

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA



Caracterización, abundancia y distribución de microplásticos en tres
playas arenosas del Balneario de Ancón, Bahía Blanca y Agua
Dulce, Lima-Perú

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES

Diana Beatriz de la Cruz Espinoza
Estrella Yolita de la Cruz Nolasco

ASESORA

Mabel Teodora Borda Olivas

Lima, Perú

2022

METADATOS COMPLEMENTARIOS**Datos de los Autores****Autor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 3

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 4

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos de los Asesores**Asesor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Asesor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Datos del Jurado

Presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la Obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

***Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**



FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 012 - 2023/UCSS/FIA/DI

Siendo las 11:00 a.m. del día 10 de marzo de 2023, a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|---------------------------------|-----------------|
| 1. Mario Antonio Anaya Raymundo | presidente |
| 2. Juan José Monroy Ramos | primer miembro |
| 3. Kenneth Silva Cajaleón | segundo miembro |
| 4. Mabel Teodora Borda Olivas | asesora |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada **Caracterización, abundancia y distribución de microplásticos en tres playas arenosas del Balneario de Ancón, Bahía Blanca y Agua Dulce, Lima-Perú** que presentan las bachilleres en Ciencias Ambientales, **Diana Beatriz de la Cruz Espinoza y Estrella Yolita de la Cruz Nolasco**, cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el Jurado acuerda:

APROBAR

DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **MUY BUENA** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

Lima, 10 de marzo de 2023.

Mario Antonio Anaya Raymundo
PRESIDENTE

Juan José Monroy Ramos
1° MIEMBRO

Kenneth Silva Cajaleón
2° MIEMBRO

Mabel Teodora Borda Olivas
ASESORA

Anexo 2**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO**

Ciudad, Lima de 05 de octubre de 2023

Señor(a),
Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ingeniería Agraria - UCSS

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis**, bajo mi asesoría, con título: Caracterización, abundancia y distribución de microplásticos en tres playas arenosas del Balneario de Ancón, Bahía Blanca y Agua Dulce, Lima-Perú, presentado por Diana Beatriz de la Cruz Espinoza con código de estudiante 2015101722 y DNI 75534956; y Estrella Yolita de la Cruz Nolasco, con código de estudiante 2015101815 y DNI 70161118. para optar **el título profesional** de Ingeniero Ambiental ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 0 %** (poner el valor del porcentaje)*. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y **adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin**, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Mabel Teodora Borda Olivas', is written over a horizontal line.

Firma del Asesor (a)
Mabel Teodora Borda Olivas
DNI N°: 08149714
ORCID: 0009-0009-8422-1954
Facultad de Ingeniería Agraria
UCSS

(*) De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, **será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.**

DEDICATORIA

A mis padres, Raúl de la Cruz y Luisa Espinoza, por su amor incondicional, su gran apoyo en cada una de mis decisiones y por ser mis grandes motivadores en mi formación profesional.

A mi hermana, Pamella de la Cruz, por su compañerismo y empatía a lo largo de mis años de estudio, a mi familia en general por su incondicional apoyo, y a todas las personas especiales que estuvieron presentes en todo el proceso.

Diana Beatriz de la Cruz Espinoza

A mi abuela y mi mamá, Justa Trinidad y Yolanda Nolasco, por apoyarme y acompañarme a lo largo de mi formación profesional y personal, por ser aquellas personas que me brindaron fortaleza en circunstancias más difíciles.

A mi hermana y mis tíos, Annie de la Cruz, Herminia Nolasco e Ignacio Nolasco, por sus buenos consejos los cuales me sirvieron para salir adelante en mi vida universitaria.

Estrella Yolita de la Cruz Nolasco

AGRADECIMIENTOS

A Dios padre, por darnos salud y permitirnos salir adelante en momentos difíciles a causa de la pandemia.

A la Universidad Católica Sedes Sapientiae, nuestra alma mater, por acogernos y brindarnos las herramientas necesarias para nuestro desarrollo profesional y espiritual a lo largo de nuestros cinco años de estudio en el programa de estudio de Ingeniería Ambiental.

Al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (PRONABEC), por habernos brindado la oportunidad de continuar nuestros estudios superiores a través del programa Beca 18.

A la Ing. Mabel Teodora Borda Olivas por su gran apoyo, paciencia y entendimiento como asesora de tesis.

A nuestros profesores por su compañía, motivación y enseñanzas; asimismo, a nuestros compañeros y amigos por su presencia en nuestra vida universitaria.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.1.1. Antecedentes internacionales.....	4
1.1.2. Antecedentes nacionales.....	12
1.2. Bases teóricas especializadas.....	14
1.2.1. Microplásticos (MPs).....	14
1.2.2. Características generales de microplásticos.....	15
1.2.3. Caracterización de microplásticas.....	16
1.2.4. Criterios de caracterización física de microplásticos.....	16
1.2.5. Criterios de caracterización química de microplásticos.....	17
1.2.6. Abundancia de microplásticos.....	21
1.2.7. Distribución de microplásticos.....	21
1.2.8. Métodos para la identificación física microplásticos.....	22
1.2.9. Métodos para la identificación química de microplásticos.....	24
1.2.10. Playas arenosas.....	25
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
2.1. Diseño de la investigación.....	26

2.2. Lugar y fecha.....	27
2.2.1. Playa Balneario de Ancón	29
2.2.2. Playa Bahía Blanca.....	29
2.2.3. Playa Agua Dulce	30
2.3. Población y muestra	31
2.3.1. Población	31
2.3.2. Muestra	31
2.4. Descripción de la investigación	32
2.4.1. Fase preliminar	34
2.4.2. Fase de campo	35
2.4.3. Fase de laboratorio	40
2.4.4. Fase de gabinete	43
2.5. Identificación de variables y su mensuración	44
2.5.1. Microplásticos	45
2.6. Análisis estadístico de datos	46
2.7. Materiales y equipos	47
CAPÍTULO III: RESULTADOS	48
3.1. Características físicas	48
3.1.1. Tamaño de partículas microplásticas	49
3.1.2. Forma de partículas microplásticas	58
3.1.3. Color de partículas microplásticas	67
3.1.4. Peso de partículas microplásticas	76
3.2. Características químicas.....	78
3.2.1. Polímero predominante por playa evaluada	78
3.2.2. Polímero predominante	84
3.3. Abundancia de microplásticos en las tres playas arenosas de Lima y Callao.....	85
3.3.1. Abundancia total para las tres playas evaluadas.....	85

3.3.2. Abundancia media para las tres playas evaluadas	86
3.4. Mapas de distribución de los microplásticos en las tres playas arenosas de Lima y Callao.....	86
3.4.1. Tamaño de partículas.....	87
3.4.2. Forma de partículas	91
3.4.3. Color de partículas.....	95
3.4.4. Polímeros predominantes	98
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES	102
4.1. Características físicas de microplásticos.....	102
4.1.1. Tamaño de partículas microplásticas.....	102
4.1.2. Forma de partículas microplásticas	103
4.1.3. Color de partículas microplásticas.....	104
4.1.4. Peso de partículas microplásticas	104
4.2. Características químicas de microplásticos.....	104
4.3. Abundancia de microplásticos	106
4.4. Distribución de los microplásticos	106
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	108
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	110
REFERENCIAS	112
TERMINOLOGÍA	119
APÉNDICES	122

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Descripción de las 3 playas arenosas de Lima y Callao</i>	27
Tabla 2. <i>Distribución de la muestra</i>	32
Tabla 3. <i>VARIABLES de la investigación</i>	44
Tabla 4. <i>Categorías de tamaño expresados en g/kg en el primer mes de estudio</i>	56
Tabla 5. <i>Categorías de tamaño expresados en g/kg en el segundo mes de estudio</i>	57
Tabla 6. <i>Categorías de forma expresados en g/kg en el primer mes de estudio</i>	65
Tabla 7. <i>Categorías de forma expresados en g/kg en el segundo mes de estudio</i>	66
Tabla 8. <i>Categoría de color expresados en g/kg en el primer mes de estudio</i>	73
Tabla 9. <i>Categorías de color expresados en g/kg en el segundo mes de estudio</i>	74
Tabla 10. <i>Colores de las categorías de colores en el primer mes de estudio</i>	75
Tabla 11. <i>Colores de las categorías de colores en el segundo mes de estudio</i>	76
Tabla 12. <i>Peso de partículas MPs obtenidas en los meses de estudio</i>	78
Tabla 13. <i>Número de partículas con características físicas iguales</i>	79
Tabla 14. <i>Número de partículas con características físicas iguales</i>	81
Tabla 15. <i>Número de partículas con características físicas iguales</i>	83
Tabla 16. <i>Abundancia media en las tres playas evaluadas</i>	86

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Firma espectral del polietileno de alta densidad	18
<i>Figura 2.</i> Firma espectral del polietileno de baja densidad	18
<i>Figura 3.</i> Firma espectral del poliestireno.....	19
<i>Figura 4.</i> Firma espectral del polipropileno	19
<i>Figura 5.</i> Firma espectral del cloruro de polivinilo.....	20
<i>Figura 6.</i> Firma espectral del tereftalato de polietileno.....	21
<i>Figura 7.</i> Tipo de sustrato de las 3 playas de Lima y Callao período 2013.....	27
<i>Figura 8.</i> Tipo de sustrato de las 3 playas de Lima y Callao período 2013.....	28
<i>Figura 9.</i> Ubicación de las áreas de estudio	28
<i>Figura 10.</i> Ubicación del Balneario de Ancón- Distrito de Ancón	29
<i>Figura 11.</i> Ubicación de la playa Bahía Blanca- Distrito de Ventanilla	30
<i>Figura 12.</i> Ubicación de la playa Agua Dulce- Distrito de Chorrillos.....	31
<i>Figura 13.</i> Estructura metodológica de la investigación	33
<i>Figura 14.</i> Ubicación de las estaciones de muestreo y transectos.....	34
<i>Figura 15.</i> Recolección de muestras en el Balneario de Ancón.....	35
<i>Figura 16.</i> Recolección de muestras en la playa Bahía Blanca.....	36
<i>Figura 17.</i> Recolección de muestras en la playa Agua Dulce	36
<i>Figura 18.</i> Puntos de muestreo del Balneario de Ancón	37
<i>Figura 19.</i> Puntos de muestreo de playa Bahía Blanca	38
<i>Figura 20.</i> Puntos de muestreo de playa Agua Dulce	39
<i>Figura 21.</i> Cuantificación de tamaño de MPs	48
<i>Figura 22.</i> Valores obtenidos de categorías de tamaño en el primer mes de estudio.....	49
<i>Figura 23.</i> Valores obtenidos de categorías de tamaño en el segundo mes de estudio	50
<i>Figura 24.</i> Valores obtenidos de categorías de tamaño en el primer mes de estudio.....	51
<i>Figura 25.</i> Valores obtenidos de categorías de tamaño en el segundo mes de estudio	52
<i>Figura 26.</i> Valores obtenidos de categorías de tamaño en el primer mes de estudio.....	53
<i>Figura 27.</i> Valores obtenidos de categorías de tamaño en el segundo mes de estudio	54
<i>Figura 28.</i> Cuantificación de la categorías de formas de MPs.....	58
<i>Figura 29.</i> Valores obtenidos de categorías de forma en el primer mes de estudio.....	59
<i>Figura 30.</i> Valores obtenidos de categorías de forma en el segundo mes de estudio	60
<i>Figura 31.</i> Valores obtenidos de categorías de forma en el primer mes de estudio.....	61

<i>Figura 32.</i> Valores obtenidos de categorías de forma en el segundo mes de estudio	62
<i>Figura 33.</i> Valores obtenidos de categorías de forma en el primer mes de estudio	63
<i>Figura 34.</i> Valores obtenidos de categorías de forma en el segundo mes de estudio	64
<i>Figura 35.</i> Cuantificación de la categorías de color de MPs.....	67
<i>Figura 36.</i> Valores obtenidos de categorías de color en el primer mes de estudio	68
<i>Figura 37.</i> Valores obtenidos de categorías de color en el segundo mes de estudio.....	69
<i>Figura 38.</i> Valores obtenidos de categorías de color en el primer mes de estudio	70
<i>Figura 39.</i> Valores obtenidos de categorías de forma en el segundo mes de estudio	71
<i>Figura 40.</i> Valores obtenidos de categorías de forma en el primer mes de estudio	72
<i>Figura 41.</i> Valores obtenidos de categorías de forma en el segundo mes de estudio	72
<i>Figura 42.</i> Pesado de partículas de MPs.....	77
<i>Figura 43.</i> Partícula de MPs color blanco analizada	79
<i>Figura 44.</i> Espectro infrarrojo de la partícula de MPs color blanco analizada	80
<i>Figura 45.</i> Espectro infrarrojo de partícula de polipropileno (PP).....	80
<i>Figura 46.</i> Partícula de MPs color azul analizada	81
<i>Figura 47.</i> Espectro infrarrojo de la partícula de MPs color azul analizada	82
<i>Figura 48.</i> Espectro infrarrojo de partícula de polietileno (PE).....	82
<i>Figura 49.</i> Partícula de MPs color rojo analizada	83
<i>Figura 50.</i> Espectro infrarrojo de la partícula de MPs color rojo analizada	83
<i>Figura 51.</i> Espectro infrarrojo de partícula de polietileno (PE).....	84
<i>Figura 52.</i> Número de tipo de polímeros obtenidos del análisis FTIR-ATR.....	84
<i>Figura 53.</i> Abundancia total por las tres playas evaluadas	85
<i>Figura 54.</i> Distribución de microplásticos según tamaño en el Balneario de Ancón	88
<i>Figura 55.</i> Distribución de microplásticos según tamaño en la playa Bahía Blanca	89
<i>Figura 56.</i> Distribución de microplásticos según tamaño en la playa Agua Dulce.....	90
<i>Figura 57.</i> Distribución de microplásticos según forma en el Balneario de Ancón.....	92
<i>Figura 58.</i> Distribución de microplásticos según forma en Bahía Blanca	93
<i>Figura 59.</i> Distribución de microplásticos según forma en playa Agua Dulce.....	94
<i>Figura 60.</i> Distribución de microplásticos según color en Balneario de Ancón	95
<i>Figura 61.</i> Distribución de microplásticos según color en Bahía Blanca	96
<i>Figura 62.</i> Distribución de microplásticos según color en playa Agua Dulce	97
<i>Figura 63.</i> Distribución de MPs según el tipo de polímero en el Balneario de Ancón.....	99
<i>Figura 64.</i> Distribución de MPs según el tipo de polímero en la playa Bahía Blanca.....	100
<i>Figura 65.</i> Distribución de MPs según el tipo de polímero en la playa Agua Dulce	101

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Coordenadas de los puntos de muestreo en las tres playas de muestreo	122
Apéndice 2. Situación ambiental en Balneario de Ancón, primer mes de estudio	123
Apéndice 3. Situación ambiental en Balneario de Ancón, segundo mes de estudio	124
Apéndice 4. Situación ambiental en playa Bahía Blanca, primer mes de estudio	124
Apéndice 5. Situación ambiental en playa Bahía Blanca, segundo mes de estudio	125
Apéndice 6. Situación ambiental en playa Agua Dulce, segundo mes de estudio	126
Apéndice 7. Situación ambiental en playa Agua Dulce, segundo mes de estudio	126
Apéndice 8. Metodología de la identificación física y química de microplásticos	127
Apéndice 9. Colores de los círculos por categoría de características físicas y químicas.	128
Apéndice 10. Rango de concentración de MPs por cada categoría	128
Apéndice 11. Diámetros de los círculos para cada rango de concentración de MPs.....	129
Apéndice 12. Toma de muestras de sedimento en Balneario de Ancón	129
Apéndice 13. Toma de muestras de sedimento en playa Bahía Blanca.....	130
Apéndice 14. Toma de muestras de sedimento en playa Agua Dulce	131
Apéndice 15. Muestras de sedimento en laboratorio	131
Apéndice 16. Cuarteo de las muestras de sedimento	132
Apéndice 17. Preparación de las muestras para el secado	133
Apéndice 18. Secado de las muestras de sedimento	133
Apéndice 19. Muestras de sedimento seco	134
Apéndice 20. Muestras de sedimento seco preparadas para el tamizado	134
Apéndice 21. Flotación por densidad	135
Apéndice 22. Filtrado de las muestras	135
Apéndice 23. Destrucción de la materia orgánica de las muestras	136
Apéndice 24. Identificación de las categorías de color de las muestras	137
Apéndice 25. Identificación de las categorías de tamaño y forma de las muestras	138

Apéndice 26. Pesado de las muestras	139
Apéndice 27. Identificación microscópica de las muestras	140
Apéndice 28. Informe técnico del polímero abundante de Balneario de Ancón	141
Apéndice 29. Informe técnico del polímero abundante de playa Bahía Blanca	143
Apéndice 30. Informe técnico del polímero abundante de playa Agua Dulce	145
Apéndice 31. Protocolo propuesto en la investigación para la recolección de microplásticos.....	148

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal determinar las características, abundancia y distribución de microplásticos presentes en las playas arenosas del Balneario de Ancón, Bahía Blanca y Agua dulce, en las regiones de Lima y Callao. La metodología consistió en recolectar muestras en cuatro estaciones de muestreo en cada playa evaluada; posteriormente, fueron llevadas al laboratorio para el secado, tamizado, flotación por densidad, filtrado y destrucción de la materia orgánica. Culminado el procedimiento, la identificación física de los microplásticos fue realizada según tamaño, forma, color y peso; para la identificación química, las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Investigación y Certificaciones (LABICER) de la Universidad Nacional de Ingeniería mediante Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier-Reflectancia Total Atenuada (FTIR-ATR). De acuerdo a los resultados obtenidos para el tamaño, la categoría 1-2 mm obtuvo la mayor presencia; según la forma, las categorías con mayor presencia fueron irregulares y fibras; según el color, las categorías con mayor predominancia fueron el azul, rojo y blanco; y según el peso, la playa Bahía Blanca obtuvo mayor peso con 7,72 g/kg de sedimento seco. En cuanto a la identificación química, los polímeros más predominantes fueron el polipropileno (PP) y el polietileno (PE). La playa con mayor concentración de microplásticos fue Bahía Blanca con 324 partículas por kg de sedimento seco. En cuanto a distribución, el Balneario de Ancón obtuvo una distribución uniforme de microplásticos; en Bahía Blanca, las estaciones de muestreo 1 y 2 presentaron una distribución uniforme mientras que en las estaciones de muestreo 3 y 4 fue variada; y playa Agua Dulce, tuvo una distribución uniforme. Las conclusiones indicaron que las actividades antrópicas como la pesca artesanal y actividades recreativas podrían influir en la presencia y distribución de microplásticos en las playas evaluadas.

Palabras claves: Microplásticos, identificación física, identificación química, abundancia, distribución.

ABSTRACT

The main objective of this research was to determine the characteristics, abundance and distribution of microplastics present in the sandy beaches of the Balneario de Ancon, Bahía Blanca and Agua Dulce, in the Lima and Callao regions. The methodology consisted of collecting samples at four sampling stations on each evaluated beach; subsequently, they were taken to the laboratory for drying, sieving, density flotation, filtering and destruction of organic matter. At the end of the procedure, the physical identification of microplastics was carried out according to size, shape, color and weight; for chemical identification, the samples were analyzed at the Research and Certification Laboratory (LABICER) of the National Engineering University using Fourier Transform Infrared Spectroscopy-Attenuated Total Reflectance (FTIR-ATR). According to the results obtained for the size, the 1-2 mm category had the greatest presence; according to shape, the categories with the greatest presence were irregular and fibers; according to color, the categories with the greatest predominance were blue, red and white; and according to weight, Bahía Blanca beach had the greatest weight with 7,72 g/kg of dry sediment. In terms of chemical identification, the most predominant polymers were Polypropylene (PP) and Polyethylene (PE). The beach with the highest concentration of microplastics was Bahía Blanca with 324 particles/kg of dry sediment. In terms of distribution, Balneario de Ancón had a uniform distribution of microplastics; in Bahía Blanca, sampling stations 1 and 2 had a uniform distribution while sampling stations 3 and 4 had a varied distribution; and Agua Dulce had a uniform distribution. The conclusions indicated that anthropogenic activities such as artisanal fishing and recreational activities could influence the presence and distribution of microplastics on the beaches evaluated.

Key words: Microplastics, physical identification, chemical identification, abundance, distribution.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el Perú muestra cifras preocupantes referentes al uso de plásticos con un promedio de 30 kg por habitante al año. Ello representa una cantidad aproximada de 3 000 000 000 de bolsas plásticas al año, generando una producción diaria de 20 000 t de residuos sólidos, de los que solo el 0,3 % es reciclado, 56 % son dispuestos en rellenos sanitarios y 43,7 % se desecha en el ambiente (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2020).

En Lima Metropolitana y Callao se genera al día cerca de 866 t de residuos plásticos (MINAM, 2020), la alta emisión de plásticos al ambiente se debe a la inadecuada disposición de estos, como el vertimiento de residuos al río o mar. De ello, se desprende una problemática mayor como los microplásticos, los cuales son partículas plásticas de un tamaño cerca de 5 mm originados de los residuos plásticos mayores mediante procesos físicos y/o químicos tales como la abrasión por viento, radiación solar, entre otros (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO], 2019).

Según Cole *et al.* (2011), los microplásticos presentan dos categorías, las primarias y las secundarias; las primarias, son aquellas partículas plásticas producidas con fines industriales como microesferas en la industria cosmética; los secundarios, provienen de la abrasión, meteorización mecánica y fragmentación de plásticos de mayor tamaño. Ciertas características de los microplásticos como su pequeño tamaño y su peso ligero, posibilitan que se transporten con facilidad de un lugar a otro, es por ello que muchos de los estudios realizados en el mundo confirman la presencia de microplásticos en diferentes medios físicos y ecosistemas, especialmente en ambientes marinos (Woodall *et al.*, 2014), asimismo, el reciente estudio realizado por Leslie *et al.* (2022) confirma la presencia de microplásticos en sangre humana haciendo más alarmante aún su distribución y fácil transporte.

En Perú, muchos de los estudios realizados han confirmado la presencia de microplásticos en ambientes marinos (Purca y Henostroza, 2017; De la Torre *et al.*, 2020), especialmente

en las playas de arena, al ser muy frecuentadas debido a las diferentes actividades antrópicas que se realizan en ellas tales como expendio de productos, deportes acuáticos, pesca artesanal, entre otros. En consecuencia, las playas de Lima y Callao estarían convirtiéndose en ambientes de acumulación de residuos plásticos y microplásticos, situación agravada por las actividades antrópicas como las pesqueras y recreativas ya que no existe una total gestión adecuada de los residuos sólidos en estas actividades, además de la falta de cultura ambiental como parte de la formación del ciudadano (MINAM, 2020). Algunas de estas playas serían la playa de Ancón ubicada en el balneario de Ancón (Lima), la playa Bahía Blanca (Ventanilla) y la playa Agua Dulce (Chorrillos).

En cuanto al balneario de Ancón, al problema de contaminación por actividades turísticas se suman las actividades de pesca artesanal, siendo la actividad con mayor importancia en la zona después de la actividad turística (Austermühle, 2010); además, la zona se encuentra gravemente afectada por aquellos residuos plásticos que son provenientes de los desechos de personas que residen en los alrededores. Asimismo, la playa Bahía Blanca está siendo afectada por contaminación de residuos plásticos mediante la acumulación de los mismos en zonas cercanas a la orilla de la playa de acuerdo a lo mencionado en el Informe de Zonificación Oceanográfica del Gobierno Regional del Callao (2013) y la sugerencia sobre la realización de planes de desarrollo turístico marítimo para esta zona. Por último, en la playa Agua Dulce, además de la proliferación de materiales plásticos provenientes de envases y descartables, se visualiza la presencia de barcos dedicados a la pesca artesanal, actividad que aumenta notoriamente residuos plásticos, incrementando el problema de contaminación que no solo está afectando a las especies tan variadas que posee el mar de esta zona sino también a la población que consume estos productos (Shafazamilla *et al.* (2019)).

Por consiguiente, la presente investigación propone el estudio de los microplásticos en las tres playas de Lima y Callao, en base a su caracterización, abundancia y distribución con la finalidad de obtener resultados que sirvan como información base para posteriores estudios relacionados al tema y en la toma decisiones para el manejo y la gestión racional de los residuos sólidos, principalmente en lo relacionado con la presencia de los plásticos en playas de las zonas de análisis.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar las características, abundancia y distribución de los microplásticos presentes en las playas arenosas del Balneario de Ancón, Bahía Blanca y Agua Dulce, en las regiones de Lima y Callao.

Objetivos específicos

- Determinar las características físicas de los microplásticos en las tres playas arenosas de las provincias de Lima y Callao.
- Identificar los tipos de polímeros de microplásticos en las tres playas arenosas de las provincias de Lima y Callao.
- Determinar la abundancia de los microplásticos en las tres playas arenosas de las provincias de Lima y Callao.
- Elaborar mapas de distribución de microplásticos en las tres playas arenosas de las provincias de Lima y Callao.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. Antecedentes internacionales

Rey *et al.* (2021) estudiaron “las densidades de microplásticos en seis playas arenosas de Oahu, Hawái” (p.1). Las playas evaluadas fueron seleccionadas debido a las características favorables que tenían para la investigación tales como la pendiente, los granos de arena (gruesas y finas) y arrecifes que facilitaron el muestreo de los microplásticos. La metodología consistió en muestrear transectos de 45 m en cada playa y nueve cuadrantes de 0,3 m² a lo largo de cada transecto. Las muestras fueron obtenidas de 2 cm de profundidad de cada cuadrante, estas pasaron por el proceso de tamizado con el uso de malla con medidas de 5 mm y de 500 µm, terminado el muestreo en campo, las muestras fueron analizadas en laboratorio. La identificación visual fue realizada mediante la inspección a través de un estereomicroscopio de 20x y 40x considerando el color, forma y textura. Asimismo, emplearon el análisis de varianza (ANOVA) en el software estadístico entorno R para determinar ciertas diferencias en la densidad de las partículas plásticas y las diferencias de distribución de clase de tamaño de microplásticos. Los resultados indicaron correlación entre la densidad de microplásticos y la proporción de granos de arena gruesa mediante el coeficiente de correlación de Pearson, obteniendo densidades más altas en playas con arena más gruesa con un total de 700 a 1700 partículas por m². El estudio concluyó que las tormentas fueron la causa primordial en el aumento de la concentración de los desechos microplásticos en alta mar como en playas, asimismo los tipos de microplásticos con mayor presencia fueron los fragmentos.

Schröder *et al.* (2021) evaluaron “la abundancia de microplásticos en sedimentos de tres zonas en el Mar Báltico Occidental” (p.1), al norte de Alemania, donde las zonas fueron

elegidas debido a la frecuente interacción con los visitantes, la cercanía a una planta de alcantarillado y al nivel de contaminación de basura plástica de gran tamaño. La metodología empleada consistió en muestrear cuadrantes de 0,4 m² con una profundidad de 4 a 6 cm, cuyas muestras fueron tamizadas en el mismo lugar por un tamiz de 0,0063 mm. Seguido de tal procedimiento, las muestras fueron llevadas a laboratorio para la separación por densidad mediante cloruro de calcio (CaCl₂) y posterior filtrado. Después de la preparación de las muestras, estas fueron inspeccionadas con un microscopio estereoscópico con aumento de 6 a 50 veces obteniendo un total de 180 fragmentos microplásticos, el 39 % de ellos fueron analizados mediante espectroscopía Raman. Los resultados indicaron para las zonas de alcantarillado y de interacción con visitantes un total de 1,8 y 4,5 partículas por kg de sedimento seco, respectivamente; mientras que la zona de acumulación de residuos alcanzó un total de 30,2 partículas por kg de sedimento seco. La investigación concluyó que la fragmentación de grandes desechos tuvo gran influencia como fuente relevante de microplásticos en sedimentos de las playas de Mar Báltico Occidental.

Urban-Malinga *et al.* (2020) realizaron una investigación sobre "microplásticos en las playas arenosas del sur del Mar Báltico" (p.1) con la finalidad de especificar la existencia y composición en las 12 playas del sur del mar Báltico en Polonia. Para tal propósito, la metodología consistió en el muestreo de transectos de 15 cm² con el apoyo de una cuchara de metal. Fueron recolectadas tres muestras repetidas en cada punto de muestreo seleccionado a una profundidad de 5 cm para después colocarlas en envases de vidrio y ser trasladadas a laboratorio; las muestras fueron tratadas con NaCl por ser una de las sales más económicas y ecológicamente usadas en la separación de partículas por densidad. La identificación de los polímeros microplásticos fue ejecutada mediante el método de microscopía infrarroja y fueron utilizados estadísticos como la prueba SIMPROF y ANOSIM para validar los resultados en el software STATISTICA. Después del análisis, determinaron que las concentraciones medias de microplásticos variaron entre 76 y 295 artículos por kg de sedimento seco; además, fueron encontrados cuatro tipos de microplásticos tales como fibras, fragmentos, gránulos y films, cabe mencionar que las categorías con mayor predominancia fueron fibras y fragmentos; en cuanto a la composición polimérica, quedó demostrada la presencia significativa con un total del 91 % de polipropileno (PP), polietileno (PE) y poliestireno (PS); asimismo, la prueba ANOSIM

con un nivel de significancia de 0,05, mostró contrastes diferentes en las concentraciones promedio. Concluyeron que la diferencia de concentraciones pudo deberse a las diferencias de densidad poblacional e infraestructura costera en cada una de las zonas evaluadas.

