987. "Sources, Quantities and Distribution of Persistent Plastics in the Marine Environment." *Marine Pollution Bulletin* 18 (6 SUPPL. B): 305–10. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(87\)80016-4](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(87)80016-4).
- Ruiz-Orejón, Luis F., Rafael Sardá, and Juan Ramis-Pujol. 2016. "Floating Plastic Debris in the Central and Western Mediterranean Sea." *Marine Environmental Research* 120: 136–44. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.08.001>.
- Thiel, M., E.C. Macaya, E. Acuña, W.E. Arntz, H. Bastias, K. Brokordt, P.A. Camus, et al. 2007. "The Humboldt Current System of Northern and Central Chile - Oceanographic Processes, Ecological Interactions and Socioeconomic Feedback." *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 45: 195–344. <https://doi.org/10.1091/mbc.E04-05-0427>.
- Zeri, C., P. Tutman, J. Siljic, A. Kržan, C. Mazziotti, M. Mandic, M. Kovač Viršek, et al. 2018. "Floating Plastics in Adriatic Waters (Mediterranean Sea): From the Macro- to the Micro-Scale." *Marine Pollution Bulletin* 136 (July): 341–50. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.09.016>.