Vidyasakar *et al.* (2020) en el estudio “Caracterización y distribución de microplásticos y desechos plásticos a lo largo de Silver Beach, en el sur de la India” (p.1) evaluaron el estado de contaminación por microplásticos en Silver Beach, sur de India. La metodología consistió en identificación de 28 zonas de muestreo, cuyas muestras representativas tuvieron una profundidad de 3 cm. Tales muestras fueron trasladadas a laboratorio en donde contaron con los protocolos de prevención para evitar la contaminación. Las muestras recolectadas fueron secadas a la intemperie y tamizadas para posteriormente ser filtradas y separadas por densidad a fin de eliminar componentes no plásticos como materiales orgánicos (usaron H_2O_2) y carbonatos (usaron HCl); las características físicas fueron identificadas con un microscopio con zoom estéreo binocular, y la composición polimérica lo identificaron utilizando el método FT-IR y ATR. Realizaron pruebas de varianza unidireccional (ANOVA) y análisis jerárquico de conglomerados (HCA) para analizar los resultados obtenidos. Posteriormente al análisis, encontraron que los plásticos de color blanco (44 %) prevalecieron en el área de estudio, los polímeros con mayor prevalencia fueron el cloruro de polivinilo (79 %), polietileno (44 %) y nylon (7 %); asimismo, los mesoplásticos estuvieron ampliamente distribuidos en los sedimentos de playa (65 %). Concluyeron que el turismo y las actividades pesqueras pudieron ser fuentes regionales de desechos plásticos en las zonas estudiadas.

Dodson *et al.* (2019) observaron la "contaminación por fragmentos de microplásticos y fibras de sedimentos de playas de lugares seleccionados de Virginia y Carolina del Norte, EE.UU." (p.1) con la finalidad de estudiar la existencia de partículas microplásticas en playas de Virginia y Carolina del Norte, Estados Unidos. La metodología consistió en establecer cuatro zonas de estudio en los que los autores colocaron transectos para recoger un total de 17 núcleos de sedimentos con la ayuda de un forro de plástico de butirato insertado en un sacacorchos, la longitud de los transectos varió de acuerdo a las zonas de muestreo, obteniendo una longitud que oscilaba en Cape Hatteras National Seashore (CH) de 25,27 m, en Outer Banks (OB) de 32,62 m, en Back Bay National Wildlife Refuge (BB)

de 24,08 m. y en Fisherman Island (FI) de 55,20 m. Las muestras de sedimentos fueron preparadas, extraídas y analizadas en el laboratorio tomándose en cuenta la garantía control para la prevención de muestras; en cuanto a la preparación de las muestras, estas fueron debidamente instaladas en el laboratorio y las soluciones usadas fueron filtradas al vacío para ser utilizadas posteriormente en la extracción; de este modo, para la extracción fue utilizado una solución de cloruro de cesio (CsCl) y aceite de colza asegurando la efectividad de la extracción de los microplásticos. El análisis químico fue realizado mediante el método de la microscopía Raman a fin de indagar respecto al análisis microespectroscópico. El análisis estadístico fue realizado mediante ANOVA con un nivel de significancia de 0,05 y un solo factor en Microsoft Office Excel. Después del análisis, la concentración de microplásticos hallada y expresada en número de partículas por kg de sedimento seco, varió entre 1410 ± 810 partículas por kg de sedimento seco confirmando la presencia de microplásticos en todas las zonas evaluadas, encontrándose de manera global principalmente partículas plásticas de polipropileno (PP), polivinilfenileno (PVB), polietileno de etileno (PET), politetrafluoroetileno (PTFE), polietileno (PE), cloruro de polivinilo (PVC) y polietileno (PE); asimismo, hallaron presencia de dos tipos de formas de microplásticos clasificados como fragmentos y fibras. De acuerdo a las principales conclusiones, las zonas evaluadas presentaron cantidades significativas de partículas de microplásticos debido a que el transporte de corrientes de agua y la cercanía a áreas metropolitanas pudieron haber influenciado en dicha concentración.

Dowarah y Devipriya (2019) en la investigación "Prevalencia de microplásticos en las playas de Pudecherry, India y su correlación con las actividades recreativas de pesca y turismo India" (p.123) estudiaron la predominancia de microplásticos en los sedimentos de seis playas ubicadas en la costa de Papua Nueva Guinea y analizaron su correlación con las actividades de pesca y las actividades recreativas. El muestreo fue realizado en la marea alta y dependió de la extensión de las playas; colectaron seis muestras de la Universidad de Puducherry, Serenity, Veerampattinam y Paradise, recogieron otras cinco muestras de Auroville y Boomaiyarpalayam. Las muestras fueron recolectadas con una distancia aproximada de 150 m entre cada punto a fin de cubrir la mayor totalidad de la playa; en cada punto de muestro fue colocado un cuadrado de 25 cm x 25 cm, del que fue extraído 1 cm de la parte superior con una cuchara de acero inoxidable. Para la extracción de microplásticos en las submuestras utilizaron la solución saturada de NaCl. Realizaron las

pruebas de Kruskal-Wallis, prueba de Turkey y análisis de correlación de Pearson con un nivel de significancia de 0,05. Los resultados mostraron un promedio de $72,03 \pm 19,16$ micropartículas plásticas por gramo de sedimento seco en cuanto a la abundancia de microplásticos; además, el estudio comprobó la fuerte correlación positiva ($R=0,92$ de Pearson $p=0,0103$) de actividades pesqueras y la concentración de microplásticos y una débil correlación ($R=0,04$ de Pearson $p=0,932$) entre la abundancia de microplásticos y las actividades recreativas. En cuanto a la identificación de polímeros, mediante el método de la espectroscopia Raman fueron encontrados polímeros de poliuretano (PU), poliestireno (PS), polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE) polipropileno (PP), entre otros; en los intervalos de color de los microplásticos, el blanco fue el más abundante. Las conclusiones indicaron que en la costa de Papúa Nueva Guinea existe una contaminación por microplásticos; y sugirieron que las actividades pesqueras pudieron ser un factor determinante para la prevalencia de microplásticos en playas.

Shafazamilla *et al.* (2019) en el estudio "Abundancia de microplásticos en los sedimentos de las playas costeras de Badung, Bali" (p.73) analizaron y compararon la abundancia total de microplásticos entre las playas costeras de Badung, Bali. La metodología consistió en la elección de cinco playas costeras diferentes, la playa Doublesix, la playa Kuta, la playa Melasti, la playa Mengiat y la playa Tanjung Benoa. Los puntos de muestreo fueron determinados dividiendo uniformemente la longitud de la costa; con ello, las muestras fueron recolectadas tres veces en la playa en las zonas de marea baja y alta, ya que son zonas en las que abundan los microplásticos. Para el análisis en el laboratorio utilizaron agua oxigenada (H_2O_2) al 30 %, Fe (II) 0,05 M de NaCl. El análisis estadístico de la investigación fue realizado mediante el análisis ANOVA con un nivel de significancia de 0,05 de una vía para hallar diferencias. Los tipos de microplásticos encontrados en el estudio referido fueron films, fibra y fragmento, y las abundancias fueron variando entre playas, la fibra dominó todas las áreas de estudio en un promedio $42,8 \pm 24,1$ partículas por kg. Concluyeron que la playa Kuta mostró mayor presencia de partículas microplásticas con un promedio de $148,9 \pm 103,8$ partículas por kg, e indicaron que dicho resultado pudo deberse a lo famosa y concurrida que fue la mencionada playa para los turistas en la isla de Bali.

Villanova *et al.* (2018) realizaron una investigación titulada “Estudio de la abundancia de microplásticos en doce playas de la Isla Tenerife (Islas Canarias)” (p.103) con el objetivo de examinar la concentración de microplásticas en las playas de la isla Tenerife (Islas Canarias). La metodología consistió en muestrear diferentes transectos que fueron determinados en relación a la extensión de la marea, para la cual, la colección de muestras fue medida de 10 m de longitud y 1,60 m de ancho. Fueron evaluados de la siguiente manera: línea de bajamar (T1), transecto intermedio (T2) y línea de pleamar (T3). Después de ello, tales muestras fueron llevadas a un laboratorio para realizar el método de la decantación, por cada 450 g, agregaron un litro de agua durante 48 horas. Realizaron el análisis de varianza (ANOVA), el nivel de significancia fue del 0,05 mediante los datos obtenidos reflejaron que la mayor abundancia fue la playa los Gigantes; mientras que la playa La Tejita no presentó estas partículas. Asimismo, aquellas partículas microplásticas con mayor presencia fueron de tamaño 1 mm y el peso no excedió los 0,408 g. Por medio de los datos obtenidos, sugirieron que el estudio cuantitativo de microplásticos fue compleja a causa de diferentes factores, y concluyeron que las playas evaluadas presentan un bajo porcentaje de partículas microplásticas.

Cabrera (2018) llevó a cabo el estudio “Determinación de la presencia de microplásticos en playas de Tenerife” (p.1). La finalidad fue determinar la presencia de diferentes tipos de microplásticos en playas de la isla Tenerife, España. La metodología consistió en recolectar un total de nueve muestras de arena en la zona intermareal de la playa de Las Vistas (Arona, Tenerife) y un total de cinco muestras de arena en la zona supralitoral de la playa de La Tejita (Granadilla de Abona, Tenerife); en cada punto, el autor colocó un marco de 0,5 m² y recopiló la arena de la parte central y cada esquina con una profundidad de hasta 5 cm. Una vez obtenidas las muestras, estas fueron tamizadas en un tamiz de 5 mm logrando así la separación de los residuos plásticos, posteriormente separaron los plásticos de acuerdo a su densidad para cuantificar las microfibras. Los reactivos utilizados en el laboratorio fueron una disolución de Cloruro de Sodio (NaCl). Los datos fueron analizados y procesados mediante programas como Microsoft Office Excel (2016); finalmente, las fibras encontradas, expresadas en número de partículas fueron confirmadas mediante espectroscopia infrarroja, encontrándose los siguientes polímeros como el polipropileno (PP), polietileno (PE), tereftalato de polietileno (PET), cloruro de polivinilo (PVC) y poliestireno (PS). Concluyó que en la presencia de microplásticos, según el

tamaño con mayor abundancia fue el comprendido entre 0,5 y 5 mm, además confirmaron solo la presencia de fibras.

Changbo *et al.* (2018) realizaron una investigación titulada "Microplásticos en sedimentos y aguas superficiales de los lagos West Dongting y South Dongting: Abundancia, origen y composición" (p.15), cuya finalidad fue investigar los niveles de contaminación de microplásticos y las características de distribución, así como explicar las fuentes de distribución y la composición de microplásticos. La metodología consistió en seleccionar 14 sitios a orillas del lago y 22 sitios del centro del lago como sitios de muestreo; recolectaron muestras de agua superficial de 30 litros de 0-30 cm de profundidad mediante un muestreador de flujo grande y filtraron el agua recogida con un tamiz de acero inoxidable de 45 μm . Para el muestreo de sedimento usaron una pala de acero inoxidable recolectando muestras cinco veces en cada sitio de muestro a unos 5 m de distancia para luego mezclarlos, cubrirlos con papel aluminio y conservarlos en una caja de muestreo a 5 $^{\circ}\text{C}$ para evitar la contaminación durante el transporte. Las muestras de sedimento fueron tratadas con una solución de H_2O_2 al 30 % para eliminar los organismos visibles en las muestras; para la separación por densidad utilizaron una solución de cloruro de zinc con la finalidad de eliminar arenas y minerales. Evaluaron la calidad de las muestras mediante la observación con un estereomicroscopio, los valores obtenidos arrojaron que la abundancia de microplásticos oscilaron entre 616,67 a 2216,67 partículas por m^3 y 716,67 a 2316,67 partículas por m^3 a orillas del lago de West Dongting y South Dongting, respectivamente; además, informaron que la mayor concentración por microplásticos fueron en las zonas tales como las desembocaduras y en los sedimentos por polímeros como PS y el PET. Finalmente, sugirieron tener en cuenta los efectos de los tipos de polímeros en los microplásticos para la abundancia de las partículas microplásticas.

Fossi, *et al.* (2016) realizaron el estudio "Rorcuales y microplásticos: Los escenarios del Mar Mediterráneo y el Mar de Cortés" (p.68) y examinaron la interacción entre el *Balaenoptera physalus* "rorcual común" y los microplásticos comparando poblaciones que viven en dos cuencas semicerradas, el mar Mediterráneo y el mar de Cortez (Golfo de California, México). La metodología consistió en recolectar muestras de zooplancton, las cuales fueron recolectadas durante las horas del día y en condiciones de clima y mar

tranquilos; utilizaron una red Neuston (200 m de malla) equipado con un medidor de flujo para la medición de volumen de agua filtrada. Para la identificación física, observaron las partículas de plástico con un microscopio estereoscópico Leica Wild M10, para luego ser contadas y agrupadas en cinco categorías de tamaño: 0,2-0,5 mm, 0,5-1 mm, 1-2,5 mm, y 2,5-5 mm; posteriormente los autores normalizaron los datos al volumen total filtrado y expresado ítems/ m³. El análisis estadístico fue realizado mediante el análisis de conglomerados jerárquico y el análisis discriminante canónico de los factores. Finalmente, los resultados indicaron que existe abundancia de microplásticos y aditivos plásticos en las muestras del Santuario Pelagos del Mar Mediterráneo, asimismo en las áreas profundas presentan altas densidades de microplásticos afectando las zonas de alimentación de las ballenas que están expuestas a los microplásticos durante la búsqueda de alimento.

Pujol (2016) estudió “la concentración de microplásticos en las aguas superficiales de la costa de Garraf, cerca de Barcelona” (p.1). El objetivo principal fue determinar las características, abundancia y distribución espacial de las partículas microplásticas en la zona costera de Garraf. Recolectó 15 muestras utilizando una red de plancton de 60 cm de longitud; las muestras fueron analizadas con una lupa estereoscópica y caracterizadas físicamente (tamaño, color y forma). Las muestras obtenidas fueron analizadas mediante el programa R-studio y Microsoft Office Excel (2017). De acuerdo, a los datos obtenidos elaboró un mapa mediante un SIG en la cual visualizó la distribución de los microplásticos según su tamaño y el avistamiento de *Balaenoptera physalus* “rorcual común” en cuanto a la abundancia, obtuvo 514 partículas de las que, según el tamaño, la categoría con mayor presencia fueron aquellas partículas mayores a 2 mm, según la forma, las fibras presentaron mayor presencia y según el color, los colores con mayor predominancia fueron fríos como el azul o negro. La conclusión indicó que la presencia de microplásticos pudo representar un riesgo para la fauna marina a causa de la ingestión involuntaria de microplásticos por el *Balaenoptera physalus* “rorcual común”.

Álvarez *et al.* (2016) efectuaron la “separación y caracterización de microplásticos en playas mexicanas” (p.27) con el objetivo de coleccionar y clasificar plásticos encontrados en dos playas mexicanas, Playa Azul en Michoacán y Copalita en Oaxaca, evaluaron la presencia de microplásticos y los clasificaron. La metodología consistió en realizar el

muestreo en alta mar con una distancia de aproximadamente 100 m. Para la posible separación realizaron pruebas de flotación con soluciones como el yoduro de sodio y alcohol etílico entre las principales sustancias preparadas basándose en la densidad de cada tipo de plásticos ya conocidos como tereftalato de polietileno (PET), cloruro de polivinilo (PVC), polipropileno (PP) y poliestireno (PS), según ello realizaron el método de flotación para poder separar los microplásticos con una red de peces. Los datos obtenidos fueron procesados mediante análisis estadísticos del tipo descriptivo. Los valores recabados precisaron la existencia de microplásticos en ambas playas fueron similares, observaron que las partículas predominantes de microplásticos fueron los de tipo fragmentos eran los más abundantes, en la Playa Azul con 120 partículas y en la Playa Copalita con 148 partículas, los tamaños con mayor presencia fueron de los rangos del 1 mm hasta 30 mm y los colores que predominaron fueron rojos, azules y blancos.

1.1.2. Antecedentes nacionales

Pretell *et al.* (2020) “evaluaron y caracterizaron microplásticos en playas arenosas de Lima cuyas características comunes fueron los fines de uso de estas playas, tales como uso recreativo, turístico y de pesca” (p.1). Realizaron el muestreo mediante 6 cuadrantes de 0,5 m² utilizando un transecto de 100 m para cada playa evaluada, las muestras fueron extraídas de una profundidad de 5 cm en cada transecto. Después de tamizar las muestras en el área de muestreo fueron trasladadas a laboratorio para continuar con el procedimiento de extracción mediante una solución saturada de NaCl. La caracterización de microplásticos fue fundamentada en la concentración de microplásticos mediante la cantidad de ítems por área de muestreo, el análisis del espectro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) y termogravimetría. Los datos obtenidos fueron procesados mediante análisis estadísticos del tipo descriptivo; tras el análisis, obtuvieron un total de $394 \pm 42,93$ partículas de microplásticos (expresados en el estudio como ítems.m⁻²) ($19,11 \pm 2,89$ g.m⁻²) en la playa D'Onofrio; $173,33 \pm 11,62$ ítems.m⁻² ($5,14 \pm 0,71$ g.m⁻²) en la playa Pescadores y $136 \pm 32,56$ ítems.m⁻² ($3,95 \pm 1,06$ g.m⁻²) en la playa Pucusana. En cuanto al análisis FTIR, en las playas D'Onofrio, Pescadores y Pucusana, los autores encontraron mayor polietileno de alta densidad (HDPE), también registraron menor presencia de polietileno de baja densidad (LDP) y polipropileno (PP). La investigación concluyó extender el estudio en playas donde se realizan actividades de extracción de petróleo a fin de conocer el efecto de estacionalidad en la concentración de partículas plásticas.

De la Torre *et al.* (2019) llevaron a cabo el estudio "Abundancia y distribución de microplásticos en playas arenosas de Lima, Perú" (p.1) con el objetivo de determinar la polución por partículas microplásticas en sedimentos de playas arenosas de Lima, Perú. La metodología consistió en dividir la playa en 12 transectos, cuya distancia varió de acuerdo a la longitud de las playas. Recogieron las muestras con ayuda de herramientas de muestreo de suelo tales como una pala de metal. La profundidad para obtener las muestras fue de 1 cm para posteriormente ser llevadas a laboratorio. En laboratorio, en condiciones ambientales óptimas, las muestras pasaron por el proceso de secado y tamizado para descartar mesoplásticos del análisis. Las extracciones de los microplásticos fueron realizadas usando como solución al NaCl de la separación por densidad, posteriormente registraron las características de los microplásticos encontrados y tomaron una muestra de 25 microplásticos para ser analizados por espectroscopia infrarroja. El análisis estadístico fue realizado usando el programa R-studio, en la que aplicaron las pruebas de varianza y normalidad de Shapiro-Wilk. Los resultados obtenidos evidenciaron la existencia de partículas microplásticas en las playas evaluadas con un total de 2089 partículas microplásticas; además, los tipos de microplásticos con mayor presencia fueron las espumas (78,3 %) y fragmentos (17,38 %). Con respecto al color, el más abundante de microplástico encontrado fue el blanco (84,8 %). Por otro lado, tras el análisis de FTIR, los polímeros identificados fueron el polipropileno (PP), polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno isotáctico (iPP) y el poliestireno (PS). Concluyeron que existió un nivel preocupante de microplásticos en las playas evaluadas por lo cual sugirieron se realicen nuevas investigaciones con respecto a la presencia de microplásticos en todo el país.

Purca y Henostroza (2017) evaluaron la "presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú" (p.101) con la intención de describir la existencia de partículas microplásticas en playas de sedimento arenoso en la costa peruana; asimismo, revisaron la composición polimérica para 10 fragmentos de microplásticos. El estudio fue realizado en junio del 2014 y mayo del 2015, fueron tomadas las muestras de sedimento siguiendo los lineamientos establecidos en el protocolo brindado por el Instituto Tecnológico y Ciencia del Océano de Corea (KIOST). Para llevar a cabo la investigación, fueron seleccionadas playas con características similares en cuanto a la longitud de estas, considerando un

mínimo de 100 m de longitud de costa. Las playas seleccionadas fueron delimitadas por dos transectos, en cada uno de los transectos establecieron tres cuadrantes de muestreo de 0,5 m², por cada uno de los cuadrantes las muestras de sedimentos fueron extraídas de la capa superior, las cuales fueron tamizadas in situ mediante un tamiz de 1 mm. Los datos obtenidos fueron analizados mediante estadística descriptiva. Los resultados indicaron que partículas microplásticas con diámetro mayor a 1 mm presentaban el 80 % de las muestras de cada playa. La playa Costa Azul, obtuvo mayor concentración de partículas microplásticas (522 ítems/m² constituido por 463,33 ítems/m² de plástico duro, lo que representó un peso de 2,6 g/m²); a diferencia de la playa Albufera de Medio Mundo, ya que esta playa obtuvo un número menor de partículas microplásticas y peso (4,67 ítems/m² lo que representó 0,50 g/m²). La investigación concluyó en la presencia significativa de plástico duro, además de sugerir nuevos estudios enfocados en la influencia de estos en hábitats donde persisten.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Microplásticos (MPs)

De acuerdo a Castañeda *et al.* (2020), los microplásticos representan hoy en día un desafío para las ciencias relacionadas con el ambiente, la química analítica y la toxicología. Los microplásticos se caracterizan por presentar generalmente un diámetro inferior a 5 mm. Estas partículas son clasificadas, en su mayoría, siguiendo las características visibles que presentan tales como la morfología de las partículas, el tamaño de las partículas, forma de las partículas y el color; resaltando como factor importante para el estudio de microplásticos el tamaño ya que esta característica física resulta importante al estudiar la digestión por diferentes organismos que confunden las partículas con alimentos (FAO, 2019).

En cuanto al origen de los microplásticos, son clasificadas en dos categorías universales: a) Los MPs primarios, que son provenientes de la materia prima utilizada en las industrias en forma de granulados, pellets, abrasivos y polvos; y b) Los MPs secundarios, que provienen de la degradación de mayor tamaño que han sufrido un proceso de fragmentación para

convertirse en microplásticos. Dentro de este grupo están los contenedores plásticos y bolsas, materiales que se usan de embalaje para diferentes productos alimenticios y las cuerdas (Manrique, 2019).

1.2.2. Características generales de microplásticos

Fuentes de microplásticos

De acuerdo a Kole *et al.* (2017), las fuentes potenciales de microplásticos son los polímeros sintéticos, naturales y modificados, y la gran persistencia que tienen estos materiales en el ambiente. Por otro lado, un porcentaje mayor del 80 % de plásticos que terminan en mares provienen de productos de residuos de actividades cotidianas, domésticas y de pesca.

Clasificación de partículas microplásticas

De acuerdo al origen de las partículas microplásticas, los microplásticos pueden clasificarse en primarios y secundarios. Los primarios, son elaborados para usos particulares en productos de limpieza, cosméticos, productos de aseo, etc. (Castañeda *et al.*, 2014), además estas partículas se usan en la elaboración de macroplásticos tales como pellets. Por otro lado, las partículas secundarias se originan mediante fenómenos físicos y químicos por fragmentación, degradación, abrasión, etc. de partículas macroplásticas (Choy *et al.*, 2019).

Formas de partículas microplásticas

En el medio ambiente se pueden encontrar partículas microplásticas de distintas formas, las más comunes y frecuentes son los fragmentos, fibras, esferas y pellets. La clasificación de estas formas tiene relación con la forma original de la fuente plástica de las que provienen y que debido a procesos físicos y químicos son degradados (Zhang *et al.*, 2020).

Tamaño de partículas microplásticas

De acuerdo a Castañeda *et al.* (2020), los microplásticos poseen un tamaño o diámetro inferior a 5 mm. En ese sentido, el rango comúnmente aceptado del tamaño de las partículas plásticas varía de 5 mm hasta 1 μm para ser aceptado como tal, ya que las partículas inferiores son consideradas como nanoplásticos y los superiores a este rango son clasificados como mega, macro y meso plásticos.

1.2.3. Caracterización de microplásticas

De acuerdo a Toledo (2019) se entiende como un método sencillo y fácil de identificación de microplásticos a través de la clasificación por criterios físicos y químicos de la composición de microplásticos. De este modo, se habla de caracterización física a la clasificación de microplásticos basados en características físicas tomando como criterios la morfología, tamaño, color, etc. (Boerger *et al.*, 2010). En cuanto a la caracterización química de MPs, la clasificación está basada en características químicas tomando como principal criterio la composición polimérica de los microplásticos (Urban-Malinga *et al.*, 2020). Con respecto a las unidades de la caracterización de microplásticos, diversos estudios presentan datos en porcentajes y en el conteo de número de partículas plásticas encontradas según lo precisaron los estudios de Purca y Henostroza (2017) y De la Torre *et al.* (2019).

1.2.4. Criterios de caracterización física de microplásticos

Color. Representa una característica física importante de los microplásticos, ya que dependiendo de la tonalidad que tengan pueden ser confundidos como alimento por algunos animales quienes finalmente formarán parte de la cadena trófica de otros (Boerger *et al.*, 2010). Asimismo, son clasificados como colores cálidos las partículas de color rojo, amarillo, naranja, púrpura y blanco; y fríos, las partículas de color negro, azul, violeta y verde según lo menciona Boerger *et al.* (2010).

Tamaño. La clasificación de los tamaños de las partículas microplásticas son realizadas mediante rangos que van de 1 mm a 5 mm; para ello, se usan generalmente tamices con mallas que permitan obtener la clasificación. Gran cantidad de partículas de mayor tamaño provienen de la fragmentación de elementos plásticos más grandes (Castañeda *et al.*, 2020).

Forma. Las formas de los microplásticos están clasificadas mayormente entre fibras, formas regulares e irregulares que se relacionan al origen de estas partículas entre microplásticos primarios y secundarios (Boerger *et al.*, 2010; Lusher *et al.*, 2015; Fossi *et al.*, 2016).

Peso. Los microplásticos son pesados con la finalidad de analizar la concentración de estos en las zonas evaluadas. En cuanto a las unidades, no existe una unidad de representación específica de peso de microplásticos, la unidad utilizada en diferentes estudios es g/m^2 de acuerdo a Benavente (2021), esto hace difícil la comparación de datos obtenidos en estudios de microplásticos; por otro lado, todavía no existe un protocolo estandarizado a nivel mundial.

1.2.5. Criterios de caracterización química de microplásticos

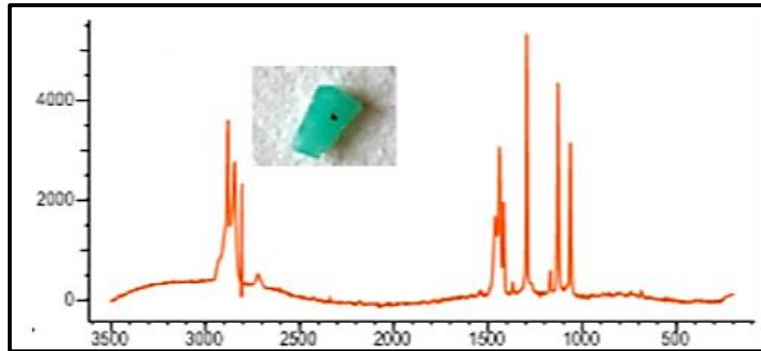
Se determina en base a la composición polimérica, comprende cinco principales tipos de polímeros: polietileno (PE) poliestireno (PS), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC) y tereftalato de polietileno (PET) (Manrique, 2019).

Polietileno (PE). Polímeros que conforman el etileno. Es uno de los polímeros de mayor uso en las actividades diarias y con mayor popularidad a nivel mundial; existen dos tipos, el polietileno de baja densidad y el polietileno de alta densidad (Construmática, s.f.a). Asimismo, este polímero es encontrado en productos para el aislamiento para cables y alambres, bolsas industriales, empaques para alimentos, tapas, etc. (Manrique, 2019).

En las Figuras 1 y 2 se muestran la Firma espectral del Polietileno de alta y baja densidad, respectivamente.

Figura 1

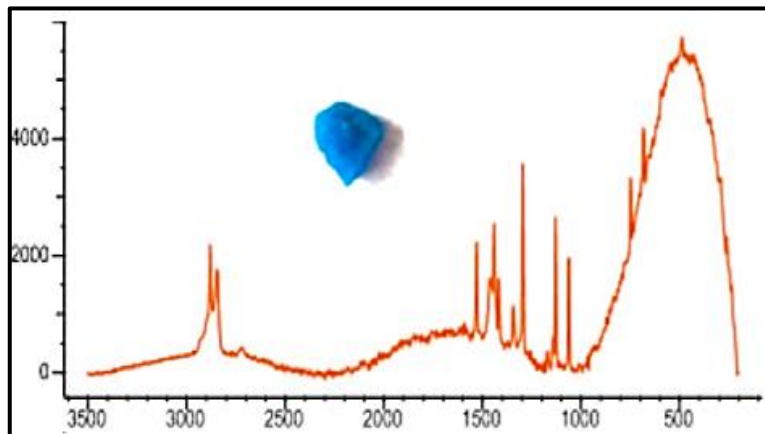
Firma espectral del polietileno de alta densidad



Nota. Tomado de Dowarah y Devipriya (2019).

Figura 2

Firma espectral del polietileno de baja densidad



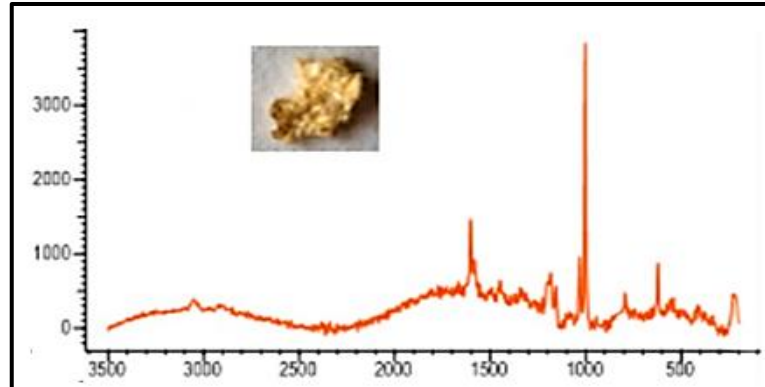
Nota. Tomado de Dowarah y Devipriya (2019).

Poliestireno (PS). Considerado uno de los plásticos más usados en la fabricación de insumos de consumo. Las características sólidas y duras que este plástico posee lo hacen útil en productos que necesitan claridad, por ejemplo, empaquetado de alimento y mercancías de laboratorio. Por otro lado, combinado con diversos aditivos y otros insumos, el poliestireno forma parte de la elaboración de electrodomésticos, equipos, etc. (Construmática, s.f.b).

En la Figura 3 se muestra la Firma espectral del Poliestireno (PS).

Figura 3

Firma espectral del poliestireno



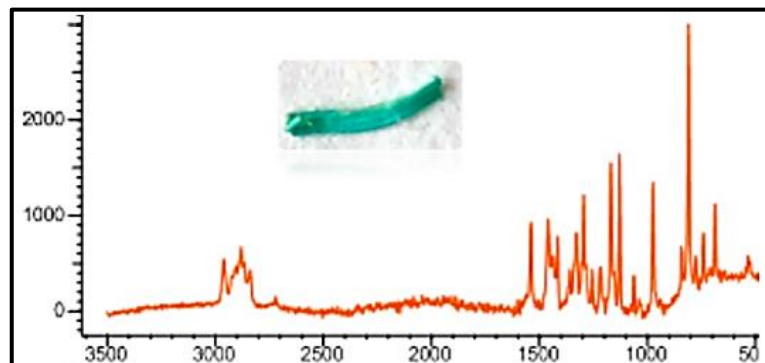
Nota. Tomado de Dowarah y Devipriya (2019).

Polipropileno (PP). Es considerado uno de los plásticos de mayor uso. Se sabe que el propileno se sintetiza en 3 estructuras conocidas como: Estructura isotática, atáctica o sindiotática. De estas, la estructura Isotática es la que tiene más relevancia debido a una de sus características de resistencia. Además, este polímero es comparado a menudo con el polietileno, esto se debe al costo en el mercado y a que ambos comparten características parecidas (Construmática, s.f.c). Por otro lado, los productos que están conformados por este polímero son los baldes de pintura, fibras para tapicería, cubrecamas, pañales, cepillos, etc. (Manrique, 2019).

En la Figura 4 se muestra la Firma espectral del Polipropileno (PP).

Figura 4

Firma espectral del polipropileno



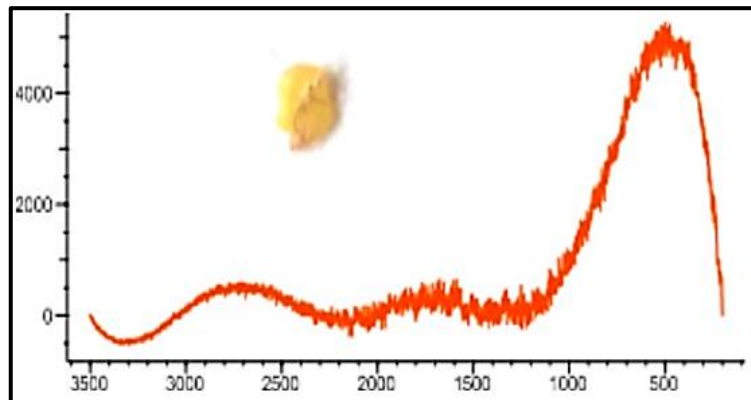
Nota. Tomado de Dowarah y Devipriya (2019).

Cloruro de polivinilo (PVC). Su composición polimérica se basa en dos materias primas naturales, cloruro de sodio y petróleo. Al ser considerado como un material termoplástico este es deformable, es decir, que al ser calentado a cierta temperatura pasa del estado sólido inicial a un estado viscoso para después pasar a un estado vítreo, frágil al enfriar. Esta propiedad permite que el PVC se pueda reciclar (Arteplástica, 2017a). Se encuentra en caños, mangueras, tuberías para redes de saneamiento, etc. (Manrique, 2019).

En la Figura 5 se muestra la Firma espectral del Cloruro de polivinilo (PVC).

Figura 5

Firma espectral del cloruro de polivinilo



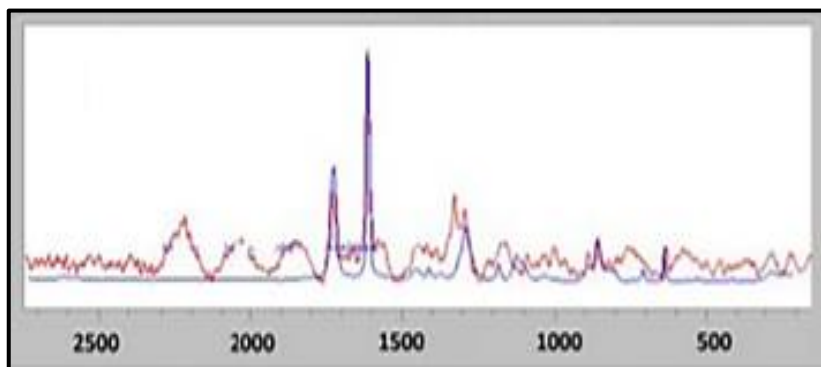
Nota. Tomado de Dowarah y Devipriya (2019).

Tereftalato de polietileno (PET). Es conocido como un polímero con característica termoplástica producido a causa de un proceso de polimerización entre el etilenglicol y el ácido tereftálico. Su uso masivo comenzó en los años 90, principalmente en el envasado de algunos productos gracias a las facilidades que brinda para este sector. Actualmente, es ampliamente usado en el mundo en fibras para muebles y fibras mezcladas con algodón para la fabricación de vestimenta (Arteplástica, 2017b).

En la Figura 6 se muestra la Firma espectral de Tereftalato de polietileno (PET).

Figura 6

Firma espectral del tereftalato de polietileno



Nota. Tomado de Dodson *et al.* (2019).

1.2.6. Abundancia de microplásticos

Estudios referidos a la abundancia de partículas microplásticas en sedimentos de playas o ríos determinan como indicador de evaluación a la concentración de microplásticos debido a que a esas partículas microplásticas ingresan a cualquier medio de playas o ríos mediante fugas directas durante la transferencia y el transporte desde las industrias o como resultados de la descomposición de plásticos grandes (Hohenblum *et al.*, 2015). Además, las unidades de medida más usadas para este tipo de investigación, según el estudio de He *et al.* (2020), son partículas por kg y el peso de las mismas en g/kg de sedimento seco de cada playa estudiada con la finalidad de mejorar la comparación entre otros estudios y así poder evitar la sobreestimación de la concentración de microplásticos en las zonas que serán evaluadas. Gamba (2019) menciona algunos factores que aportan a la abundancia de microplásticos entre ellas están las actividades cercanas, como el turismo y actividades pesqueras, las cuales son responsables de la presencia de fibras, adicionalmente Gamba (2019) detalla la relevancia de las microperlas provenientes de productos de cuidado personal.

1.2.7. Distribución de microplásticos

En cuanto, a la distribución de microplásticos en sedimentos de playas o ríos, diversas investigaciones se refieren a la concentración de microplásticos de acuerdo a su morfología, color, tamaño y al tipo de polímeros que son representados mediante mapas de

distribución; con el objetivo de visualizar los impactos en estas áreas. En el estudio de Pujol (2016), el autor empleó como fuente prioritaria de información los mapas de distribución con la variante de analizar los posibles impactos de los microplásticos según el tamaño de estas partículas en la especie de *Balaenoptera physalus* “torcual común”. De acuerdo a Kukulka *et al.* (2012), el viento tiene gran relevancia en cuanto a la presencia de microplásticos, lo cual comprobó mediante un estudio en el que analizó el efecto de la mezcla del viento en la distribución vertical de los desechos plásticos flotantes.

1.2.8. Métodos para la identificación física microplásticos

Identificación física de microplásticos

Método primario de identificación de partículas microplásticas. La identificación física se basa en observar las características físicas y visibles de los microplásticos aportando datos sobre su color, tamaño, etc. En ese sentido, los microplásticos son caracterizados mediante la inspección visual acorde a la similitud de las características entre las partículas observadas. La identificación física es realizada a través de herramientas que faciliten la separación de partículas por características tales como reglas de medición, tamices para diferenciar tamaños o instrumentos más sofisticados como microscopios y estereoscopios, haciendo la identificación más precisa y proporcionando resultados óptimos como lo mencionan Hidalgo *et al.* (2012). Este primer método de identificación de microplásticos es fácilmente realizado en estudios de identificación de microplásticos, ya que es considerado como un método preliminar sencillo, rápido y poco costoso considerando el equipo mínimo requerido, pero es importante señalar que al ser una técnica previa de identificación es necesario seguir con procedimientos adecuados que garanticen obtener resultados claros y con mayor exactitud que permitan una correcta clasificación de las partículas microplásticas estudiadas.

Tamizado de sedimento seco

Separación de partículas por diferencia de tamaño. Los sólidos son colocados en superficies perforadas conocidas como tamices con el objetivo de retener las partículas superiores y dar paso a las partículas inferiores. En estudios sobre microplásticos esta

técnica se usa como procedimiento de extracción de partículas plásticas de sedimentos principalmente de playas (Shafazamilla *et al.*, 2019).

Digestión de muestras

Procedimiento que se realiza para destruir la materia orgánica interferente en el conjunto de muestras obtenidas. Diferentes estudios sobre microplásticos realizan este y otros procedimientos de manera que se garantice y valide resultados de la identificación de microplásticos; se consideran cuatro tipos de digestión de materia orgánica en investigaciones relacionadas a microplásticos: digestión ácida, se hace uso de compuestos como ácido nítrico (HNO_3) y ácido clorhídrico (HCl); digestión alcalina, se hace uso de compuestos como hidróxido de potasio (KOH) e hidróxido de sodio (NaOH); digestión oxidante, se hace uso principalmente de peróxido de hidrógeno (H_2O_2); y degradación enzimática, se hace uso recurrente de enzimas como la celulasa, quitinasa y proteasa (Urban-Maling *et al.*, 2020; Vidyasakar *et al.*, 2020; Dowarah y Devipriya, 2019).

Flotación por densidad

Método de separación fisicoquímico. De acuerdo al método para la extracción de microplásticos realizado por Nuelle *et al.* (2014) se deben realizar dos procedimientos, el primero consiste en producir la fluidización de sedimentos a través de solución saturada en este caso cloruro de sodio (NaCl); posterior a ello, se continúa con el procedimiento de flotación de las partículas microplásticas a través de solución de sal de entidad alta como el yoduro de sodio (NaI). En ese sentido, la flotación por densidad es un método de separación de partículas a través de un sistema compuesto por solución saturada que posee mayor densidad en comparación al de las partículas contenidas, dependiendo a ello flotarán en dicha solución dejando en el fondo aquellas partículas desinteresadas por la separación (Toledo, 2019). Una de las ventajas de este procedimiento es la reducción del total de muestras de sedimento útiles para el estudio, por consiguiente, el consumo de NaI es menor, considerándolo como material costoso; sin embargo, estudios también confirman el uso de la sal de mesa como solución saturada, lo que hace más beneficioso y factible uso en la flotación por densidad de partículas microplásticas (Toledo, 2019). Por otro lado, se menciona también el uso de peróxido de hidrógeno (H_2O_2); sin embargo, esta sustancia

mal calculada y afectada por condiciones ambientales podría ocasionar reacciones en las partículas plásticas de la muestra, lo que perjudicaría la identificación visual de las mismas, por ello su uso se limita a cuando se presume excesiva presencia de materia orgánica en las muestras estudiadas (Toledo, 2019).

1.2.9. Métodos para la identificación química de microplásticos

Identificación química de microplásticos

Es considerada como un método de identificación polimérica de partículas microplásticas. Se conoce que es insuficiente la identificación visual de microplásticos sin otro soporte que garantice resultados de polímeros presentes en una muestra de partículas plásticas según lo mencionado por Eriksen *et al.* (2013). Es por ello que, después de un proceso de extracción y purificación química de microplásticos, la espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier (FTIR) y espectroscopía de Raman son herramientas conocidas y utilizadas en cuanto a la identificación polimérica como lo menciona Hanvey *et al.* (2017). En diversas investigaciones indican a estas técnicas como propicias para la identificación química con la finalidad de revisar la presencia de lo que se considera como micro y nano plástico. Muchas de las técnicas de identificación polimérica de microplásticos permiten la identificación y confirmación de tipos poliméricos presentes en una muestra de microplásticos. Además, el análisis químico de MPs, principalmente, a través del FT-RI genera que las partículas plásticas presentes en las muestras no se sobreestimen debido a que por errores se tienden a analizar polímeros no sintéticos de acuerdo a lo mencionado por Toledo (2019).

Espectroscopia infrarroja

También conocida como FTIR, analiza fenómenos de intervención ente la materia y radiación infrarroja. Principalmente la energía desprendida de la radiación tiende a absorberse por una molécula o en su defecto por alguna fracción de la misma en un estado basal en concordancia a la longitud de onda desprendida de la radiación infrarroja, esto genera cambio en cuanto a la intensidad de vibración (Mondragón, 2017). En diferentes estudios relacionados a la identificación y caracterización de microplásticos se ha utilizado

este método para identificar los polímeros plásticos encontrados (Song *et al.*, 2014; Besseling *et al.*, 2015), ya que es un método considerado factible y fiable para dichos fines.

1.2.10. Playas arenosas

Están constituidas por dos ambientes: uno de ellos es expuesto y variable, se encuentra ubicado en la marea alta con límite en la zona de rompiente de olas; el otro ambiente, se encuentra inmerso en constante circulación desde la rompiente hasta el punto extremo de acción de las celdas de circulación de la misma (Ramírez, 2012). Se considera como una de las labores importantes inherentes a las playas de arena el de protección de las áreas costeras debido a la concentración energética en estas zonas por parte de los oleajes (Ramírez, 2012). Por otro lado, los sedimentos de playas son centros de contaminación que adsorben de manera no específica las partículas microplásticas arrastradas por las olas, y cuanto más fino es el sedimento, más eficiente es la trampa. Asimismo, los sedimentos de grano fino son típicos de las zonas de acumulación, por lo que probablemente son vulnerables a la contaminación (MacLachlan y Brown, 2006).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

El presente estudio correspondió a una investigación de enfoque mixto, combinación de los enfoques cualitativo y cuantitativo, en el que se analizaron de forma conjunta dichos enfoques (Hernández *et al.*, 2014), alcance descriptivo y diseño no experimental. Stoecker (1991) y Miles y Huberman (1994) mencionan que el enfoque cuantitativo se desarrolla mediante el uso herramientas como la recolección y el análisis de datos para responder las preguntas de investigación. En relación al enfoque cualitativo, también utiliza ambas herramientas antes mencionadas con el objetivo de precisar las preguntas de investigación (Hernández *et al.*, 2014). Según Patton (2011), los datos cualitativos son delimitados como descripciones minuciosas de acontecimientos, personas, conductas observadas, entre otros.

Es por ello que la presente investigación tuvo un enfoque mixto debido a que las preguntas y las hipótesis necesitan ser probadas con total exactitud para poder obtener datos verídicos y realizar el análisis correspondiente de lo obtenido en el estudio.

Hernández *et al.* (2014) mencionan que los estudios descriptivos presentan la finalidad de buscar detallar características, perfiles, entre otros, del objeto o fenómeno que se estudia; en ese sentido, la presente investigación posee determinados elementos del alcance descriptivo ya que se pretende recoger información de determinadas variables sin relacionarlas con otras variables. Finalmente, como indica Mertens (2010), en una investigación no experimental las variables no pueden o deben ser manipuladas o en su defecto es difícil hacerlo; del mismo modo, en la presente investigación las variables identificadas no fueron manipuladas por lo que estas acciones corresponden a un diseño no experimental.

2.2.Lugar y fecha

El estudio se realizó en tres playas arenosas de Lima y Callao conforme se muestra en la Tabla 1. Además, realizamos la ubicación geográfica de las playas de análisis la cual se muestra en la Figura 9 y el tipo de sustrato se visualiza en las Figuras 7 y 8.

Tabla 1

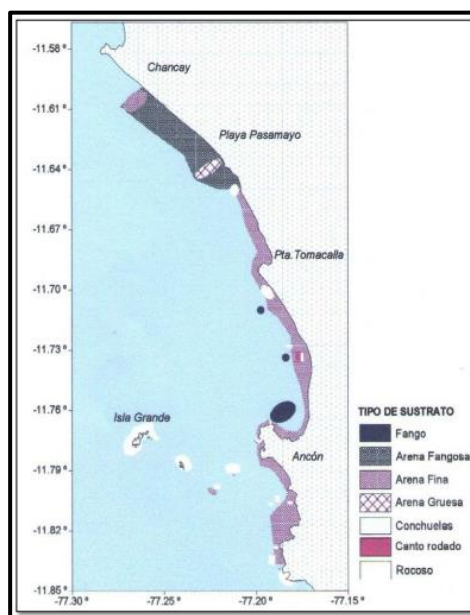
Descripción de las 3 playas arenosas de Lima y Callao

Playas	Ubicación	Región	Latitud (°S)	Longitud (°W)	Distancia (m)	Tipo de sustrato
Balneario de Ancón	Ancón	Lima	11°46' 28" 11° 46' 30"	77°10'38" 77°10'44"	466	Arena gruesa
Playa Bahía Blanca	Ventanilla	Callao	11°50'60" 11° 50' 8"	77°11'40" 77°10'59"	557	Arena gruesa
Playa Agua Dulce	Chorrillos	Lima	12°9'44" 12° 9' 50"	77°1'32" 77° 1' 36"	739	Arena fina

Nota. Elaboración propia.

Figura 7

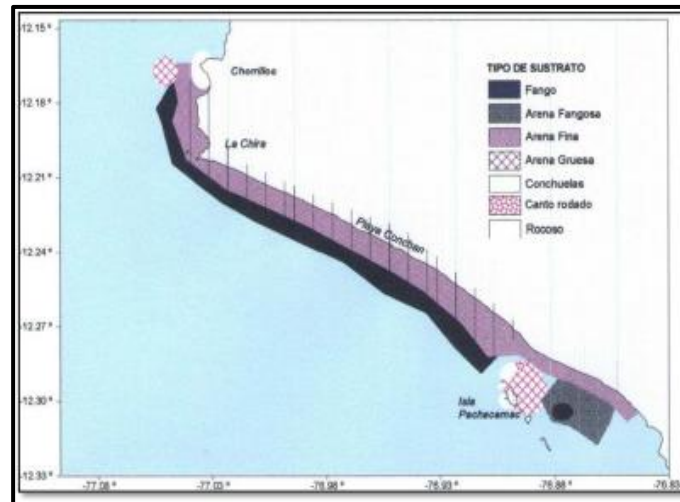
Tipo de sustrato de las 3 playas de Lima y Callao período 2013



Nota. Instituto del Mar Peruano (IMARPE).

Figura 8

Tipos de sustrato de las 3 playas de Lima y Callao período 2013



Nota. Instituto del Mar Peruano (IMARPE).

Figura 9

Ubicación de las áreas de estudio



Nota. Tomado de Global Mapper (2020).

2.2.1. Playa Balneario de Ancón

Se ubica en el distrito de Ancón a 42 km del norte de Lima, entre los paralelos $11^{\circ}46' 28''$ y $11^{\circ} 46' 30''$ de latitud sur y los meridianos $77^{\circ}10'38''$ y $77^{\circ}10'44''$ de longitud este. En la zona se destaca la pesca artesanal como la segunda actividad económica más importante, habiendo hasta el 2010 un aproximado de 389 pescadores del tipo artesanal inscritos a la Asociación de Pescadores Artesanales de Ancón y un total de 400 individuos trabajando como apoyo en el muelle; siendo el 4,5 % de la PEA del distrito de Ancón (Austermühle, 2010). Asimismo, su atractivo turístico se debe a su malecón y las actividades de recreación para los visitantes tales como los paseos en bote, las anconetas, entre otros, como se observa en la Figura 10. La situación ambiental actual volvió a ser crítica debido a la reapertura de acceso para bañistas a causa de la concentración significativa de residuos plásticos en las orillas de la playa, tal como se aprecia en el Apéndice 2, los que después son arrastrados por las olas y afectan la red alimenticia de las especies marinas.

Figura 10

Ubicación del Balneario de Ancón- Distrito de Ancón



Nota. Elaboración propia.

2.2.2. Playa Bahía Blanca

Ubicado en el distrito de Ventanilla entre los paralelos $11^{\circ}50'60''$ y $11^{\circ} 50' 8''$ de latitud sur y los meridianos $77^{\circ}11'40''$ y $77^{\circ}10'59''$ de longitud este. Esta playa, de acuerdo a lo mencionado en el Informe de Zonificación Oceanográfica según el Gobierno Regional del Callao (2013), presenta contaminación microbiológica y concentración significativa de

residuos plásticos debido al arrojado de desechos por parte de la población aledaña, trayendo consigo consecuencias perjudiciales a las especies de aves y peces que habitan en el lugar, como se observa en la Figura 11. La situación ambiental de esta zona es cada vez más deplorable, ya que debido a la pandemia y la poca conciencia de la población, en la visita a campo, se pudo visualizar la gran cantidad de residuos como mascarillas, guantes quirúrgicos, entre otros, tal como se aprecia en el Apéndice 4.

Figura 11

Ubicación de la playa Bahía Blanca- Distrito de Ventanilla



Nota. Elaboración propia.

2.2.3. Playa Agua Dulce

Ubicada en el distrito de Chorrillos entre los paralelos $12^{\circ}9'44''$ y $12^{\circ}9'50''$ de latitud sur y los meridianos $77^{\circ}1'32''$ y $77^{\circ}1'36''$ de longitud este. Esta playa es una de las más frecuentadas en época de verano, se encuentra repleta de bañistas; caracterizada por sus frías aguas y también por ser un mar tranquilo que resulta agradable para las familias que asisten con niños y sus mascotas. Debido a la cuarentena, las medidas sanitarias impuestas por el Gobierno prohibieron el ingreso de los visitantes a la playa, siendo esta restricción beneficiosa para las aves y especies marinas, puesto que la concentración de residuos disminuyó durante dicho período. No obstante, al permitirse nuevamente el ingreso de los visitantes, la playa Agua Dulce se ve afectada por la masiva contaminación de residuos plásticos que la asistencia de visitantes trae consigo, tal como se aprecia en la Figura 12 y el Apéndice 6.

Figura 12

Ubicación de la playa Agua Dulce- Distrito de Chorrillos



Nota. Elaboración propia.

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

La presente investigación tuvo como población a las playas arenosas de Lima y Callao. Las playas que conformaron la población de estudio fueron playa del Balneario de Ancón (Lima), playa Bahía Blanca (Callao) y playa Agua Dulce (Lima); las cuales están constituidas por arena gruesa que conforman las orillas de las mismas, ya que son playas arenosas en las que la concentración de microplásticos es mayor. Además de ello, cabe mencionarse que la situación ambiental de las playas fue afectada ante las medidas de apertura para el ingreso de personas a las playas, debido a que la concentración de residuos plásticos aumentó de manera significativa durante el último período a diferencia de los meses de confinamiento a causa de la pandemia.

2.3.2. Muestra

Las muestras seleccionadas fueron determinadas mediante una técnica no probabilística a conveniencia o dirigidas de acuerdo a lo mencionado por Hernández *et al.* (2014), ya que la presente investigación, de alcance descriptivo, no busca generalizar los resultados de la investigación a una población mayor. En este sentido, fueron seleccionadas un total de 24 muestras provenientes de la playa del Balneario de Ancón (Lima), playa Bahía Blanca

(Callao) y playa Agua Dulce (Lima) distribuidas como se aprecia en la Tabla 2, de acuerdo al “Protocolo estandarizado para el seguimiento de microplásticos en sedimentos” según Frías *et al.* (2018), para la recolección de muestras recomendaron tener en cuenta las condiciones de cambio de las líneas de marea alta y realizar encuestas de seguimiento estacionales (primavera, verano, otoño e invierno). Cabe mencionar que, para evidenciar diferencias a causa de las condiciones sociales de las playas, los muestreos se realizaron una vez por mes.

Tabla 2

Distribución de las muestras

Playas	Estaciones				Estaciones				N° de muestras
	Mes 1				Mes 2				
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	
Balneario de Ancón	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Bahía Blanca	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Agua Dulce	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Total									24

Nota. Elaboración propia.

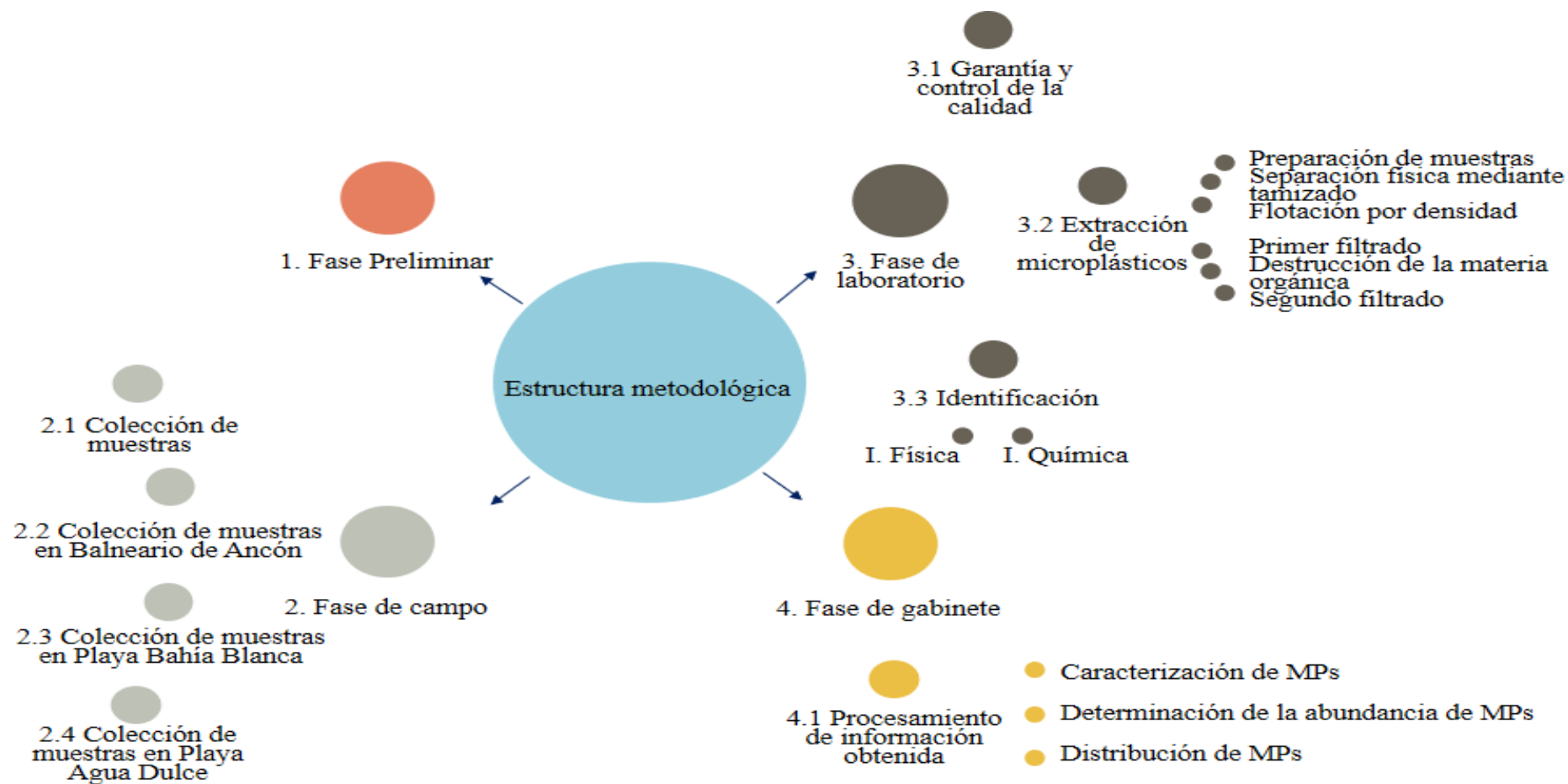
2.4.Descripción de la investigación

La presente investigación precisó fase preliminar y las fases de campo, laboratorio y gabinete. El desarrollo de las fases se basó en un protocolo propuesto en la investigación, ver Apéndice 31.

En la Figura 13 se aprecia la estructura metodológica desarrollada de la presente investigación.

Figura 13

Estructura metodológica de la investigación



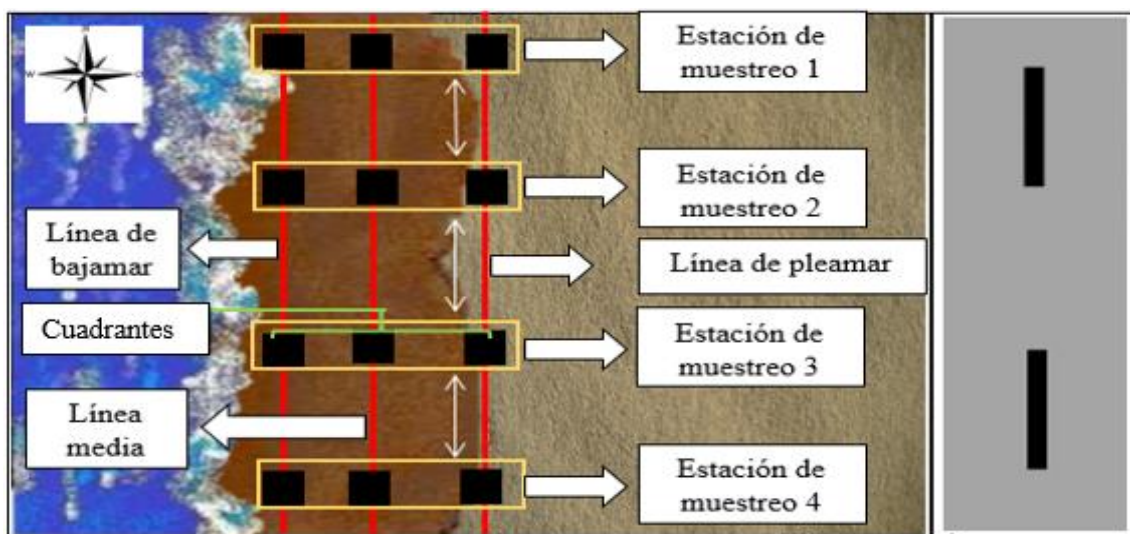
Nota. Elaboración propia.

2.4.1. Fase preliminar

El muestreo se realizó en tres playas arenosas de Lima y Callao durante el mes de agosto y setiembre, se consideraron ambos meses ya que de acuerdo al criterio de investigación se tomaron como referencia dos épocas climáticas con condiciones diferentes; en ese sentido, el mes de agosto presentó condiciones climáticas de invierno y el mes de setiembre presentó condiciones climáticas cercanas al de primavera; además de ello, la población se estaba reincorporando a la nueva normalidad tras el aislamiento ocasionado por la pandemia. La longitud de las costas de las playas fue dividida en cuatro estaciones de muestreo, se tuvo en cuenta que las longitudes de costa de cada playa rondaron aproximadamente entre 500 a 750 m; de tal manera, las estaciones de muestreo (EM) se ubicaron de forma representativa en toda el área de acuerdo a lo mencionado por Shafazamilla *et al.* (2019). Asimismo, los puntos de muestreo de cada estación se ubicaron según la amplitud de marea en el momento del muestreo, es decir, la diferencia vertical de la marea alta y baja, estableciendo tres cuadrantes o puntos de muestreo de la siguiente manera: línea de bajamar (cuadrante 1), línea media (cuadrante 2) y línea de pleamar (cuadrante 3) según lo mencionado por Villanova *et al.* (2018). En la Figura 14 se grafican las estaciones de muestreo por playa como la ubicación de los cuadrantes también denominados como puntos de muestreo.

Figura 14

Ubicación de las estaciones de muestreo y transectos



Nota. Elaboración propia.

2.4.2. Fase de campo

Se reconoció el área de estudio para establecer los puntos de muestreo, los mismos que se ubicaron registrando las coordenadas mediante un GPS como se muestran en el Apéndice 1. Fueron determinados cuatro estaciones de muestreo para cada playa con una separación de 100 m y profundidad de 5 cm y a lo largo de los transectos, tres puntos de muestreo.

Colección de muestras

Las muestras se recolectaron en las estaciones o transectos antes señalados con una separación de 100 metros, para ello fueron ubicados tres cuadrantes en cada uno de los transectos establecidos. Los cuadrantes tuvieron una dimensión de 1 m², la profundidad para la extracción del sedimento fue de 5 cm aproximadamente en cada uno de los cuadrantes. Empleando una pala metálica, para evitar contaminación por plásticos, fueron tomados de dos cuadrantes 330 g de sedimento y 340 g del tercero, de manera aleatoria, y de este modo obtener en total 1 kg de muestra de sedimento de cada transecto según lo señalado por Urban-Maling *et al.* (2020).

Las muestras fueron colocadas en bolsas ziploc y cerradas herméticamente para evitar contaminantes, fueron etiquetadas de acuerdo a la estación de muestreo y preservadas en un contenedor refrigerante para ser llevadas a laboratorio y continuar con el procesamiento de las mismas.

El procedimiento para la recolección de las muestras fue repetido en cada una de las tres playas de estudio con la finalidad de mantener el mismo procedimiento metodológico tal como se muestran en la Figura 15, Figura 16 y Figura 17 y en el Apéndice 12, Apéndice 13 y Apéndice 14.

Figura 15

Recolección de muestras en el Balneario de Ancón



Nota. Elaboración propia.

Figura 16

Recolección de muestras en la playa Bahía Blanca



Nota. Elaboración propia.

Figura 17

Recolección de muestras en la playa Agua Dulce



Nota. Elaboración propia.

Colección de muestras en Balneario de Ancón

En la Figura 18 se aprecia la distribución de los puntos de muestreo en el Balneario de Ancón.

Figura 18

Puntos de muestreo del Balneario de Ancón



Nota. Elaboración propia.

En la presente investigación, la colección de muestras se realizó en dos meses de estudio:

Primer mes de estudio. Se realizó el sábado 21 de agosto, las muestras fueron recolectadas según el apartado anterior y siguiendo las pautas para prevenir contaminar las muestras; para esta fecha se visualizó poca presencia de visitantes en esta zona a causa de las medidas de bioseguridad establecidas durante la pandemia. En este sentido, en la estación de muestreo 1 (EM1) se observó la presencia de algunos bañistas provenientes de las viviendas aledañas a la playa, mientras que en las estaciones de muestreo 2 y 3 (EM2 y EM3, respectivamente) la actividad antrópica fue menor en comparación a la estación de muestreo 4 (EM4) en el que se apreció mayor actividad antrópica al ser la estación con mayor proximidad la zona de bañistas y vigilancia tal como se aprecia en el Apéndice 2.

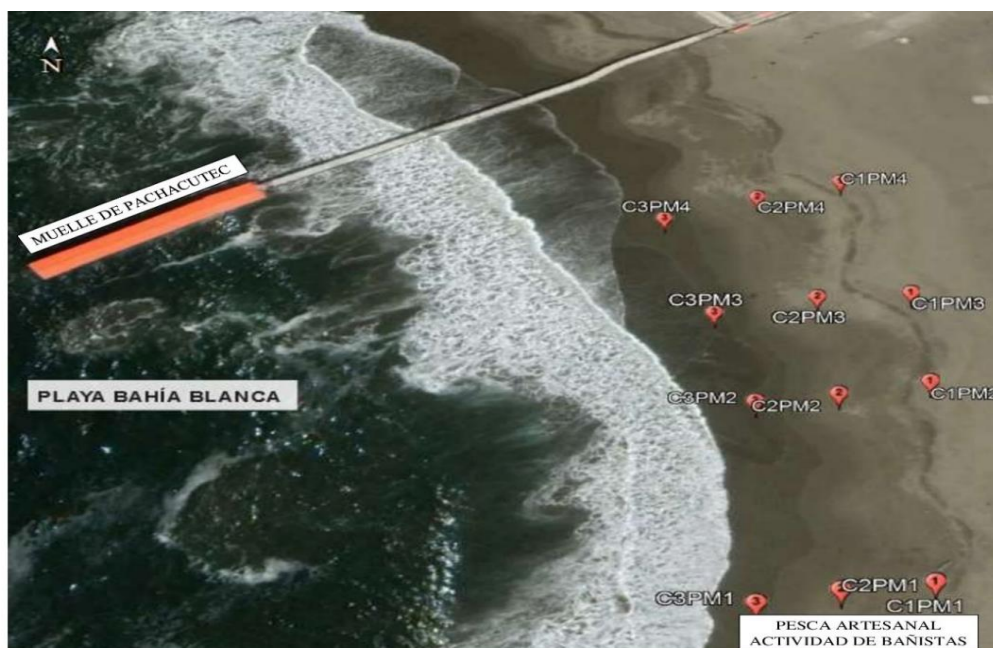
Segundo mes de estudio. Fue realizado el domingo 19 de setiembre, en dicha fecha, se visualizó una gran cantidad de visitantes dado que se permitió el reingreso a las playas a pesar de la pandemia acorde a las normas estipuladas. Tal apertura causó un aumento notable en los residuos plásticos de los visitantes, además de los residuos de la pesca artesanal, actividad importante en el área de estudio. En este sentido, en las estaciones de muestreo 1, 2 y 3 (EM1, EM2 y EM3, respectivamente) se apreció una baja presencia de visitantes, mientras que en la estación de muestreo 4 (EM4) la actividad antrópica fue mayor tal como se aprecia en el Apéndice 3.

Colección de muestras en playa Bahía Blanca

En la Figura 19 se aprecia la distribución de los puntos de muestreo en la playa Bahía Blanca.

Figura 19

Puntos de muestreo de playa Bahía Blanca



Nota. Elaboración propia.

En la presente investigación, la colección de muestras se realizó en dos meses de estudio:

Primer mes de estudio. Se realizó el sábado 21 de agosto, en ese período se observaron indicadores sobre el aumento de residuos plásticos, tales como la presencia de pescadores

artesanales y bañistas. En este sentido, próximo a las estaciones de muestreo 1 y 2 (EM1 y EM2) se observó mayor presencia de los pescadores artesanales y bañistas, mientras que en las estaciones de muestreo 3 y 4 (EM3 y EM4, respectivamente) la actividad antrópica fue casi nula a pesar de estar ubicados próximos al muelle de Pachacútec como se aprecia en el Apéndice 4.

Segundo mes de estudio. Para la segunda época de estudio, realizada el domingo 19 de setiembre, en las estaciones de muestreo 1 y 2 (EM1 y EM2) se observó reducida presencia de pescadores artesanales y bañistas a comparación del primer mes; por otro lado, en las estaciones 3 y 4 (EM3 y EM4, respectivamente) la actividad antrópica fue mayor en comparación al primer mes de estudio, además en estas zonas se encontraron franjas de montículos de arena en las orillas tal como se aprecia en el Apéndice 5.

Colección de muestras en playa Agua Dulce

En la Figura 20 se aprecia la distribución de los puntos de muestreo en la playa Agua Dulce.

Figura 20

Puntos de muestreo de playa Agua Dulce



Nota. Elaboración propia.

En la presente investigación, la colección de muestras se realizó en dos meses de estudio:

Primer mes de estudio. Se llevó a cabo el sábado 21 de agosto. En esta playa, a pesar de las medidas impuestas en pandemia, la cantidad de visitantes suele ser de gran magnitud, y es en esta zona donde se pudo ver la mayor concentración de residuos plásticos a causa de los bañistas y pequeños puestos de comida que arrojan sus residuos de manera inadecuada. En este sentido, cerca de la estación de muestreo 1 (EM1) se detectó una desembocadura aparentemente clandestina de desagüe y se observó la presencia de bañistas, en la estación de muestreo 2 (EM2) la presencia de bañistas fue menor, en cuanto a la estación de muestreo 3 (EM3) se identificaron actividades de venta de alimentos y otros, y cercano a la estación de muestreo 4 se ubicó el ingreso a la playa tal como se aprecia en el Apéndice 6.

Segundo mes de estudio. Realizada el domingo 19 de setiembre. Se observó gran magnitud de visitantes. En este sentido, cerca de la estación de muestreo 1 (EM1) se observó una mayor presencia de bañistas y venta de alimentos; en cuanto a las estaciones 2, 3 y 4 (EM2, EM3 y EM4) la presencia de bañistas y las actividades fueron parecidas a la del primer mes de estudio con un ligero incremento de actividades mencionadas tal como se aprecia en el Apéndice 7.

2.4.3. Fase de laboratorio

Durante la fase de laboratorio se realizaron los siguientes procedimientos para los dos meses de estudio.

Garantía y control de la calidad

Con el objetivo de reducir la probabilidad de contaminación en el trabajo de laboratorio se adoptaron medidas básicas y necesarias medidas durante el procesamiento. Se utilizaron indumentaria de laboratorio hechos de algodón y guantes de nitrilo para los procesos. Asimismo, previamente se limpiaron tres veces los materiales a usar con agua destilada y envolvieron con papel aluminio cuando no estuvieron en uso.

Extracción de microplásticos

Para garantizar la eficiencia de la extracción de partículas microplásticas de las muestras de sedimento de las playas y descartar cualquier otro material no plástico del procedimiento de identificación física y química, se realizó una serie de actividades sucesivas denominadas para el estudio como preparación de muestras, separación física mediante tamizado, flotación por densidad, eliminación de material orgánico y filtrado para la posterior identificación de partículas microplásticas, de acuerdo a lo indicado por Shafazamilla *et al.* (2019), esto con ligeras modificaciones para el estudio en cuanto a los tipos y concentraciones de los compuestos usados ya que el estudio propuesto por Shafazamilla *et al.* (2019) sugiere aditivos químicos como hierro Fe (II) y cloruro de sodio (NaCl) a 0,05 M, mientras que, el presente estudio incentiva el uso de compuestos orgánicos (aceite de oliva).

Preparación de las muestras. La preparación de la muestra consistió en acondicionar las muestras para continuar los procedimientos continuos, colocando cada una de las muestras en orden a la codificación de extracción (ver Apéndice 15). Tomando las precauciones para limitar la contaminación de las muestras se realizó un cuarteo de los sedimentos para obtener la muestra representativa a analizar tal como se aprecia en los Apéndices 16 y 17. Posteriormente, las muestras obtenidas fueron secadas en el horno de secado acondicionado a 40 °C por un periodo de 48 horas de acuerdo a Crawford y Quinn (2017), ya que este método de secado evitó daños a las partículas de las muestras tal como se muestra en el Apéndice 18, al terminar con el secado se organizaron las muestras secas para dar lugar al siguiente procedimiento (ver Apéndice 19).

Separación física mediante tamizado. Como primer procedimiento de separación de microplásticos de los sedimentos se realizó la separación física mediante tamizado de las muestras secadas. Después del secado, se organizó el espacio de trabajo con los materiales a usar para el tamizado (ver Apéndice 20), se tamizaron las muestras a través de un tamiz de 1 mm.

Flotación por densidad. Culminado el procedimiento de tamizado se realizó la flotación por densidad tal como se muestra en el Apéndice 21. Es preciso indicar que los métodos comúnmente usados han empleado aditivos químicos para la extracción de microplásticos

de los sedimentos (Urban-Maling *et al.*, 2020; Vidyasakar *et al.*, 2020; Dowarah y Devipriya, 2019); sin embargo, el estudio realizado por Crichton *et al.* (2017) sugiere el uso de aceite de canola hidrofóbico como una nueva, ecológica y efectiva técnica de separación. En ese sentido, en el presente estudio se optó por el uso de aceite de oliva debido a que posee características similares a los del aceite de canola y fue de fácil obtención.

Primer filtrado. El sobrenadante resultante del procedimiento anterior se filtró por un filtro de 0,5 mm y los resultados fueron transferidos a un vaso de precipitados tal como se puede observar en el Apéndice 22.

Destrucción de la materia orgánica. Para descartar la interferencia del material orgánico en las muestras de microplásticos, se realizó la destrucción de materia orgánica mediante solución de H₂O₂ al 10 % con un tiempo de exposición de 18 horas de acuerdo a Frías *et al.* (2018) tal como se aprecia en el Apéndice 23, así se aseguró la eliminación de materia orgánica sin daños a las partículas.

Segundo filtrado. Al culminar los procedimientos descritos, las muestras finales obtenidas fueron filtradas a través de filtro de 0,5 mm. Las partículas obtenidas del filtrado fueron colocadas en placas de Petri para continuar con el procedimiento de la identificación física y química.

Identificación de microplásticos

La identificación de microplásticos se llevó a cabo mediante procesos físicos y químicos como se muestra en el Apéndice 8 y son descritos a continuación.

Identificación física de microplásticos. Las muestras resultantes del segundo filtrado se colocaron en placas de Petri para ser observados utilizando un microscopio óptico con un aumento de 10x como lo menciona Shafazamilla *et al.* (2019), tal como se observa en el Apéndice 27. La identificación visual de los microplásticos se hizo siguiendo los criterios: existencia de ramificaciones, brillo metálico y el grosor de las fibras a lo largo de su longitud según lo mencionado por Dowarah y Devipriya (2019), acorde a las características físicas de los microplásticos en laboratorio. Se identificaron las siguientes

características físicas de microplásticos: según su forma se clasificaron en fibras, regulares e irregulares; según su tamaño, fueron clasificados en rangos de 1-2 mm, 2-3 mm, 3-4 mm y 4-5 mm; y según el color, las categorías se dividieron en fríos (negro, cian, azul, violeta y verde) y cálidos (amarillo, naranja, púrpura, blanco y rojo) según lo mencionado por Boerger *et al.* (2010); Fossi *et al.* (2016) y Lusher *et al.* (2015), y finalmente se pesaron las muestras de microplásticos para lograr analizar la concentración para las tres playas (ver Apéndice 24, Apéndice 25 y Apéndice 26).

Identificación química de microplásticos. Para identificar la composición química de las partículas plásticas se usó el espectroscopio infrarrojo por transformación de Bruker Fourier (FT-IR) con reflectancia total atenuada (ATR). De esta manera, la confirmación de diferentes polímeros se verificó con la base de datos del Laboratorio de Investigación y Certificaciones (LABICER) de la Universidad Nacional de Ingeniería, cabe mencionar que la identificación química fue realizada por el personal del laboratorio. Asimismo, no todas las partículas fueron probadas por espectroscopía, por lo cual, para obtener conclusiones firmes, se eligieron los microplásticos representativos para la detección, el criterio para la representatividad de microplásticos seleccionados fue la predominancia y procedencia de las partículas en los sitios estudiados según lo mencionado por Changbo *et al.* (2018).

2.4.4. Fase de gabinete

La fase de gabinete está comprendida por:

Procesamiento de información obtenida

Caracterización de microplásticos. Se identificaron las características físicas de microplásticos según su forma, color y tamaño; para después expresarlas en número de partículas por kg de sedimento seco, pesos y porcentajes según categoría con el fin de tener datos significativos. En cuanto a la identificación química, se analizaron los resultados de tipos de polímeros con mayor significancia en cada playa estudiada.

Determinación de la abundancia de microplásticos. La abundancia de microplásticos se calculó mediante el número de partículas microplásticas totales encontradas, realizando este análisis para cada playa.

Distribución de microplásticos. Se determinó la distribución de microplásticos en función a la concentración de tipos de polímeros, color, forma y tamaño de las partículas, para lo cual se realizaron mapas de distribución que presentan dicha concentración en las playas evaluadas de las provincias de Lima y Callao, planteada por Vidyasakar *et al.* (2020) con ligeras modificaciones para el presente estudio ya que no se consideró como un objetivo determinar la correlación de la distribución de microplásticos y las actividades antrópicas. Asimismo, se usaron criterios para graficar la distribución explicados con mayor detalle líneas abajo.

2.5. Identificación de variables y su mensuración

La presente investigación presentó las variables descritas en la Tabla 3 y detalladas abajo:

Tabla 3

Variables de la investigación

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidades
Microplásticos	Características físicas	Tamaño, forma, color	Número de partículas por kg de sedimento seco, g/kg de sedimento seco, porcentaje
		Peso	g/kg de sedimento seco
	Características químicas	Tipos de polímeros	Número de partículas por kg de sedimento seco, g/kg de sedimento seco, porcentaje
	Abundancia	Concentración de MPs	Número de partículas totales por kg de sedimento seco, g/kg de sedimento
	Distribución espacial	Concentración de tipos de polímeros, tamaño, forma y color	Unidades de Concentración de MPs

Nota. Elaboración propia.

2.5.1. Microplásticos

Características físicas de microplásticos

Se identificaron características físicas de MPs como la morfología, color, tamaño y peso.

Identificación de la morfología. Se identificó el tipo de forma de los microplásticos a través de microscopía óptica y la comparación de las partículas encontradas en otros estudios (Shafazamilla *et al.* (2019); Boerger *et al.* (2010); Lusher *et al.*, 2015; Fossi *et al.*, 2016). Según su forma se clasificaron en 3 categorías (fibras, regulares e irregulares). Las unidades se expresaron, de acuerdo a las categorías de tipo de formas microplásticas encontradas, en número de partículas por kg de sedimento seco y en g/kg de sedimento seco, posteriormente en porcentaje.

Identificación del color. Se identificó el color de microplásticos a través de microscopía óptica y la comparación de las partículas encontradas en otros estudios (Shafazamilla *et al.* (2019); Boerger *et al.* (2010); Lusher *et al.*, 2015; Fossi *et al.*, 2016). Según el color se clasificaron 2 categorías, fríos (negro, cian, azul, violeta y verde) y cálidos (amarillo, naranja, púrpura, blanco y rojo). Las unidades se expresaron, de acuerdo a las categorías de colores encontrados, en número de partículas por kg de sedimento seco y en g/kg de sedimento seco, posteriormente en porcentaje.

Identificación de tamaño. Se identificó el tamaño de microplásticos a través de mediciones de las partículas, las mismas que fueron divididas en 4 categorías de tamaño (1-2 mm, 2-3 mm, 3-4 mm y 4-5 mm) por lo sugerido en los estudios de Villanova *et al.* y Cabrera (2018). Las unidades se expresaron, de acuerdo a las categorías de tamaño, en número de partículas por kg de sedimento seco y en g/kg de sedimento seco, posteriormente en porcentaje.

Medición del peso. Se pesaron las muestras microplásticas de las tres playas evaluadas para identificar la mayor concentración en las zonas de estudio. Las unidades se expresaron en g/kg de sedimento seco de acuerdo a lo señalado por Schröder *et al.* (2021).

Característica química de microplásticos

Se identificó la característica química de los microplásticos a través del análisis de Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier-Reflectancia Total Atenuada (FTIR-ATR) para determinar la composición polimérica de los microplásticos según lo mencionado por Changbo *et al.* (2018). La evaluación fue realizada por especialistas del Laboratorio de Investigación y Certificaciones (LABICER) de la Universidad Nacional de Ingeniería. Las unidades se expresaron, de acuerdo a las categorías de la composición polimérica encontradas, en número de partículas por kg de sedimento seco y en g/kg de sedimento seco, posteriormente en porcentaje.

Abundancia de microplásticos por playa evaluada

Para determinar la abundancia de microplásticos por playa evaluada se consideró el número de partículas totales por kg de sedimento seco y el peso de las mismas en g/kg de sedimento seco de cada playa estudiada. Se usó esta unidad con el objetivo de determinar la concentración de microplásticos y obtener resultados comparables con otros estudios.

Distribución espacial de microplásticos por playa evaluada

Para determinar la distribución espacial de microplásticos por playa evaluada se consideró la concentración de tipos de polímeros, forma, color y tamaño de partículas en la elaboración de los mapas de distribución.

2.6. Análisis estadístico de datos

Los datos conseguidos en la presente investigación fueron procesados mediante análisis descriptivo a través del programa Microsoft Office Excel. Además, mediante un programa de Sistema de Información Geográfica (SIG) se elaboraron mapas de la distribución espacial de los microplásticos encontrados en la investigación.

2.7. Materiales y equipos

Se emplearon los siguientes:

- Cuadrantes metálicos de 1 m²
- Pala metálica
- Bolsas ziploc
- Contenedor refrigerante
- Placas de Petri
- Vaso de precipitados de 250 ml
- Papel de aluminio
- Tamiz de 0,5 mm
- Papel filtro de 0,5 mm
- Agua destilada
- Aceite de oliva
- Peróxido de hidrógeno al 10%
- Balanza analítica
- Horno de laboratorio
- Microscopio óptico
- Espectroscopio infrarrojo con transformada de Fourier-Reflectancia total atenuada (FTIR-AT)
- Criterios de identificación física de Dowarah y Devipriya (2019)

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Características físicas

Durante los meses de estudio hubo diferencias en las condiciones ambientales de las zonas de estudio. Durante el primer mes de estudio, el clima tuvo características de invierno por lo que hubo menor actividad en las playas evaluadas; mientras que, en el segundo mes, la presencia de los rayos de sol generó presencia de visitantes y mayor desarrollo de actividades en las zonas de estudio, ello pudo influenciar en la variación de los resultados conseguidos durante los meses de investigación de acuerdo a Shafazamilla, *et al.* (2019). Resaltar que durante el primer mes de muestreo hubo menor concurrencia antrópica, por lo que los residuos plásticos observados fueron mínimos a diferencia del segundo mes.

La cuantificación del tamaño de los microplásticos fue realizada dentro de las instalaciones del laboratorio de biotecnología de la Universidad Católica Sedes Sapientiae como se aprecia en la Figura 21.

Figura 21

Cuantificación de tamaño de MPs



Nota. Elaboración propia.

3.1.1. Tamaño de partículas microplásticas

Se detallan los resultados de las cuatro categorías de tamaños obtenidos.

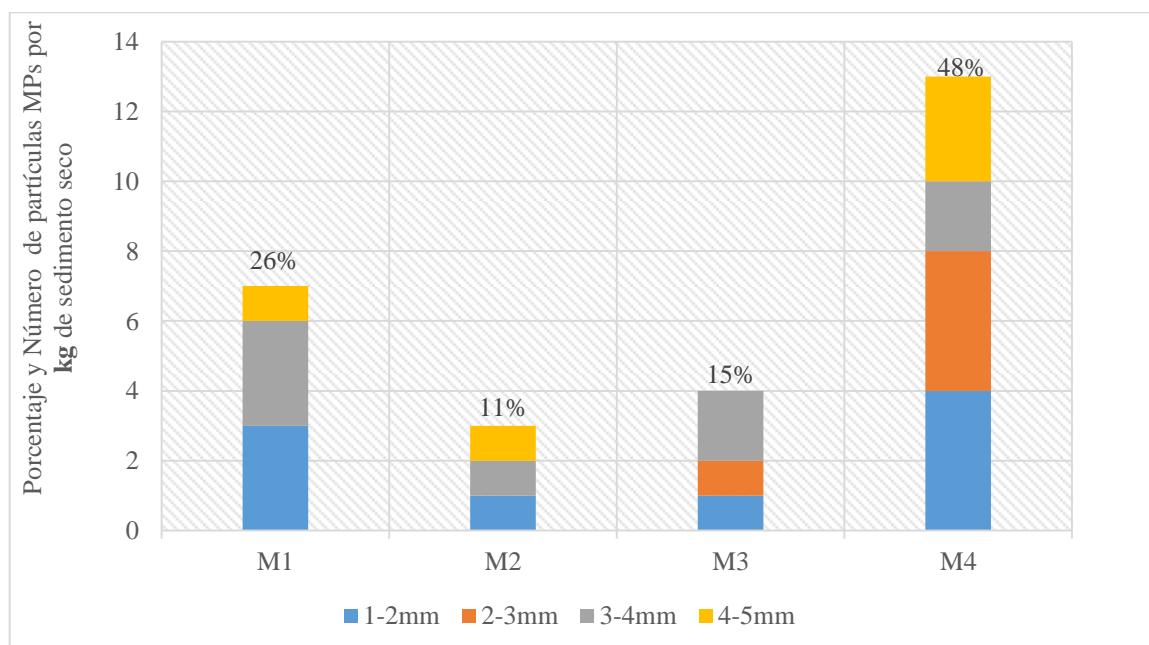
Balneario de Ancón

En la Figura 22 se aprecian los resultados de la clasificación de tamaño de los MPs en el primer mes de estudio expresados en número de partículas por kg de sedimento seco y porcentajes. Los resultados se obtuvieron por cada estación de muestreo.

De acuerdo a lo mostrado en la Figura 22, la mayor cantidad de partículas fueron de la categoría de tamaño 1-2 mm con 9 partículas por kg de sedimento seco en total (en suma, M1, M2, M3 y M4); mientras que la de menores cantidades fueron de las categorías 2-3 mm y 4-5 mm con 5 partículas por kg de sedimento seco cada una. Además, M4 obtuvo mayor presencia en suma de todas las categorías de tamaño de los MPs con un total de 48 %, teniendo en cuenta que fue la estación más próxima al puerto de Ancón; mientras que M2 obtuvo la menor presencia de todas las categorías con un 11 %.

Figura 22

Valores obtenidos de categorías de tamaño en el primer mes de estudio



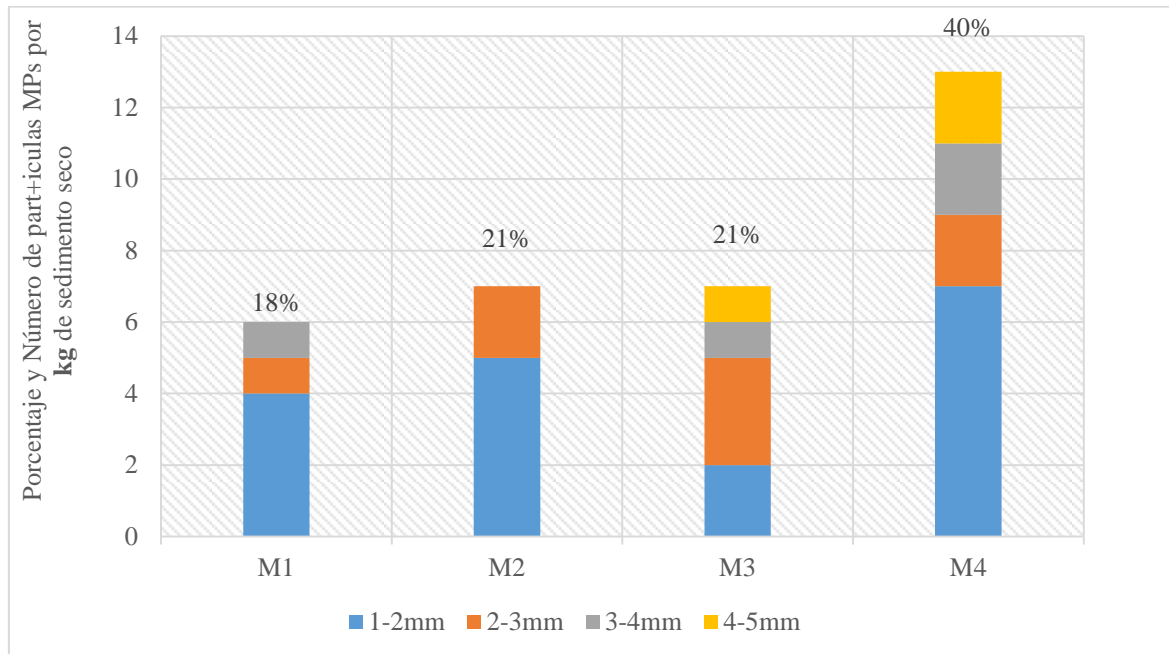
Nota. Elaboración propia.

Como se indicó, en el segundo mes de estudio las condiciones ambientales y sociales fueron diferentes al primer mes; por lo que los resultados variaron para las estaciones muestreadas como se aprecia en la Figura 23.

De acuerdo a lo mostrado en la Figura 23, la mayor cantidad de partículas fueron de la categoría de tamaño 1-2 mm con 18 partículas por kg de sedimento seco en total (en suma, M1, M2, M3 y M4); mientras que la de menores cantidades fueron de las categorías 4-5 mm y 3-4 mm con 3 y 4 partículas por kg de sedimento seco, respectivamente. Además, M4 obtuvo mayor presencia en suma de todas las categorías de tamaño de los MPs con un total de 40 %; mientras que M1 obtuvo la menor presencia de todas las categorías con un 18 %.

Figura 23

Valores obtenidos de categorías de tamaño en el segundo mes de estudio



Nota. Elaboración propia.

Como se aprecia en los resultados obtenidos en ambos meses de estudio, la categoría de tamaño con mayor cantidad de partículas microplásticas fue de 1-2 mm. Además, la estación de muestreo M4 tuvo la mayor cantidad de MPs en todas las categorías de tamaños.

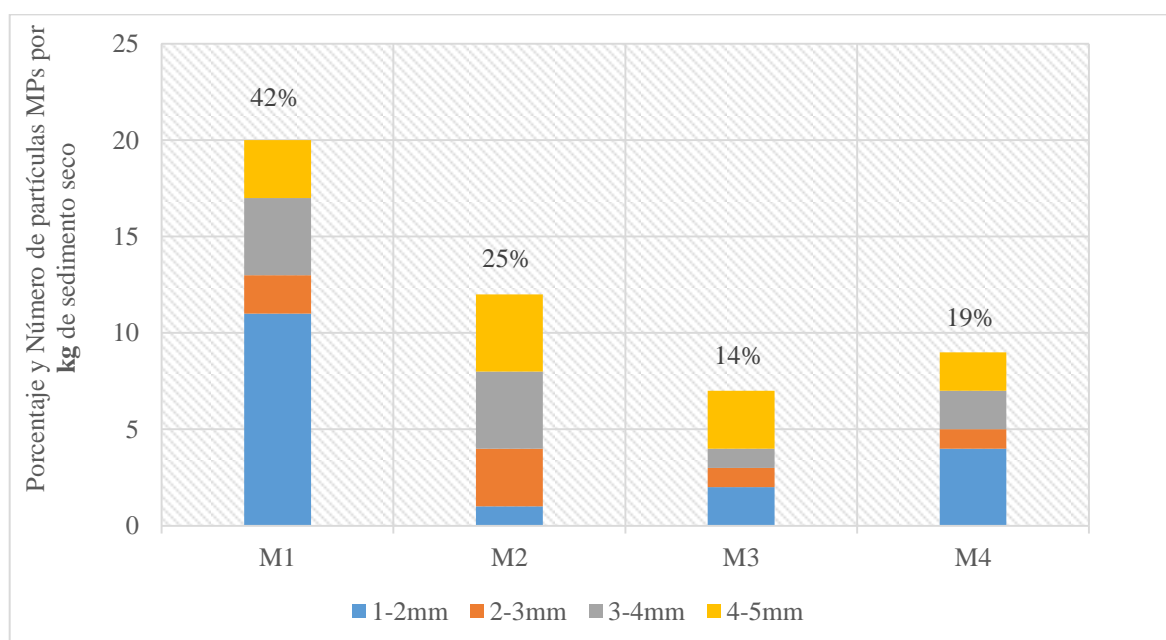
Playa Bahía Blanca

En la Figura 24 se aprecian los resultados de la clasificación de tamaño de los MPs en el primer mes de estudio expresados en número de partículas por kg de sedimento seco y en porcentajes. Los resultados se obtuvieron por cada estación de muestreo.

De acuerdo a lo mostrado en la Figura 24, la mayor cantidad de partículas fueron de la categoría de tamaño 1-2 mm con 18 partículas por kg de sedimento seco en total (en suma, M1, M2, M3 y M4); mientras que la categoría con menor cantidad de partículas fue de 2-3 mm con 7 partículas por kg de sedimento seco. Además, M1 obtuvo mayor presencia en suma de todas las categorías de tamaño de los MPs con un total de 42 %, teniendo en cuenta que fue la estación más próxima a la zona de actividad de pesca artesanal; mientras que M3 obtuvo la menor presencia de todas las categorías con un 14 %.

Figura 24

Valores obtenidos de categorías de tamaño en el primer mes de estudio



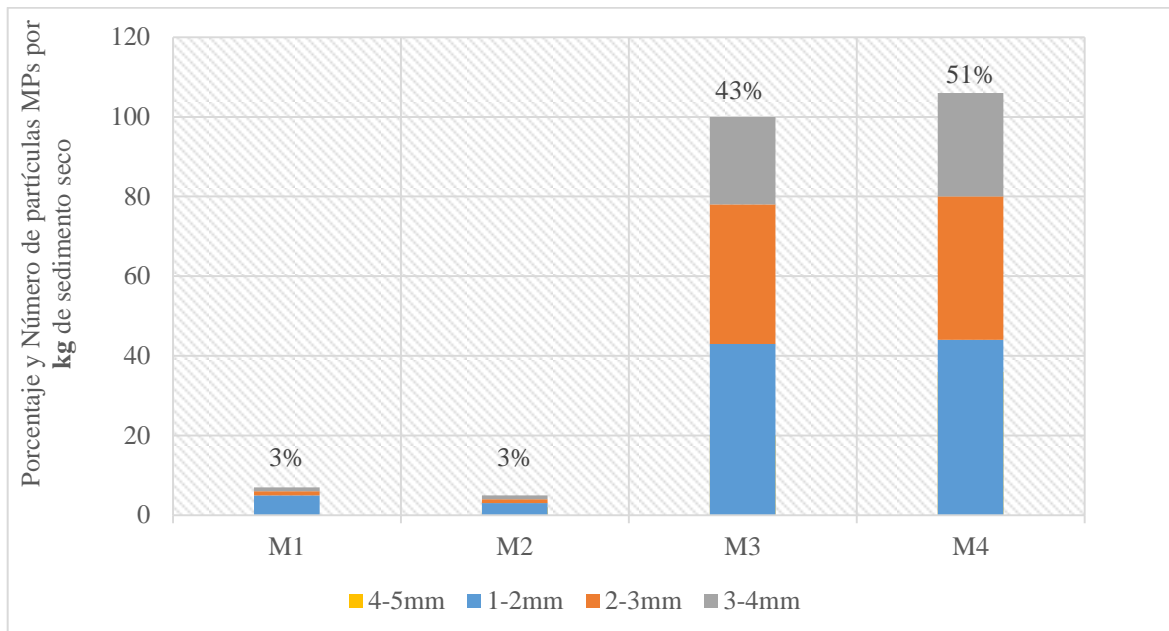
Nota. Elaboración propia.

En el segundo mes de estudio las condiciones ambientales y sociales fueron diferentes al primer mes; por lo que los resultados variaron como se aprecia en la Figura 25.

De acuerdo a lo mostrado en la Figura 25, la mayor cantidad de partículas fueron de la categoría de tamaño 1-2 mm con 95 partículas por kg de sedimento seco en total (en suma, M1, M2, M3 y M4); mientras que la de menores cantidades fueron de las categorías 3-4 mm y 4-5 mm con 50 y 58 partículas por kg de sedimento seco, respectivamente. Además, M4 obtuvo mayor presencia en suma de todas las categorías con un total de 51 %; mientras que M1 y M2 obtuvieron las menores cantidades de todas las categorías con un 3 % cada una.

Figura 25

Valores obtenidos de categorías de tamaño en el segundo mes de estudio



Nota. Elaboración propia.

Como se aprecia en los resultados de ambos meses de estudio, la categoría de tamaño con mayor cantidad de microplásticos fue de 1-2 mm. Además, la estación de muestreo M1 tuvo la mayor cantidad de MPs en todas las categorías de tamaños en el primer mes, mientras que M4 obtuvo la mayor cantidad en el segundo mes.

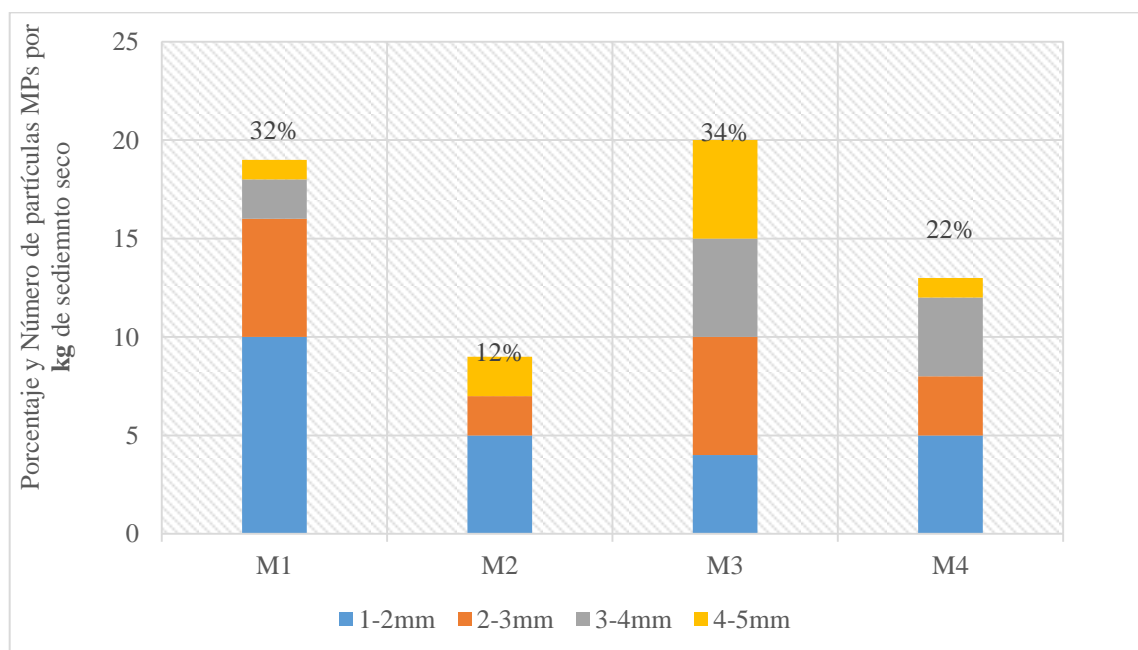
Playa Agua Dulce

En la Figura 26 se aprecian los resultados de la clasificación de tamaño de los MPs en el primer mes de estudio expresados en partículas por kg de sedimento seco y en porcentajes. Los resultados se obtuvieron por cada estación de muestreo.

De acuerdo a lo mostrado en la Figura 26, la mayor cantidad de partículas fueron de la categoría de tamaño 1-2 mm con 24 partículas por kg de sedimento seco en total (en suma, M1, M2, M3 y M4); mientras que la categoría con menor cantidad de partículas fue de 4-5 mm con 9 partículas por kg de sedimento seco. Además, M3 obtuvo mayor presencia en suma de todas las categorías de tamaño de los MPs con un total de 34 %, teniendo en cuenta que fue la estación más próxima a la zona de restaurantes de Agua dulce; mientras que M2 obtuvo la menor presencia de todas las categorías con un 12 %.

Figura 26

Valores obtenidos de categorías de tamaño en el primer mes de estudio



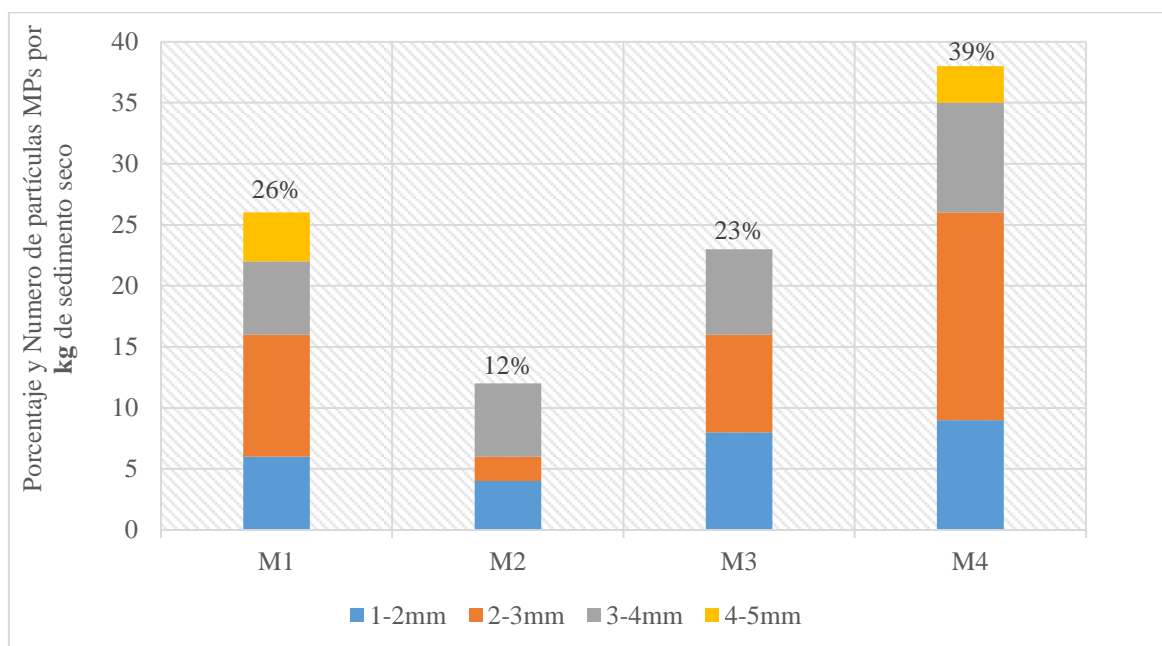
Nota. Elaboración propia.

Como se indicó, en el segundo mes de estudio las condiciones ambientales y sociales fueron diferentes al primer mes por lo que los resultados variaron para las estaciones muestreadas como se aprecia en la Figura 27.

De acuerdo a lo mostrado en la Figura 27, la mayor cantidad de partículas fueron de la categoría de tamaño 2-3 mm con 37 partículas por kg de sedimento seco en total (en suma, M1, M2, M3 y M4); mientras que la de menor cantidad fue de la categoría 4-5 mm con 7 partículas por kg de sedimento seco. Además, M4 obtuvo mayor presencia en suma de todas las categorías de tamaño de los MPs con un porcentaje total de 39 %; mientras que M2 obtuvo la menor cantidad de todas las categorías de tamaño con un porcentaje total de 12 %.

Figura 27

Valores obtenidos de categorías de tamaño en el segundo mes de estudio



Nota. Elaboración propia.

Como se aprecia en los resultados obtenidos en ambos meses de estudio, las categorías de tamaño con mayores cantidades de partículas microplásticas fueron de 1-2 mm y de 2-3 mm. Además, la estación de muestreo M3 tuvo la mayor cantidad de MPs en todas las categorías de tamaños en el primer mes, mientras que M4 obtuvo la mayor cantidad en el segundo mes.

Resultados de las categorías de tamaño de MPs expresados en g/kg de sedimento seco

A fin de obtener resultados comparables con otros estudios, en cuanto a unidades, en la Tabla 4 y Tabla 5 se observan los resultados de la clasificación de tamaño de los MPs en el primer mes y segundo mes de estudio expresados en g/kg de sedimento seco. Los resultados se obtuvieron por cada estación de muestreo de las tres playas evaluadas.

Tabla 4*Categorías de tamaño expresados en g/kg en el primer mes de estudio*

Playas	Transectos															
	M1				M2				M3				M4			
	1-2 mm	2-3 mm	3-4 mm	4-5 mm	1-2 mm	2-3 mm	3-4 mm	4-5 mm	1-2 mm	2-3 mm	3-4 mm	4-5 mm	1-2 mm	2-3 mm	3-4 mm	4-5 mm
BA	0,0021	0,0000	0,0051	0,0021	0,0048	0,0000	0,0095	0,0119	0,0007	0,0020	0,0053	0,0000	0,0012	0,0023	0,0016	0,0029
BB	0,0337	0,0144	0,0385	0,0361	0,0094	0,0424	0,0753	0,1177	0,0042	0,0042	0,0056	0,0209	0,0113	0,0048	0,0129	0,0161
AD	0,0368	0,0509	0,0226	0,0141	0,0177	0,0106	0,0000	0,0177	0,0201	0,0604	0,0671	0,0671	0,0199	0,0256	0,0455	0,0142

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 4 se aprecian los pesos de las categorías de tamaño de MPs en gramos. En el Balneario de Ancón, la categoría con mayor cantidad de partículas microplásticas fue la de 3-4 mm con un peso de 0,0215 g/kg de sedimento seco; además, M2 tuvo la mayor cantidad de MPs en suma de todas las categorías cuyo peso es de 0,0262 g/kg de sedimento seco. Asimismo, en Bahía Blanca, la categoría con mayor cantidad de partículas microplásticas fue la de 4-5 mm con un peso de 0,1908 g/kg de sedimento seco; además, M2 tuvo la mayor cantidad de MPs en suma de todas las categorías cuyo peso es de 0,2448 g/kg de sedimento seco. Por último, en Agua Dulce la categoría con mayor cantidad de partículas microplásticas fue la de 2-3 mm con un peso de 0,1475 g/kg de sedimento seco; además, M3 tuvo la mayor cantidad de MPs en suma de todas las categorías cuyo peso es de 0,2147 g/kg de sedimento seco.

Tabla 5*Categorías de tamaño expresados en g/kg en el segundo mes de estudio*

Playas	Transectos															
	M1				M2				M3				M4			
	1-2 mm	2-3 mm	3-4 mm	4-5 mm	1-2 mm	2-3 mm	3-4 mm	4-5 mm	1-2 mm	2-3 mm	3-4 mm	4-5 mm	1-2 mm	2-3 mm	3-4 mm	4-5 mm
BA	0,0284	0,0171	0,0227	0,0000	0,0289	0,0217	0,0000	0,0000	0,0149	0,0447	0,0199	0,0248	0,0466	0,0280	0,0373	0,0466
BB	0,0168	0,0072	0,0096	0,0000	0,0210	0,0126	0,0168	0,0421	0,4890	0,7033	0,5627	0,6698	0,7388	1,0931	1,0526	1,8218
AD	0,0579	0,2177	0,1737	0,1447	0,0232	0,0279	0,1116	0,0000	0,0621	0,1147	0,1338	0,0000	0,0873	0,3180	0,2244	0,0935

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 5 se aprecia los pesos de las categorías de tamaño de MPs en gramos. En el Balneario de Ancón, la categoría con mayor cantidad de partículas microplásticas fue la de 1-2 mm con un peso de 0,1189 g/kg de sedimento seco; además, M4 tuvo la mayor cantidad de MPs en suma de todas las categorías cuyo peso es de 0,1585 g/kg de sedimento seco. Asimismo, en Bahía Blanca, la categoría con mayor cantidad de partículas microplásticas fue la de 4-5 mm con un peso de 2,5337 g/kg de sedimento seco; además, M4 tuvo la mayor cantidad de MPs en suma de todas las categorías cuyo peso es de 4,7063 g/kg de sedimento seco. Por último, en Agua Dulce la mayor cantidad de partículas microplásticas fue la categoría de 2-3 mm con un peso de 0,6783 g/kg de sedimento seco; además, M4 tuvo la mayor cantidad de MPs en suma de todas las categorías cuyo peso es de 0,7232 g/kg de sedimento seco.

3.1.2. Forma de partículas microplásticas

En la Figura 28 se puede visualizar las muestras de microplásticos cuantificadas por estaciones de muestreo y playas evaluadas.

Figura 28

Cuantificación de la categorías de formas de MPs



Nota. Elaboración propia.

Se detallan los resultados obtenidos de la clasificación de las tres categorías de formas de microplásticos obtenidos en las playas evaluadas durante los dos meses de estudio.

Balneario de Ancón

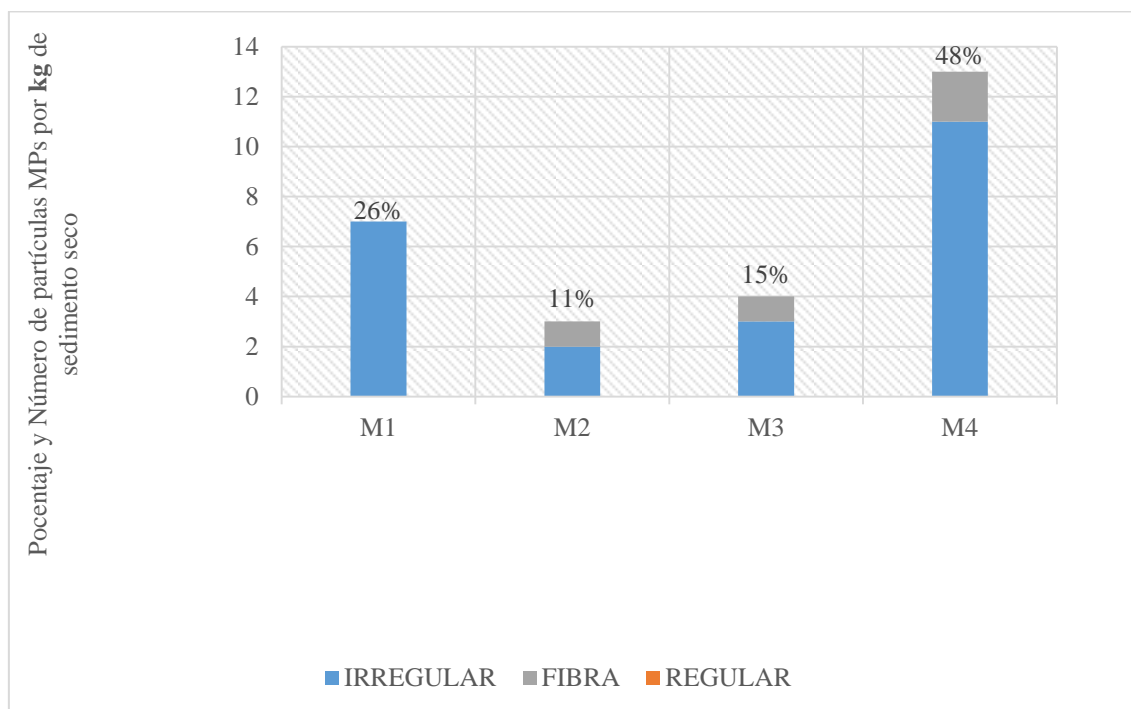
En la Figura 29 se aprecian los resultados de la clasificación de forma de los MPs en el primer mes de estudio expresados en número de partículas por kg de sedimento seco y en porcentajes. Los resultados se obtuvieron por cada estación de muestreo.

Como se ve en la Figura 29, la mayor cantidad de partículas fueron de la categoría de forma irregular con 23 partículas por kg de sedimento seco en total (en suma, de M1, M2, M3 y M4), y el menor número de partículas fueron de la categoría de fibra con 4 partículas

por kg de sedimento seco, mientras que la categoría regular no se encontraron partículas. Además, M4 es la estación que presentó mayor porcentaje con el 48 %, mientras que la estación con el menor porcentaje es M2 con el 11 %.

Figura 29

Valores obtenidos de categorías de forma en el primer mes de estudio



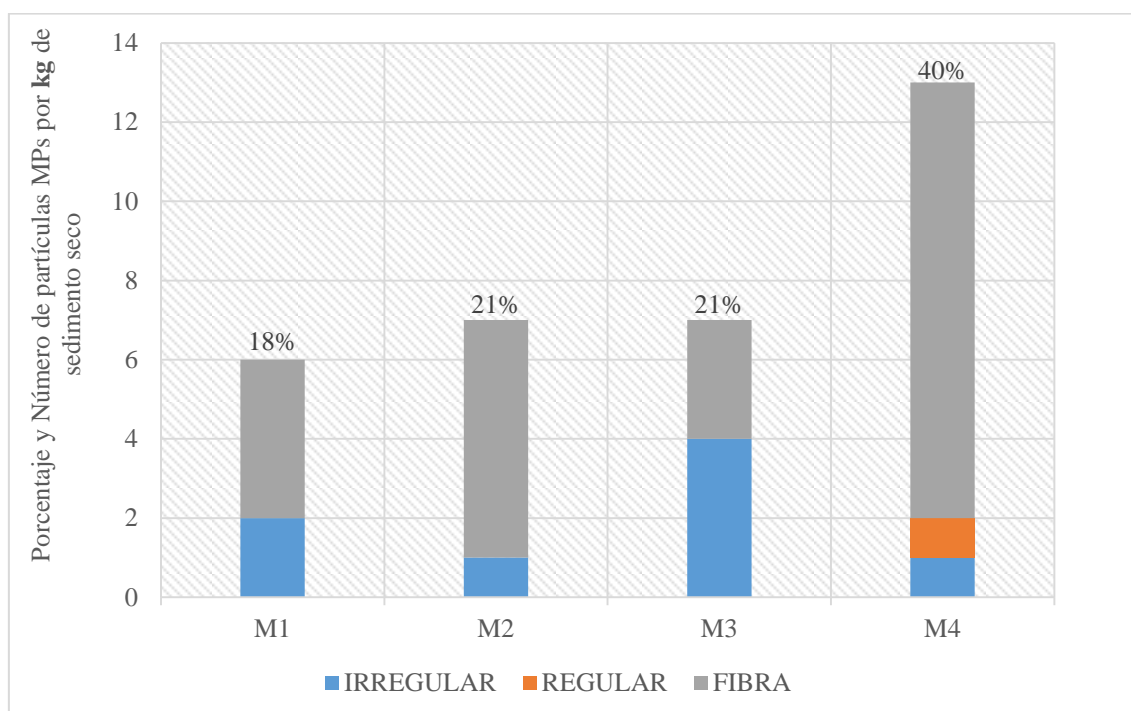
Nota. Elaboración propia.

En el segundo mes de estudio se observaron variaciones debido a factores sociales a diferencia del primer mes, por lo que los valores incrementaron como se aprecia en la Figura 30.

Según la Figura 30, la mayor cantidad de partículas fueron de la categoría de fibra con 24 partículas por kg de sedimento seco en total (en suma, de M1, M2, M3 y M4), y el menor número de partículas fueron de la categoría irregular con 8 partículas por kg de sedimento seco. Además, la estación M4 obtuvo una mayor presencia con un porcentaje total de 40 % y la estación con menor presencia de microplásticos fue M1 con un porcentaje total de 18 %, debido a los oleajes fuertes de ese mes.

Figura 30

Valores obtenidos de categorías de forma en el segundo mes de estudio



Nota. Elaboración propia.

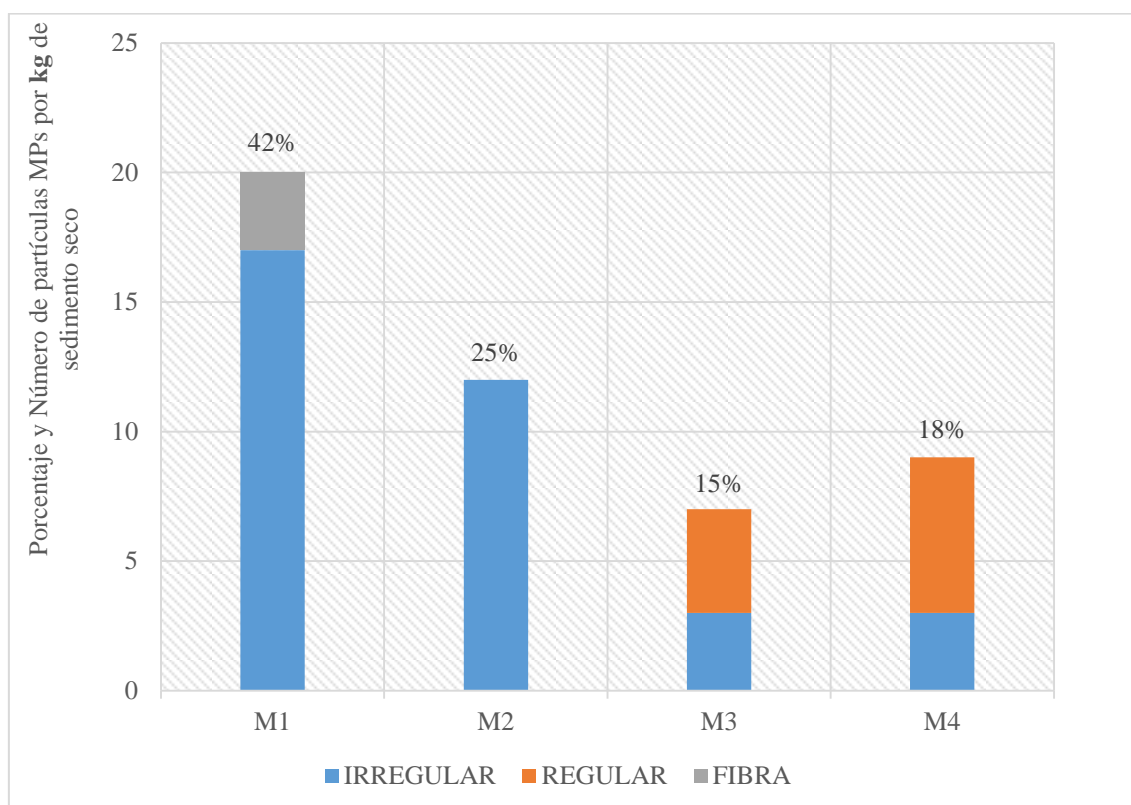
Se puede visualizar en los resultados antes descritos para ambos meses de estudio, las categorías de forma con mayor cantidad de partículas microplásticas fueron irregular y de fibra. Asimismo, la estación de muestreo M4 presentó la mayor cantidad de MPs en las categorías de forma.

Playa Bahía Blanca

En la Figura 31 se aprecian los resultados de la clasificación de forma de los MPs en el primer mes de estudio expresados en partículas por kg de sedimento seco y en porcentajes. Los resultados se obtuvieron por cada estación de muestreo. En la Figura 31 se observa que la mayor cantidad de partículas fueron de la categoría de forma irregular con 35 partículas por kg de sedimento seco en total (en suma, de M1, M2, M3 y M4) y la menor cantidad de partículas fueron de la categoría fibra con 3 partículas por kg de sedimento seco. Además, M1 es la que presenta mayor porcentaje con el 42 %, mientras que, M3 obtuvo el menor porcentaje en suma de todas las categorías con el 15 %.

Figura 31

Valores obtenidos de categorías de forma en el primer mes de estudio



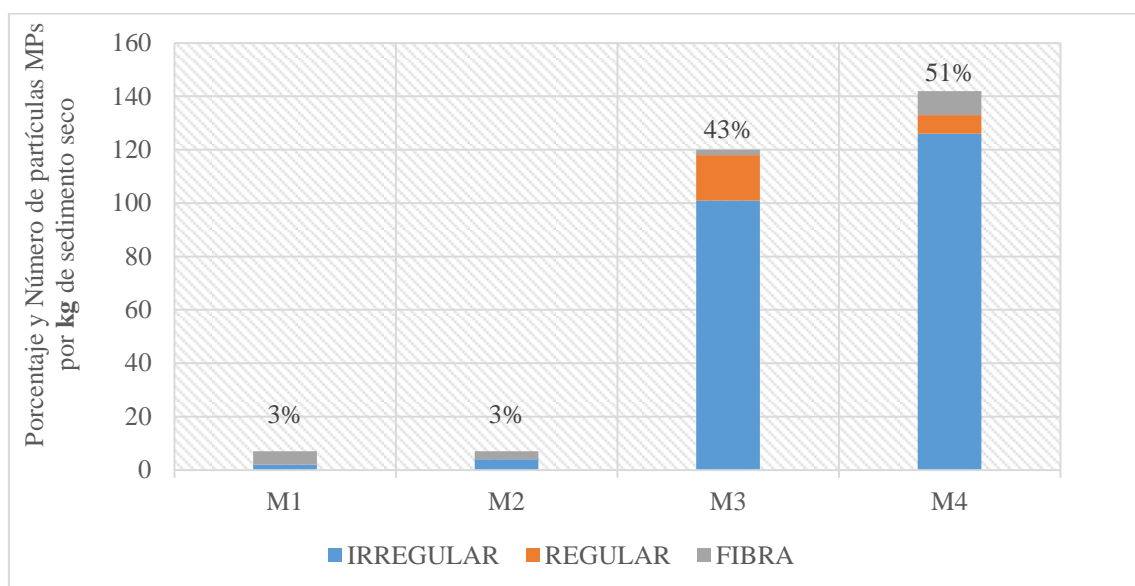
Nota. Elaboración propia.

En el segundo mes de muestreo las condiciones ambientales y sociales fueron diferentes al primer mes por lo que los resultados variaron para las estaciones evaluadas como se aprecia en la Figura 32.

Por lo observado en la Figura 32, la mayor cantidad de partículas fueron de la categoría de forma irregular con 233 partículas por kg de sedimento seco en total (en suma, de M1, M2, M3 y M4) y la menor cantidad de partículas fueron de la categoría fibra con 19 partículas por kg de sedimento seco. Además, M4 es la que presenta mayor porcentaje con el 51 %, y las estaciones menor presencia fueron M1 y M2 con el 3 %.

Figura 32

Valores obtenidos de categorías de forma en el segundo mes de estudio



Nota. Elaboración propia.

Basado en los resultados obtenidos en ambos meses de estudio, la categoría de forma con mayor cantidad de partículas microplásticas fue de irregular. De tal manera, la estación de muestreo M1 tuvo la mayor cantidad de MPs en todas las categorías de forma para el primer mes; caso contrario sucedió en el segundo mes, ya que la estación de muestreo M4 obtuvo la mayor cantidad.

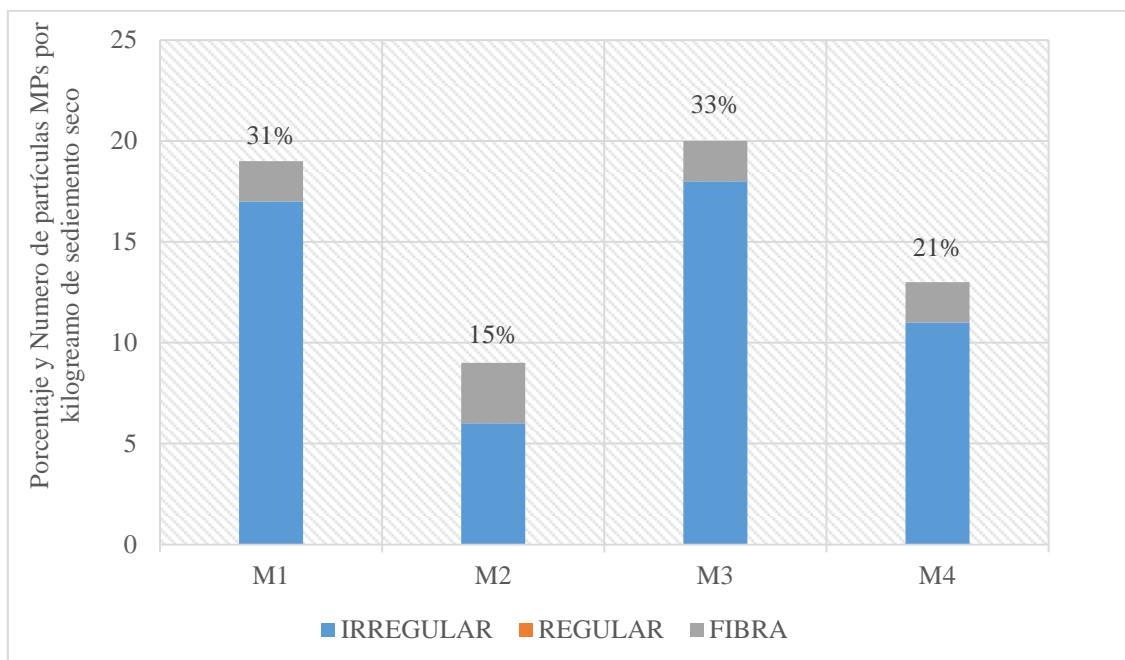
Playa Agua Dulce

En la Figura 33 se aprecian los resultados de la clasificación de tamaño de los MPs en el primer mes de evaluación expresados en número de partículas por kg de sedimento seco y en porcentajes. Los resultados se obtuvieron por cada estación de muestreo.

Por lo expuesto en la Figura 33, la mayor cantidad de partículas fueron de la categoría de forma irregular con un total de 52 partículas por kg de sedimento seco en total (en suma, de M1, M2, M3 y M4); mientras que la categoría con menor cantidad fue de regular con 0 partículas por kg de sedimento seco. Además, M3 obtuvo mayor presencia en suma de las categorías de forma de los MPs encontradas con un total de 33 %, mientras que M2 obtuvo la menor presencia con un total de 15 %.

Figura 33

Valores obtenidos de categorías de forma en el primer mes de estudio



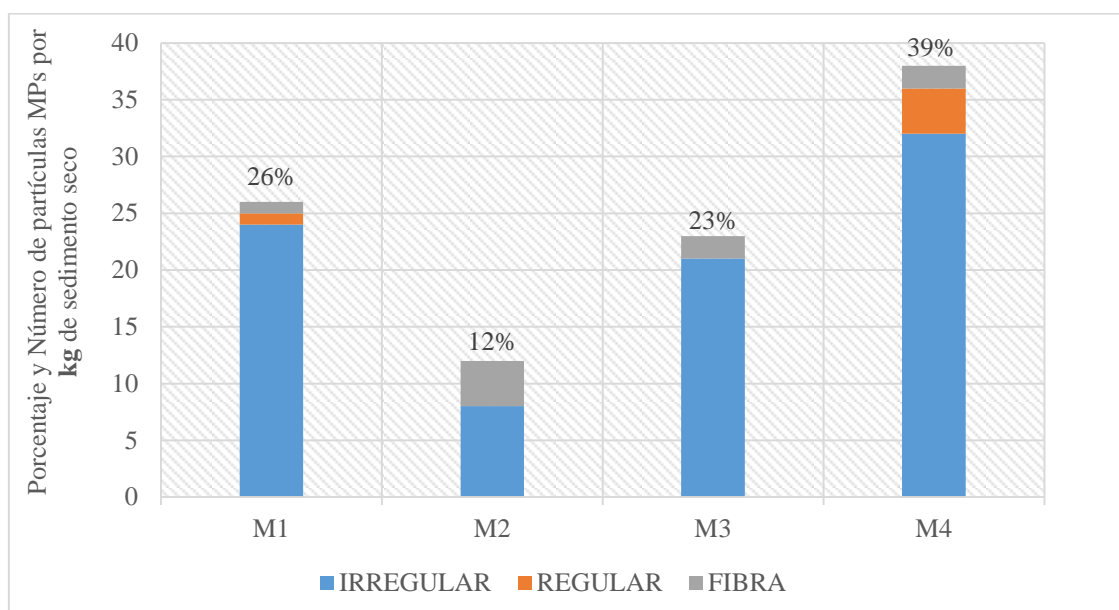
Nota. Elaboración propia.

En el segundo mes de muestreo las condiciones ambientales y sociales fueron diferentes al primer mes por lo que los resultados variaron para las estaciones muestreadas como se aprecia en la Figura 34.

Según indica la Figura 34, la mayor cantidad de partículas fueron de la categoría de forma irregular con 85 partículas por kg de sedimento seco en total (en suma, de M1, M2, M3 y M4); mientras que la de menor cantidad fue de la categoría regular con 5 partículas por kg de sedimento seco. Además, M4 obtuvo la mayor presencia en suma de todas las categorías de forma de los MPs con un porcentaje del 39 %, mientras que M2 obtuvo la menor cantidad en suma de todas las categorías de forma presentes y no presentes con 12 %.

Figura 34

Valores obtenidos de categorías de forma en el segundo mes de estudio



Nota. Elaboración propia.

En los resultados obtenidos en los dos meses de estudio, las categorías de forma con mayores cantidades de partículas microplásticas fueron de la categoría irregular. Además, la estación de muestreo M3 tuvo la mayor cantidad de MPs en suma de todas las categorías de forma en el primer mes (presentes y no presentes), mientras que M4 obtuvo la mayor cantidad en el segundo mes; ello puede estar relacionado a que en la estación M3 se visualizó la variedad de puestos de comida y ambulantes, y para el segundo mes de estudio en la estación M4 se observó el incremento de bañistas que se ubican en la zona de zona de ingreso a la playa.

Resultados de las categorías de tamaño de MPs expresados en g/kg sedimento seco

A fin de obtener resultados comparables con otros estudios, en cuanto a unidades, en la Tabla 6 y Tabla 7 se observan los resultados de la clasificación de forma de los MPs en el primer mes y segundo mes de estudio expresados en g/kg de sedimento seco.

Los resultados se obtuvieron por cada estación de muestreo de las tres playas evaluadas. A continuación, se presenta la Tabla 6.

Tabla 6*Categorías de forma expresados en g/kg en el primer mes de estudio*

Playas	Estaciones de muestreo											
	M1			M2			M3			M4		
	Irregular	Regular	Fibra	Irregular	Regular	Fibra	Irregular	Regular	Fibra	Irregular	Regular	Fibra
BA	0,0093	0,0000	0,0000	0,0214	0,0000	0,0048	0,0073	0,0000	0,0007	0,0076	0,0000	0,0007
BB	0,1082	0,0000	0,0144	0,2212	0,0000	0,0000	0,0153	0,0000	0,0195	0,0129	0,0000	0,0195
AD	0,1131	0,0000	0,0113	0,0301	0,0000	0,0159	0,2147	0,0000	0,0168	0,0882	0,0000	0,0171

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 6 se aprecian los pesos de las categorías de forma de MPs en gramos. En el Balneario de Ancón, la categoría con mayor cantidad de partículas microplásticas fue la irregular con un peso de 0,0456 g/kg de sedimento seco; además, M2 tuvo mayor cantidad de MPs en suma de todas las categorías cuyo peso es de 0,0262 g/kg de sedimento seco. Asimismo, en Bahía Blanca, la categoría con mayor cantidad de partículas microplásticas fue la irregular con un peso de 0,3576 g/kg de sedimento seco; además, M2 tuvo la mayor cantidad de MPs en suma de todas las categorías cuyo peso es de 0,2212 g/kg de sedimento seco. Finalmente, en Agua Dulce la categoría con mayor cantidad de partículas microplásticas fue de irregular con un peso de 0,4462 de sedimento seco; además, M3 tuvo la mayor cantidad de MPs en suma de todas las categorías cuyo peso es de 0,2315 g/kg de sedimento seco.

A continuación, se presenta la Tabla 7.

Tabla 7

Categorías de forma expresados en g/kg en el segundo mes de estudio

Playas	Estaciones de muestreo											
	M1			M2			M3			M4		
	Irregular	Regular	Fibra	Irregular	Regular	Fibra	Irregular	Regular	Fibra	Irregular	Regular	Fibra
BA	0,0398	0,0000	0,0284	0,0109	0,0000	0,0398	0,0695	0,0000	0,0347	0,0093	0,0233	0,1259
BB	0,0120	0,0000	0,0215	0,0421	0,0000	0,0505	2,0564	0,3751	0,0335	4,2407	0,2328	0,2328
AD	0,5644	0,0217	0,0072	0,1209	0,0000	0,0418	0,3010	0,0000	0,0096	0,6235	0,0811	0,0187

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 7 se aprecian los pesos de las categorías de tamaño de MPs en gramos. En el Balneario de Ancón, la categoría con mayor cantidad de partículas microplásticas fue la de fibra con un peso de 0,2289 g/kg de sedimento seco; además, M4 tuvo mayor cantidad de MPs en suma de todas las categorías cuyo peso es de 0,1585 g/kg de sedimento seco. Asimismo, en Bahía Blanca, la categoría con mayor cantidad de partículas microplásticas fue la de irregular con un peso de 6,3512 g/kg de sedimento seco; además, M4 tuvo la mayor cantidad de MPs en suma de todas las categorías cuyo peso es de 4,7063 g/kg de sedimento seco. Por último, en Agua Dulce la mayor cantidad de partículas microplásticas fue la categoría de irregular con un peso de 1,6098 g/kg de sedimento seco; además, M4 tuvo la mayor cantidad de MPs en suma de todas las categorías cuyo peso es de 0,7233 g/kg de sedimento seco.

3.1.3. Color de partículas microplásticas

Las muestras para ser cuantificadas se visualizan en la Figura 35.

Figura 35

Cuantificación de la categorías de color de MPs



Nota. Elaboración propia.

Se detallan los resultados obtenidos de la clasificación de las dos categorías de formas de microplásticos obtenidos en las playas evaluadas durante los dos meses de estudio.

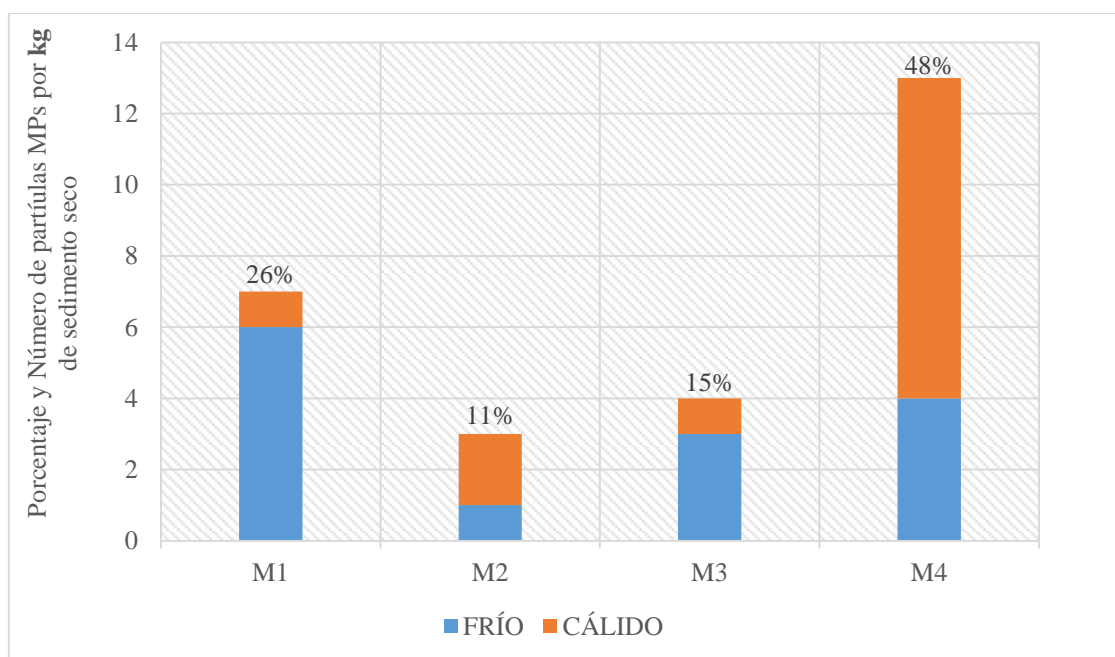
Balneario de Ancón

En la Figura 36 se aprecian los resultados de la clasificación de tamaño de los MPs en el primer mes de estudio expresados en número de partículas por kg de sedimento seco y en porcentajes. Los resultados se obtuvieron por cada estación de muestreo en la playa evaluada.

Por lo observado en la Figura 36, la mayor cantidad de partículas fueron de la categoría de colores fríos con 14 partículas por kg de sedimento seco en total (en suma, M1, M2, M3 Y M4); mientras que la categoría con menor cantidad fue la categoría cálidos con 13 partículas por kg de sedimento seco cada una. Además, M4 obtuvo la mayor presencia en suma de todas las categorías de colores de los MPs con un total de 48 %; mientras que M2 obtuvo la menor presencia de todas las categorías con un total de 11 %.

Figura 36

Valores obtenidos de categorías de color en el primer mes de estudio



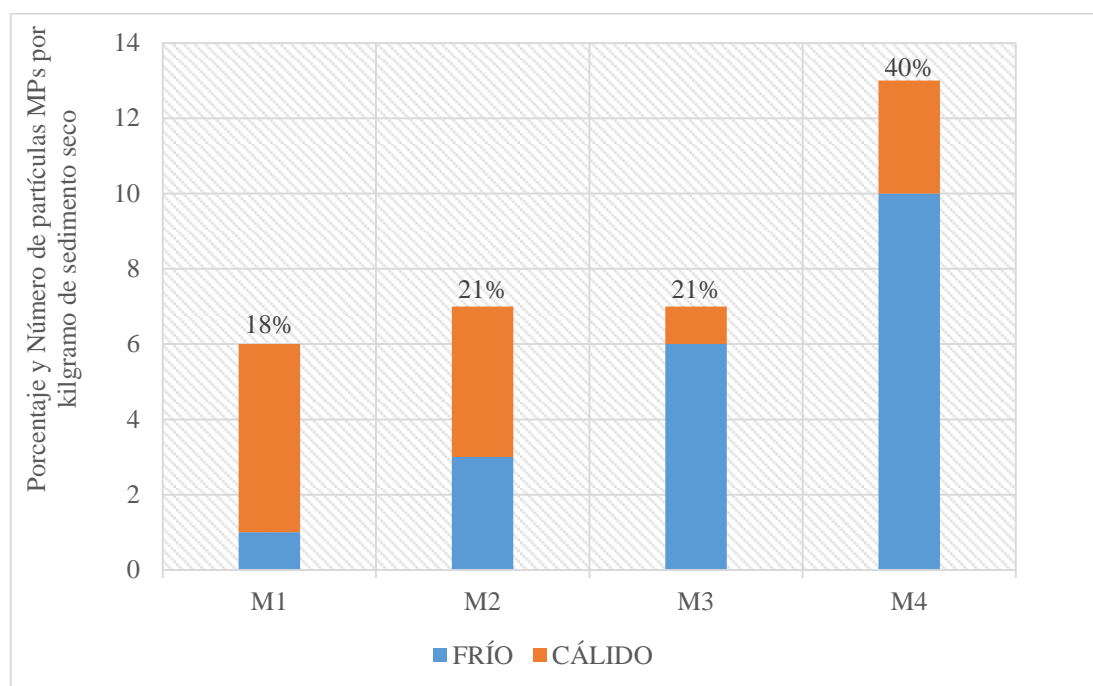
Nota. Elaboración propia.

En el segundo mes de estudio los factores ambientales y antrópicas fueron diferentes al primer mes por lo que los resultados variaron para las estaciones muestreadas como se aprecia en la Figura 37.

Según lo expuesto en la Figura 37, la mayor cantidad de partículas fueron de la categoría de colores fríos con 20 partículas por kg de sedimento seco en total (en suma, M1, M2, M3 y M4); mientras que la categoría de menor cantidad fueron la de colores cálidos con 13 partículas por kg de sedimento seco. Además, M4 obtuvo mayor presencia en suma a las dos categorías de colores de los MPs con un total de 40 %; mientras que M1 obtuvo la menor presencia de todas las categorías con porcentaje total de 18 %.

Figura 37

Valores obtenidos de categorías de color en el segundo mes de estudio



Nota. Elaboración propia.

En base a los resultados obtenidos en ambos meses de estudio, la categoría de color con mayor cantidad de partículas microplásticas fue de frío. Además, la estación de muestreo M4 tuvo la mayor cantidad de MPs en todas las categorías de colores.

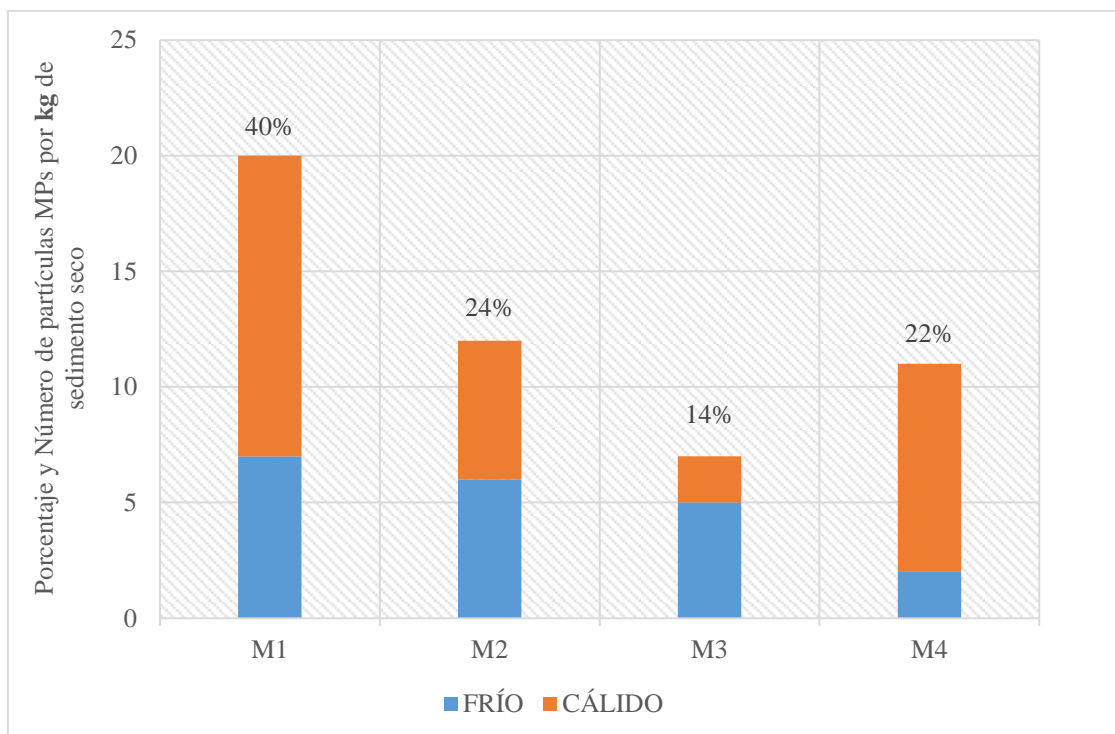
Playa Bahía Blanca

En la Figura 38 se aprecian los resultados de la clasificación de tamaño de los MPs en el primer mes de estudio expresados en número de partículas por kg de sedimento seco y en porcentajes. Los resultados se obtuvieron por cada estación de muestreo.

Por lo mostrado en la Figura 38, la mayor cantidad de partículas fueron de la categoría de color cálido con 30 partículas por kg de sedimento seco en total (en suma, M1, M2, M3 y M4); mientras que la categoría con menor cantidad fue la categoría de frío con 20 partículas por kg de sedimento seco. Además, M1 obtuvo mayor presencia en suma de las dos categorías de color de los MPs con un porcentaje total de 40 %; mientras que M3 obtuvo la menor presencia de todas las categorías con un porcentaje total de 14 %.

Figura 38

Valores obtenidos de categorías de color en el primer mes de estudio



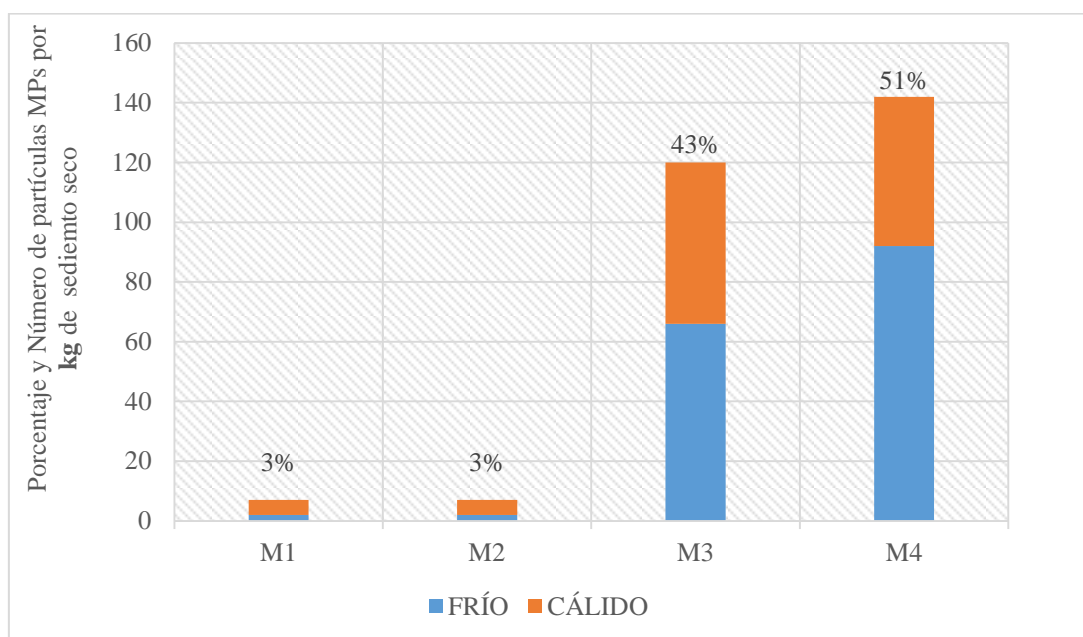
Nota. Elaboración propia.

En el segundo mes de estudio los factores ambientales y sociales fueron diferentes al primer mes por lo que los resultados variaron para las estaciones muestreadas como se aprecia en la Figura 39.

En sintonía a lo representado en la Figura 39, la mayor cantidad de partículas fueron de la categoría de colores fríos con 162 partículas por kg de sedimento seco en total (en suma, M1, M2, M3 y M4); mientras que la categoría de menor cantidad fue de la categoría cálidos con 114 partículas por kg de sedimento seco. Además, M4 obtuvo mayor presencia en suma de todas las categorías de color de los MPs con un total de 51 %; mientras que M1 y M2 obtuvieron las menores cantidades de todas las categorías de color con un 3 % cada uno.

Figura 39

Valores obtenidos de categorías de forma en el segundo mes de estudio



Nota. Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en ambos meses de estudio, las categorías de color con mayor cantidad de partículas fueron frío y cálido. Además, la estación de muestreo M1 tuvo la mayor cantidad de MPs en todas las categorías de color en el primer mes, mientras que M4 obtuvo la mayor cantidad en el segundo mes.

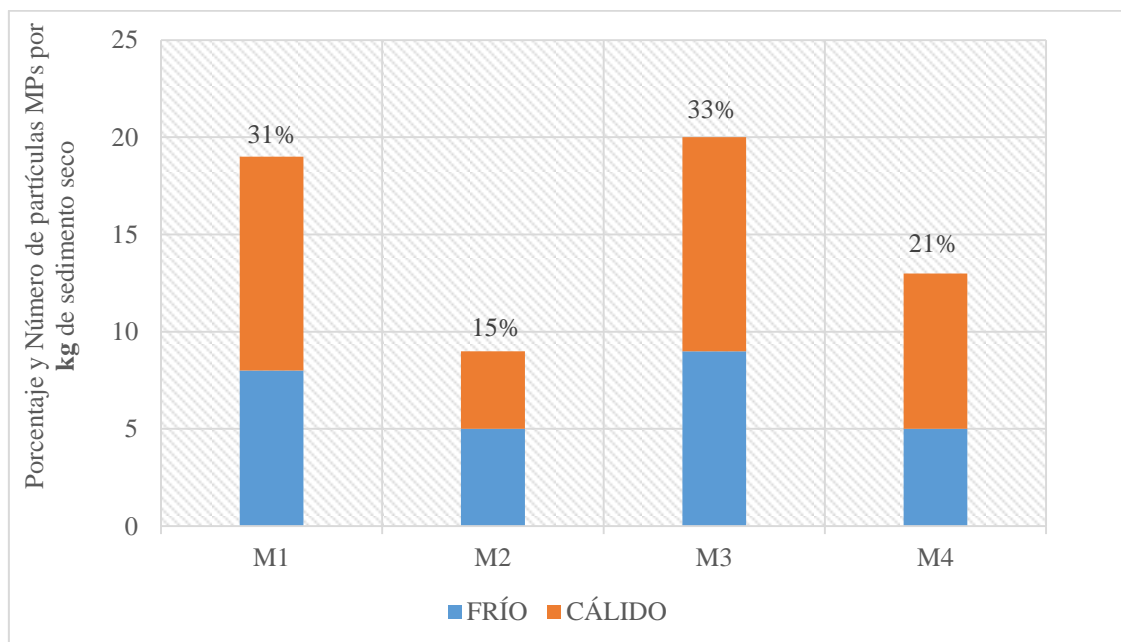
Playa Agua Dulce

En la Figura 40 se aprecian los resultados de la clasificación de tamaño de los MPs en el primer mes de estudio expresados en número de partículas por kg de sedimento seco y en porcentajes. Los resultados se obtuvieron por cada estación de muestreo.

En concordancia a la Figura 40, la mayor cantidad de partículas fueron de la categoría de color cálido con 34 de partículas por kg de sedimento seco en total de las estaciones de muestreo (en suma, M1, M2, M3 y M4); mientras que la categoría con menor cantidad fue del color de frío con 27 partículas por kg de sedimento seco. Además, M3 obtuvo mayor presencia en suma de las dos categorías de color de los MPs con un total de 33 %; mientras que M2 obtuvo la menor presencia de las dos categorías con un 15 %.

Figura 40

Valores obtenidos de categorías de forma en el primer mes de estudio



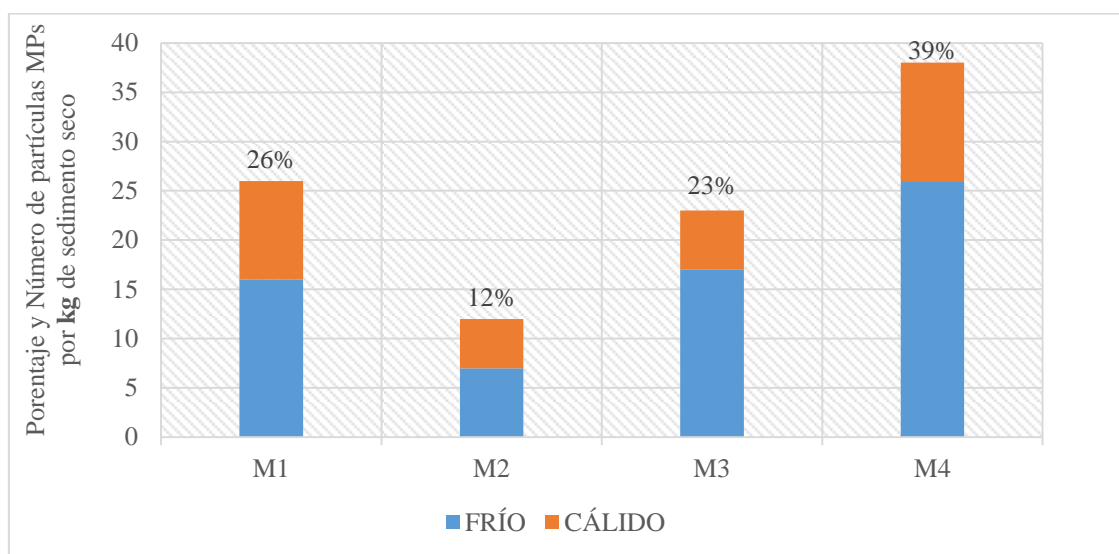
Nota. Elaboración propia.

En el segundo mes de estudio las condiciones ambientales y sociales fueron diferentes al primer mes, por lo que los resultados obtenidos variaron para cada una de las estaciones muestreadas en la playa Agua Dulce (Figura 41).

Por lo señalado en la Figura 41, la mayor cantidad de partículas fueron de la categoría de color frío con 66 partículas por kg de sedimento seco en total (en suma, M1, M2, M3 y M4); mientras que la categoría de menor cantidad fue del color cálido con 33 partículas por kg de sedimento seco. Además, M4 obtuvo mayor presencia en suma de las dos categorías de color de los MPs con un porcentaje total de 39 %, mientras que M2 obtuvo la menor cantidad de las dos categorías de color de microplásticos con un porcentaje total de 12 %.

Figura 41

Valores obtenidos de categorías de forma en el segundo mes de estudio



Nota. Elaboración propia.

Según lo obtenido en los resultados, las categorías de color con mayores cantidades variaron en cada mes. Además, M3 tuvo la mayor cantidad de MPs en el primer mes y M4 en el segundo mes; cerca de M3 había vendedores y en M4, presencia de bañistas.

Resultados de las categorías de color de MPs expresados en g/kg de sedimento seco

En la Tabla 8 y Tabla 9 se observan los resultados de color expresados en peso.

Tabla 8

Categorías de color expresados en g/kg en el primer mes de estudio

Playas	Estaciones de muestreo							
	M1		M2		M3		M4	
	Fríos	Cálidos	Fríos	Cálidos	Fríos	Cálidos	Fríos	Cálidos
Balneario de Ancón	0,0089	0,0004	0,0119	0,0142	0,0073	0,0007	0,0020	0,0061
Bahía Blanca	0,0505	0,0721	0,1083	0,1130	0,0237	0,0111	0,0145	0,0307
Agua Dulce	0,0368	0,0877	0,0248	0,0213	0,0939	0,1376	0,0427	0,0626

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 8 se aprecian los pesos de las categorías de color de MPs en gramos. En el Balneario de Ancón, la categoría con mayor cantidad de partículas microplásticas fue la categoría Fríos con un peso de 0,0301 g/kg de sedimento seco; además, M2 tuvo la mayor cantidad de MPs en suma de todas las categorías con peso de 0,0261 g/kg de sedimento seco. Asimismo, en Bahía Blanca, la categoría con mayor cantidad de partículas fue la de Cálidos con un peso de 0,2269 g/kg de sedimento seco; además, M2 tuvo la mayor cantidad de MPs en suma de todas las categorías cuyo peso es de 0,2213 g/kg de sedimento seco. Por último, en Agua Dulce la categoría con mayor cantidad de partículas fue la categoría Cálidos con un peso de 0,3092 g/kg de sedimento seco; además, M3 tuvo la mayor cantidad de microplásticos en suma de todas las categorías cuyo peso fue 0,2315 g/kg de sedimento seco.

Tabla 9

Categorías de color expresados en g/kg en el segundo mes de estudio

Playas	Estaciones de muestreo							
	M1		M2		M3		M4	
	Fríos	Cálidos	Fríos	Cálidos	Fríos	Cálidos	Fríos	Cálidos
Balneario de Ancón	0,0057	0,0625	0,0181	0,0326	0,0992	0,0050	0,1305	0,0280
Bahía Blanca	0,0096	0,0239	0,0294	0,0631	1,3397	1,1253	2,9655	1,7408
Agua Dulce	0,0369	0,2243	0,1023	0,0604	0,2293	0,0812	0,4863	0,2370

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 9 se aprecian los pesos de las categorías de color de MPs en gramos. En el Balneario de Ancón, la categoría con mayor cantidad de partículas microplásticas fue la categoría Fríos con un peso de 0,2536 g/kg de sedimento seco; además, M4 tuvo la mayor cantidad de MPs en suma de todas las categorías cuyo peso es de 0,1585 g/kg de sedimento seco. Asimismo, en Bahía Blanca, la categoría con mayor cantidad de partículas microplásticas fue la categoría Fríos con un peso de 4,3442 g/kg de sedimento seco; además, M4 tuvo la mayor cantidad de MPs en suma de todas las categorías cuyo peso es de 4,7063 g/kg de sedimento seco. Por último, en Agua Dulce la categoría con mayor cantidad de partículas microplásticas fue la categoría Fríos con un peso de 0,8548 g/kg de

sedimento seco; además, M4 tuvo la mayor cantidad de MPs en suma de todas las categorías cuyo peso es de 0,7232 g/kg de sedimento seco.

Tabla de colores específicos

Con la finalidad de especificar los colores de partículas microplásticas contenidas en las dos categorías de colores de MPs y los colores predominantes de ellos, se muestra la Tabla 10.

En la Tabla 10 se muestran los colores específicos de las tres playas evaluadas en el primer mes de estudio.

Tabla 10

Colores de las categorías de colores en el primer mes de estudio

Playas	Categorías			
	Fríos		Cálidos	
	Colores	Color predominante	Colores	Color predominante
Balneario de Ancón	Azul, negro y verde	Verde y negro	Blanco, naranja y rojo	Blanco y rojo
Bahía Blanca	Azul, celeste morado, negro, plomo y verde	Azul	Amarillo, blanco, naranja, rojo y rosado	Naranja
Agua Dulce	Azul, celeste, fucsia, morado negro, plomo y verde	Azul y verde	Amarillo blanco, rojo y rosado	Blanco y rojo

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 10 se aprecian los colores específicos encontrados en las playas evaluadas en el primer mes de estudio. En el Balneario de Ancón, los colores predominantes de las partículas MPs de la categoría Fríos fue el color verde y negro; mientras que, de la categoría Cálidos, fue blanco y rojo. Asimismo, en Bahía Blanca, el color predominante de la categoría Fríos fue azul; y de la categoría Cálidos, fue naranja. Por último, en Agua Dulce el color predominante de la categoría Fríos fue azul y verde; y, de la categoría Cálidos, fue blanco y rojo.

En la Tabla 11 se muestran los colores específicos de las tres playas evaluadas en el segundo mes de estudio.

Tabla 11

Colores de las categorías de colores en el segundo mes de estudio

Playas	Categorías			
	Fríos		Cálidos	
	Colores	Color predominante	Colores	Color predominante
Balneario de Ancón	Azul, celeste, morado, negro plomo y verde	Verde y azul	Amarillo, blanco, naranja, rojo y rosado	Blanco
Bahía Blanca	Azul, celeste morado, negro, plomo y verde	Azul	Amarillo, blanco, naranja, rojo y rosado	Rojo y blanco
Agua Dulce	Azul, celeste, morado negro, plomo y verde	Azul y celeste	Amarillo blanco, naranja y rojo	Rojo

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 11 se aprecian los colores específicos encontrados en las playas evaluadas en el segundo mes de estudio. En el Balneario de Ancón, los colores predominantes de las partículas MPs de la categoría Fríos fue el color verde y azul; mientras que, de la categoría Cálidos, fue rojo. Asimismo, en Bahía Blanca, el color predominante de la categoría Fríos fue azul; y de la categoría Cálidos, fue rojo y naranja. Por último, en Agua Dulce el color predominante de la categoría Fríos fue azul y celeste; y de la categoría Cálidos, fue blanco.

3.1.4. Peso de partículas microplásticas

A fin de tener resultados que faciliten la comparación con otros estudios sobre microplásticos de unidades de MPs se presentan los valores obtenidos en la investigación expresados en g/kg de sedimento seco. Para lo cual se pesaron las partículas acordes a tal unidad como se muestra en la Figura 42.

Figura 42

Pesado de partículas de MPs



Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 12 se detallan los resultados obtenidos del pesaje de las partículas microplásticas en todas las estaciones de muestreo de las playas evaluadas durante los dos meses de estudio expresados en g/kg de sedimento seco.

Por lo presentado en la Tabla 12, en el Balneario de Ancón, Bahía Blanca y Agua Dulce se encontraron mayores pesos de partículas microplásticas en suma de todas las estaciones en el segundo mes de estudio con valores de 0,3816 g/kg de sedimento seco, 7,2973 g/kg de sedimento seco y 1,7897 g/kg de sedimento seco, respectivamente para cada playa.

Tabla 12*Peso de partículas MPs obtenidos en los meses de estudio*

Playas	Mes de estudio	Estaciones de muestreo							
		M1		M2		M3		M4	
		N° de MPs	Peso	N° de MPs	Peso	N° de MPs	Peso	N° de MPs	Peso
BA	1 ^{er} mes	7	0,0093	3	0,0261	4	0,0078	13	0,0080
	2 ^{do} mes	6	0,0682	7	0,0507	7	0,1042	13	0,1585
BB	1 ^{er} mes	20	0,1226	12	0,2212	7	0,0348	9	0,0452
	2 ^{do} mes	7	0,0335	7	0,0925	120	2,4650	142	4,7063
AD	1 ^{er} mes	19	0,1244	9	0,0461	20	0,2315	13	0,1053
	2 ^{do} mes	26	0,5933	12	0,1627	23	0,3105	38	0,7232

Nota. Elaboración propia.

3.2. Características químicas

Con el propósito de identificar los tipos de polímeros encontrados en las playas evaluadas se realizó el análisis de Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier-Reflectancia Total Atenuada (FTIR-ATR). La evaluación fue realizada por personal del Laboratorio de Investigación y Certificaciones (LABICER) de la Universidad Nacional de Ingeniería (ver Apéndices 28, 29 y 30).

3.2.1. Polímero predominante por playa evaluada

Un total de 544 partículas microplásticas fueron encontradas en las tres playas evaluadas durante los dos meses de estudio; de ellas, se seleccionaron las más abundantes y representativas de cada playa evaluada con el propósito de identificar el tipo de polímero presente. A continuación, se explican los polímeros seleccionados y obtenidos por cada playa.

Balneario de Ancón

Durante los dos meses de muestreo se obtuvieron en total 60 partículas, de las que 12 de ellas fueron partículas con características parecidas entre ellas, pertenecientes a tres colores tales como blanco, azul y rojo. En la Tabla 13 se observa el número de partículas obtenido

de cada uno de los colores predominantes encontrados y que tuvieron las mismas características físicas.

Tabla 13

Número de partículas con características físicas iguales

Mes de estudio	Blanco	Azul	Rojo
1 ^{er} mes	5	1	1
2 ^{do} mes	2	2	1

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 13 se visualiza que las partículas de color blanco (Figura 43) fueron las más predominantes en el Balneario de Ancón. El análisis de espectroscopía identificó a estas partículas como polímeros de polipropileno (PP) tal como se ve en las Figuras 44 y 45.

Figura 43

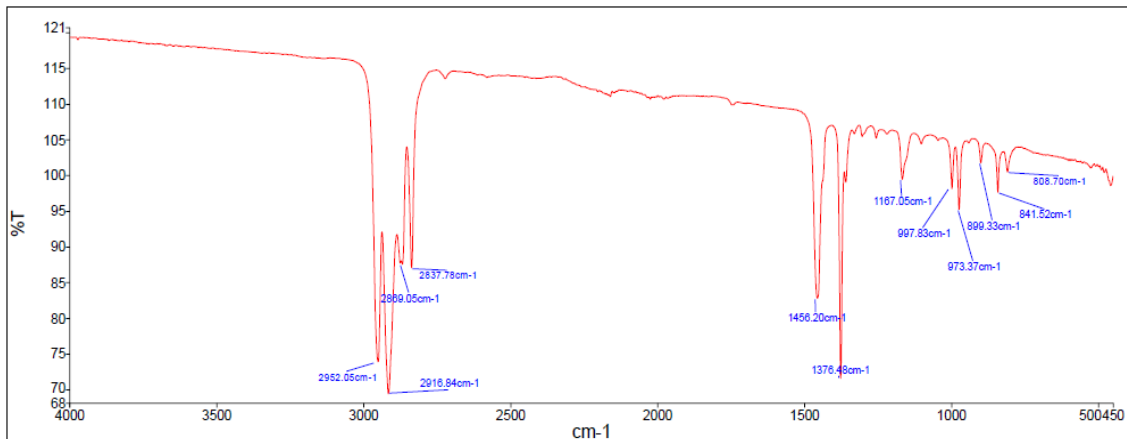
Partícula de MPs color blanco analizada



Nota. Elaboración propia.

Figura 44

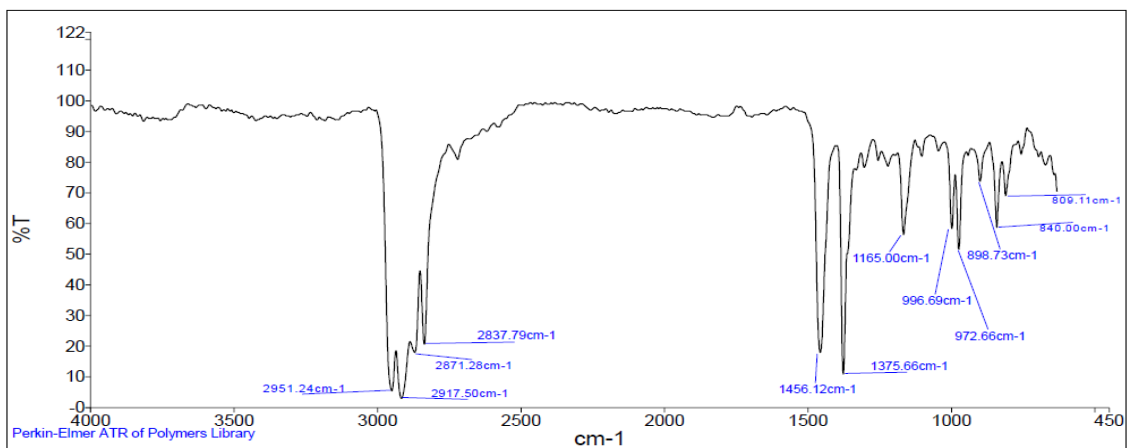
Espectro infrarrojo de la partícula de MPs color blanco analizada



Nota. Labicer-UNI (2021).

Figura 45

Espectro infrarrojo de partícula de polipropileno (PP)



Nota. Labicer-UNI (2021).

Playa Bahía Blanca

Durante los dos meses de muestreo se obtuvieron en total 324 partículas de las que 35 de ellas fueron partículas con características físicas iguales entre ellas, pertenecientes a tres colores tales como blanco, azul y rojo. En la Tabla 15 se observa el número de partículas obtenido de cada uno de los colores predominantes encontrados y que tuvieron las mismas características físicas.

Tabla 14

Número de partículas con características físicas iguales

Mes de estudio	Blanco	Azul	Rojo
1 ^{er} mes	3	5	1
2 ^{do} mes	2	15	9

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 14 se visualiza que las partículas de color azul (Figura 46) fueron las más predominantes en el Bahía Blanca.

El análisis de espectroscopía identificó a estas partículas como polímeros de polietileno (PE) tal como se ve en las Figuras 47 y 48.

Figura 46

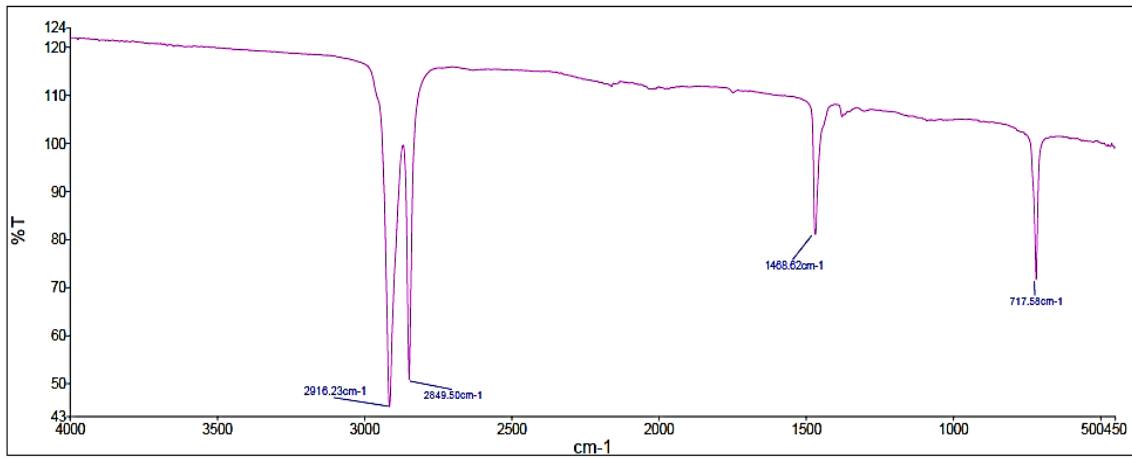
Partícula de MPs color azul analizada



Nota. Elaboración propia.

Figura 47

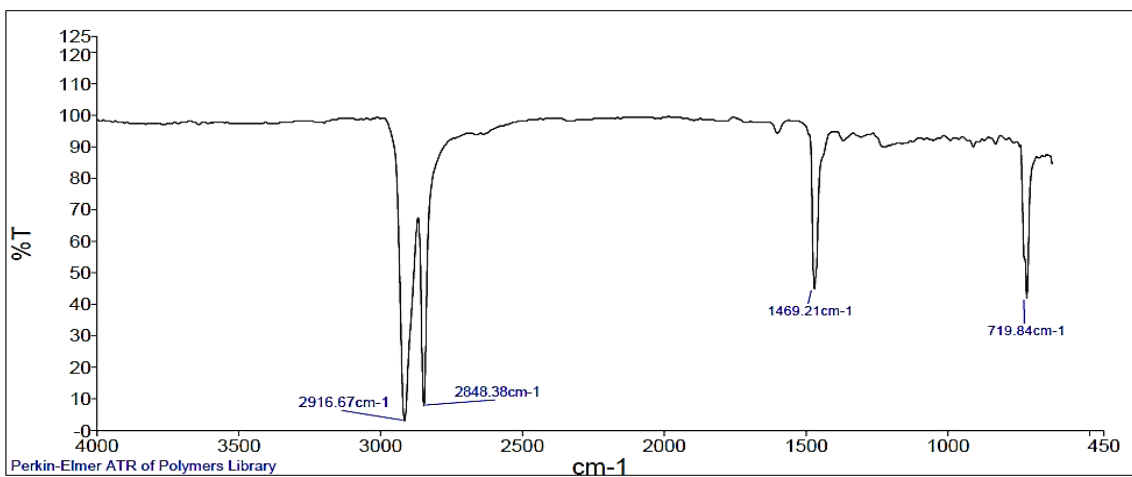
Espectro infrarrojo de la partícula de MPs color azul analizada



Nota. Labicer-UNI (2021).

Figura 48

Espectro infrarrojo de partícula de polietileno (PE)



Nota. Labicer-UNI (2021).

Playa Agua Dulce

Durante los dos meses de muestreo se obtuvieron en total 160 partículas de las que 40 de ellas fueron partículas con características físicas iguales entre ellas, pertenecientes a tres colores tales como blanco, azul y rojo.

En la Tabla 15 se observa el número de partículas obtenidos de cada uno de los colores predominantes encontrados y que tuvieron las mismas características físicas.

Tabla 15

Número de partículas con características físicas iguales

Mes de estudio	Blanco	Azul	Rojo
1 ^{er} mes	5	7	8
2 ^{do} mes	0	7	13

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 15 se visualiza que las partículas de color rojo (Figura 49) fueron las más predominantes en el Agua Dulce. El análisis de espectroscopía identificó a estas partículas como polímeros de polietileno (PE) tal como se ve en las Figuras 50 y 51.

Figura 49

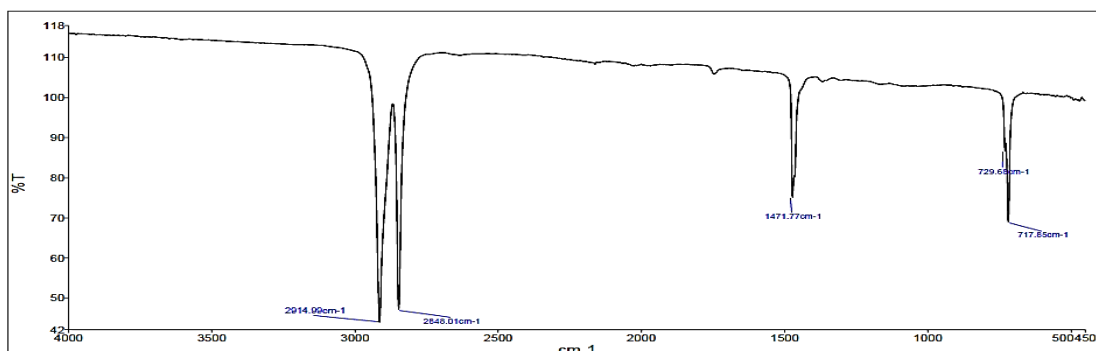
Partícula de MPs color rojo analizada



Nota. Elaboración propia.

Figura 50

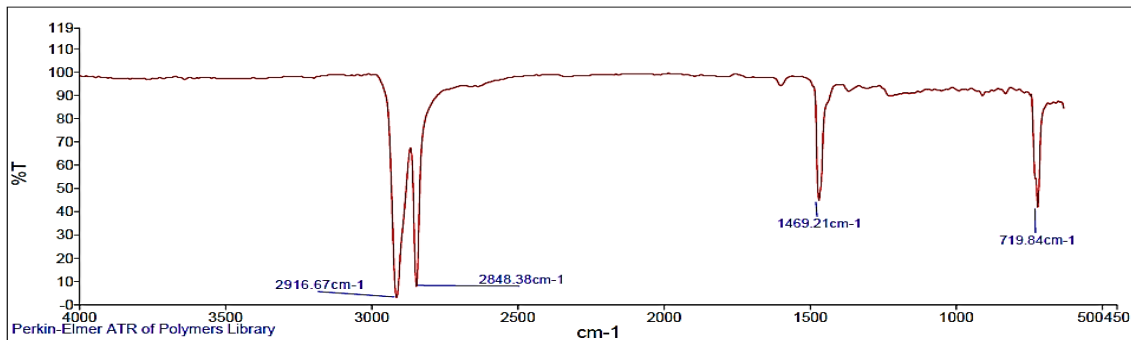
Espectro infrarrojo de la partícula de MPs color rojo analizada



Nota. Labicer-UNI (2021).

Figura 51

Espectro infrarrojo de partícula de polietileno (PE)



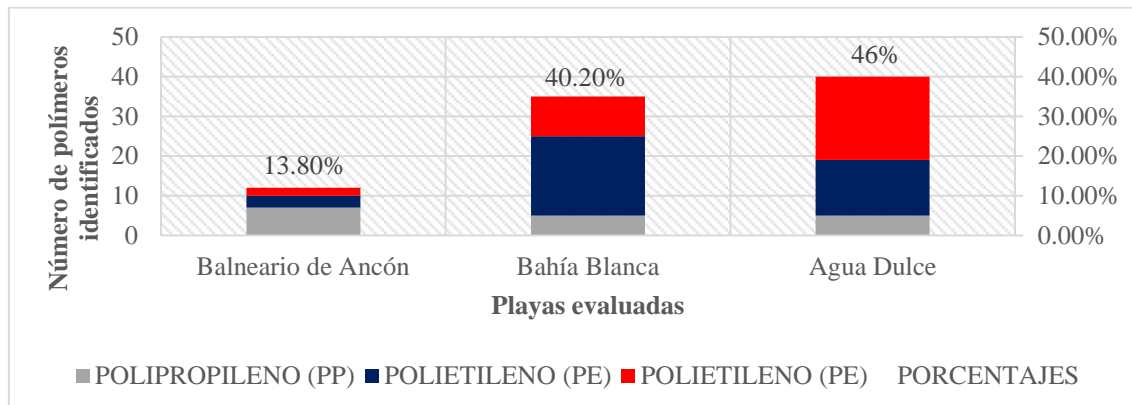
Nota. Labicer-UNI (2021).

3.2.2. Polímero predominante

De todas las partículas analizadas, se encontraron polímeros correspondientes a partículas de polipropileno (PP) y polietileno (PE) en las tres playas. De ambos polímeros, las partículas compuestas por el polímero polietileno (PE) fueron las más abundantes, y de estas, el polietileno (PE) color azul fue el polímero predominante en el estudio. En la Figura 52 se observa el número de partículas encontradas de cada uno de estos polímeros y el polímero predominante, siendo el polímero polietileno (PE) azul el polímero predominante con 37 partículas microplásticas de las partículas seleccionadas para el análisis de FTIR-ATR. Agua Dulce fue la playa con mayor porcentaje de los polímeros seleccionados con 46 % del total.

Figura 52

Número de tipo de polímeros obtenidos del análisis FTIR-ATR



Nota. Elaboración propia.

3.3. Abundancia de microplásticos en las tres playas arenosas de Lima y Callao

Con el fin de determinar abundancia en las playas evaluadas se realizó el análisis a base de los promedios del número de partículas. Los datos fueron procesados en Microsoft Excel con el objetivo de hallar cálculos más exactos para la obtención de los resultados.

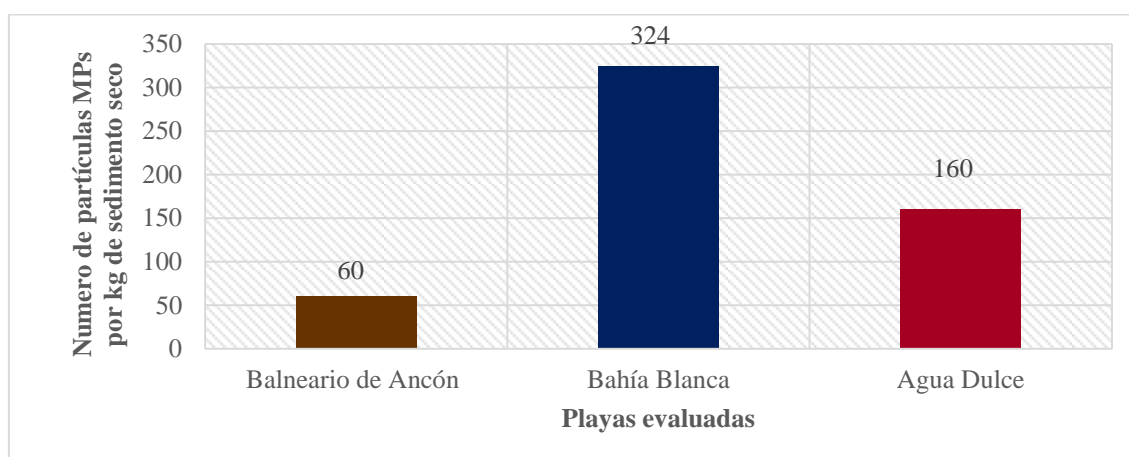
3.3.1. Abundancia total para las tres playas evaluadas

En la Figura 53 se expresan las concentraciones totales de los MPs, los cuales fueron expresados en número de partículas por kg de sedimento seco. Los resultados se obtuvieron por cada playa por los dos meses de estudio.

En la Figura 53 se visualiza la abundancia total de partículas encontradas en las tres playas evaluadas por los dos meses de estudio, siendo la playa Bahía Blanca la que obtuvo la mayor concentración de partículas MPs con 324 partículas por kg de sedimento seco; mientras que la playa con menor concentración de partículas MPs fue el Balneario de Ancón con 60 partículas por kg de sedimento seco. Esto pudo deberse a que la playa Bahía Blanca no existe ninguna organización que se encargue de la limpieza y el cuidado de esta zona; por ende, los bañistas y pescadores no presentan ninguna cultura ambiental.

Figura 53

Abundancia total por las tres playas evaluadas



Nota. Elaboración propia.

3.3.2. Abundancia media para las tres playas evaluadas

A fin de obtener la abundancia media de microplásticos, a continuación, se presenta la Tabla 16 en la que se expresa el número de partículas por kg de sedimento seco para las tres playas evaluadas por los 2 meses de estudio.

Tabla 16

Abundancia media en las tres playas evaluadas

Playas	Mes de estudio	Promedios (número de partículas MPs/Kg de sedimento seco)
Balneario de Ancón	1 ^{er} mes	7
	2 ^{do} mes	8
Bahía Blanca	1 ^{er} mes	12
	2 ^{do} mes	69
Agua Dulce	1 ^{er} mes	15
	2 ^{do} mes	25

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 16 se aprecia la abundancia media de las partículas MPs en las tres playas evaluadas en los dos meses de estudio, la playa con mayor concentración de microplásticas fue la playa Bahía Blanca debido al impacto de aquellos que residuos que son arrojados por la población aledaña y los pescadores artesanales en la zona.

3.4. Mapas de distribución de los microplásticos en las tres playas arenosas de Lima y Callao

Los mapas de distribución de características físicas y químicas de microplásticos fueron realizados tomando como dato principal la concentración de microplásticos hallados en cada una de las estaciones de muestreo expresados en número de partículas. Para ello, se estableció un color determinado por cada característica física y química a modo de representación (ver Apéndice 9); además, se establecieron rangos del número de partículas para graficar círculos que iban de 0,5 a 2 mm de diámetro de acuerdo de la concentración de microplásticos obtenidos (ver Apéndice 10 y Apéndice 11). De acuerdo a ello, se calificaron como zonas de distribución variadas (representada con “V”) a las estaciones de muestreo cuyos diámetros de círculos pertenecieron para más de un rango y se

denominaron zonas de distribución uniforme (representada con “U”) a las estaciones de muestreo cuyo diámetro de los círculos fue para un solo rango. Para facilitar la lectura de distribución se realizó codificaciones que expliquen la distribución, se usó el siguiente formato de codificación:

$$\text{LM-C} \left(\begin{array}{cc} \text{TD} & \begin{array}{cc} \text{N}^\circ\text{E} & \text{N}^\circ\text{E} \\ \text{N}^\circ\text{E} & \text{N}^\circ\text{E} \end{array} \end{array} \right)$$

Donde:

-LM (Lugar de muestreo): BA (Balneario de Ancón), BB (Bahía Blanca) y AD (Agua dulce)

-C (Categoría presentada): T (Tamaño), F (Forma) y Color (C)

-TD (Tipo de distribución): U (Uniforme) y V (Variada)

-N° E (Número de estación de muestreo): 1(E 1), 2 (E 2), 3 (E 3) y 4 (E 4)

3.4.1. Tamaño de partículas

A continuación, se muestran los mapas de distribución de los microplásticos obtenidos de la clasificación de las cuatro categorías de tamaño de microplásticos en las playas evaluadas durante los dos meses de estudio.

Balneario de Ancón

En la Figura 54 se visualiza el mapa de distribución de la categoría de tamaño de los MPs en los dos meses de estudio expresados en número de partículas. Los resultados se obtuvieron por cada estación. Asimismo, en la Figura 54 se visualiza que la mayor cantidad de microplásticos presentaba de 0-8 partículas en todas las estaciones de muestreo; mientras que de 9-17 y de 18-26 partículas no se registraban en ninguna estación de muestreo.

Figura 54

Distribución de microplásticos según tamaño en el Balneario de Ancón



Nota. Tomado de Google Earth (2022).

En el Balneario de Ancón se observa que las estaciones de muestreo fueron zonas de distribución uniforme, representada en la codificación con una “U”, para las categorías de tamaño de microplásticos, lo que indica que la concentración de estas categorías, a pesar de factores externos que condicionan el tamaño de los MPs, se mantiene en toda la extensión evaluada de la playa (teniendo como referencia a las estaciones muestreadas) por lo que se acompaña a la “U” con los números 1,2, 3 y 4 en referencia a cada estación. Se obtuvo la siguiente codificación de distribución de acuerdo a lo encontrado.

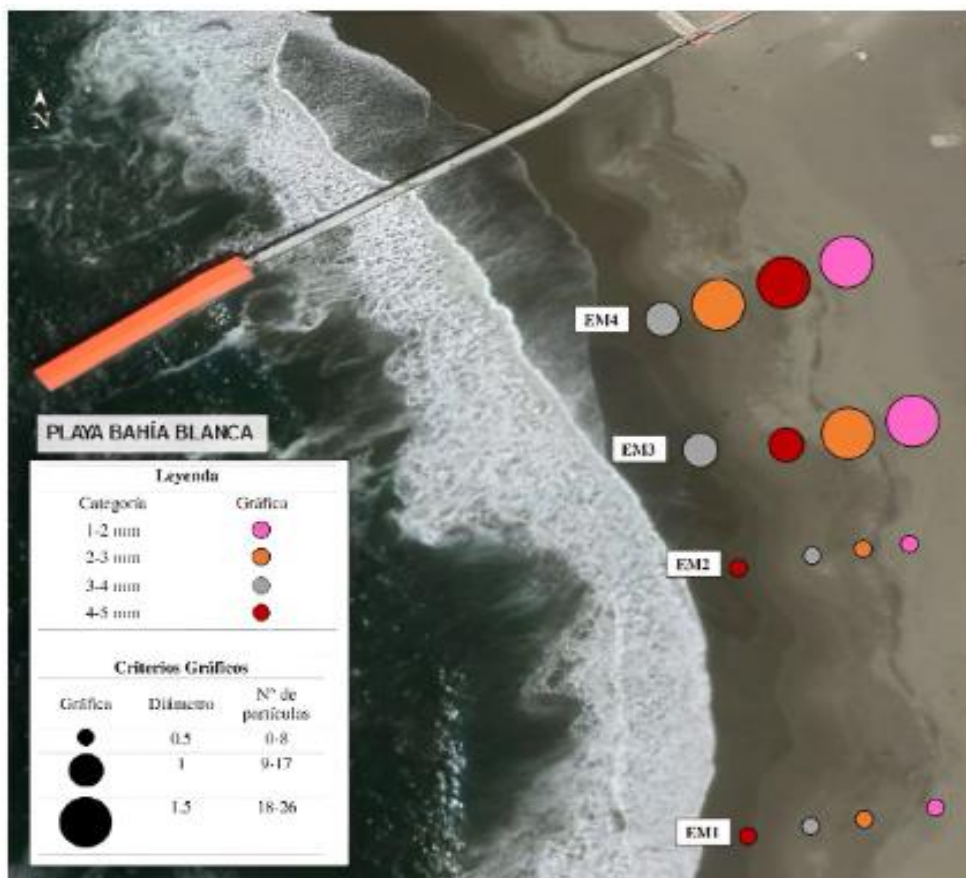
$$\text{BA-T}\left(\begin{matrix} U_1 & 3 \\ U_2 & 4 \end{matrix}\right)$$

Playa Bahía Blanca

En la Figura 55 se visualizan los mapas de distribución según el tamaño de los MPs en los dos meses de estudio expresados en número de partículas. Los resultados se obtuvieron por cada estación de muestreo. Asimismo, en la Figura 55 se visualiza que la mayor cantidad de microplásticos presentaba de 0-8 partículas en las estaciones de muestreo; mientras que de 9-17 y de 18-26 partículas se registraban en M3 Y M4.

Figura 55

Distribución de microplásticos según tamaño en la playa Bahía Blanca



Nota. Tomado de Google Earth (2022).

En la playa Bahía Blanca se observa que M1 y M2 fueron zonas de distribución uniforme, representada en la codificación con una “U”, y M3 y M4 variadas, representada con una “V” para las categorías de tamaño, lo que indica que la concentración, a causa de factores que condicionan el tamaño de los MPs, no se mantienen estables en toda la extensión evaluada de la playa (teniendo como referencia a las estaciones muestreadas), por lo que se

acompaña a la “U” con los números 1,2, y a la “V” con los números 3 y 4 en referencia a cada estación. Se obtuvo la siguiente codificación de distribución de acuerdo a lo encontrado.

$$\text{BB-T} \left(\begin{matrix} U_1 \\ U_2 \end{matrix} \right) \left(\begin{matrix} V_3 \\ V_4 \end{matrix} \right)$$

Playa Agua Dulce

En la Figura 56 se visualizan los mapas de distribución según su tamaño de los MPs en los dos meses de estudio expresados en número de partículas. Los resultados se obtuvieron por cada estación de muestreo. Asimismo, en la Figura 56 se visualiza que la mayor cantidad de microplásticos presentaba de 0-8 partículas en las estaciones de muestreo; mientras que de 9-17 partículas se registró solo en M4 y de 18-26 partículas no se registraron en ninguna estación de muestreo.

Figura 56

Distribución de microplásticos según tamaño en la playa Agua Dulce



Nota. Tomado de Google Earth (2022).

En la playa Agua Dulce se observa que las estaciones de muestreo 1, 2 y 3 fueron zonas de distribución uniforme, representada en la codificación con una “U”, y la estación 4 fue variada, representada en la codificación con una “V”; la concentración de estas categorías, a causa de factores que condicionan el tamaño de MPs, no se mantienen estables en toda la extensión evaluada (teniendo como referencia a las estaciones muestreadas), por lo que se acompaña a la “U” con los números 1,2 y 3, y a la “V” con el número 4 en referencia a cada estación. Se obtuvo la siguiente codificación de distribución.

$$\text{AD-T} \begin{pmatrix} 1 \\ \text{U}2 \\ 3 \end{pmatrix} (\text{V} \quad 4)$$

3.4.2. Forma de partículas

A continuación, se muestran los mapas de distribución de los microplásticos obtenidos de la clasificación de las tres categorías de forma de microplásticos.

Balneario de Ancón

En la Figura 57 se visualiza el mapa de distribución de la categoría de forma de los microplásticos en total de los dos meses de estudio expresados en concentración de número de partículas. Los resultados se obtuvieron por cada estación de muestreo y se graficaron de acuerdo a lo obtenido por cada una de ellas. En la Figura 57 se visualiza que todas las categorías de forma de microplásticos pertenecen al rango de 0-16 partículas en todas las estaciones de muestreo, por lo que se presenta una distribución uniforme.

Figura 57

Distribución de microplásticos según forma en el Balneario de Ancón



Nota. Tomado de Google Earth (2022).

En el Balneario de Ancón se observa que las estaciones de muestreo fueron zonas de distribución uniforme, representada en la codificación con una “U”, para las categorías de forma de microplásticos lo que indica que la concentración de estas categorías, a pesar de factores externos que condicionan el tamaño de los MPs, se mantiene en toda la extensión evaluada de la playa (teniendo como referencia a las estaciones muestreadas) por lo que se acompaña a la “U” con los números 1,2, 3 y 4 en referencia a cada estación. Se obtuvo la siguiente codificación de distribución de acuerdo a lo encontrado.

$$\boxed{BA-F\left(U \begin{matrix} 1 & 3 \\ 2 & 4 \end{matrix}\right)}$$

Playa Bahía Blanca

En la Figura 58 se visualizan los mapas de distribución según la forma de los MPs en los dos meses de estudio expresados en número de partículas. Los resultados se obtuvieron por cada estación de muestreo. En la Figura 58 se visualiza que las categorías de forma de

microplásticos encontradas en la playa de estudio pertenecen al rango de 0-16 partículas y al rango de 51-67 partículas.

Figura 58

Distribución de microplásticos según forma en Bahía Blanca



Nota. Tomado de Google Earth (2022).

En playa Bahía Blanca se observa M1 y M2 fueron zonas de distribución uniforme, representada en la codificación con una “U”, y M3 y M4 variadas, representada en la codificación con una “V” para las categorías de forma, lo que indica que la concentración de estas categorías, a causa de factores que condicionan la forma de los MPs, no se mantienen estables en toda la extensión evaluada (teniendo como referencia a las estaciones muestreadas), por lo que se acompaña a la “U” con los números 1,2, y a la “V” con los números 3 y 4 en referencia a cada estación. Se obtuvo la siguiente codificación de distribución de acuerdo a lo encontrado.

$$BB-F(U_2^1) (V_4^3)$$

Playa Agua Dulce

En la Figura 59 se visualizan los mapas de distribución según la forma de los MPs en los dos meses de estudio expresados en número de partículas. Los resultados se obtuvieron por cada estación de muestreo. En la Figura 59 se visualiza que las categorías de forma de microplásticos encontradas en la playa de estudio pertenecen al rango de 0-16 partículas y al rango de 17-33 partículas.

Figura 59

Distribución de microplásticos según forma en playa Agua Dulce



Nota. Tomado de Google Earth (2022).

En la playa Agua Dulce se observa que M1, M3 y M4 fueron zonas de distribución uniforme, representada en la codificación con una “U”, y M2 fue variada, representada en la codificación con una “V”, para las categorías de forma de microplásticos; la concentración de estas categorías, a causa de factores que condicionan la forma de MPs, no se mantienen estables en toda la extensión evaluada (teniendo como referencia a las estaciones muestreadas), por lo que se acompaña a la “U” con los números 1,3 y 4, y a la “V” con el

número 2 en referencia a cada estación. Se obtuvo la siguiente codificación de distribución de acuerdo a lo encontrado.

$$\text{AD-F (U 2) } \begin{pmatrix} 1 \\ V3 \\ 4 \end{pmatrix}$$

3.4.3. Color de partículas

A continuación, se muestran los mapas de distribución de los microplásticos obtenidos de la clasificación de las dos categorías de color de microplásticos.

Balneario de Ancón

En la Figura 60 se visualiza el mapa de distribución de la categoría de color en los dos meses de estudio expresados en número de partículas. En la Figura 60 se visualiza que las categorías de color pertenecen al rango de 0-16.

Figura 60

Distribución de microplásticos según color en Balneario de Ancón



Nota. Tomado de Google Earth (2022).

En el Balneario de Ancón se observa que las estaciones de muestreo fueron zonas de distribución uniforme para las categorías de color de microplásticos, representada en la codificación con una “U”, lo que indica que la concentración de esta categoría, a pesar de factores externos que condicionan el color de los MPs, se mantiene en toda la extensión evaluada de la playa (teniendo como referencia a las estaciones muestreadas) por lo que se acompaña a la “U” con los números 1,2, 3 y 4 en referencia a cada estación. Se obtuvo la siguiente codificación de distribución de acuerdo a lo encontrado.

$$\text{BA-C}\left(\begin{matrix} U_1 & 3 \\ U_2 & 4 \end{matrix}\right)$$

Playa Bahía Blanca

En la Figura 61 se visualiza el mapa de distribución de la categoría de color en los dos meses de estudio expresados en número de partículas. En la Figura 61 se visualiza que las categorías de color de microplásticos encontradas en la playa de estudio pertenecen al rango de 0-16 partículas y al rango de 33-48 partículas.

Figura 61

Distribución de microplásticos según color en Bahía Blanca



Nota. Tomado de Google Earth (2022).

En playa Bahía Blanca se observa que M1 y M2 fueron zonas de distribución uniforme, representada en la codificación con una “U”, y M3 y M4 variadas, representada en la codificación con una “V” para las categorías de color, lo que indica que la concentración de estas categorías, a causa de factores que condicionan el color de los MPs, no se mantienen estables en toda la extensión evaluada (teniendo como referencia a las estaciones muestreadas), por lo que se acompaña a la “U” con los números 1,2, y a la “V” con los números 3 y 4 en referencia a cada estación. Se obtuvo la siguiente codificación de distribución de acuerdo a lo encontrado.

$$BB-C(U_2^1) (V_4^3)$$

Playa Agua Dulce

En la Figura 62 se visualiza el mapa de distribución de la categoría de forma de los MPs en los dos meses de estudio expresados en número de partículas. Los resultados se obtuvieron por cada estación de muestreo. En la Figura 62 se visualiza que las categorías de color pertenecen al rango de 0-16.

Figura 62

Distribución de microplásticos según color en playa Agua Dulce



Nota. Tomado de Google Earth (2022).

En la Playa Agua Dulce se observa que todas las estaciones de muestreo fueron zonas de distribución uniforme para las categorías de color de microplásticos, representada en la codificación con una “U”, lo que indica que la concentración de esta categoría, a pesar de factores externos que condicionan el color de los MPs, se mantiene en toda la extensión evaluada de la playa (teniendo como referencia a las estaciones muestreadas) por lo que se acompaña a la “U” con los números 1,2, 3 y 4 en referencia a cada estación. Se obtuvo la siguiente codificación de distribución de acuerdo a lo encontrado.

$$\text{AD-C}\left(\begin{matrix} U_1 & 3 \\ 2 & 4 \end{matrix}\right)$$

3.4.4. Polímeros predominantes

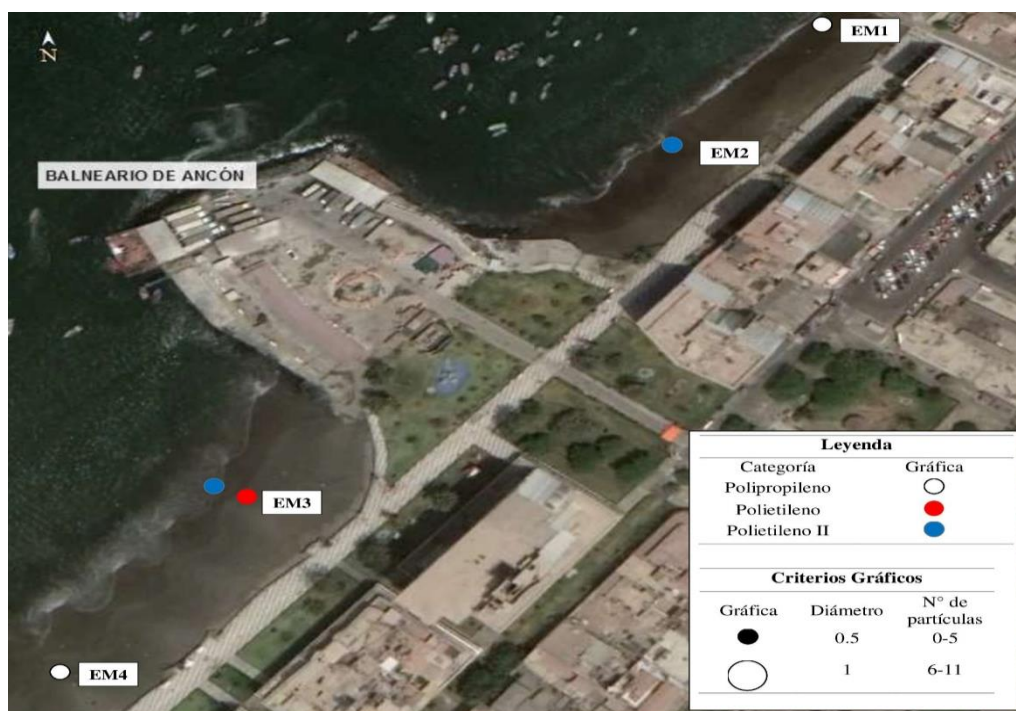
A continuación, se muestran los mapas de distribución de los microplásticos obtenidos de la clasificación de las categorías de polímeros predominantes de microplásticos en las playas evaluadas durante los dos meses de estudio.

Balneario de Ancón

En la Figura 63 se visualiza el mapa de distribución expresado en el número de partículas obtenidas de cada una de las partículas predominantes encontradas con características físicas similares por los dos meses de muestreo. En la Figura 63 se visualiza que la mayor cantidad de microplásticos presentaba de 0-5 partículas en las estaciones de muestreo; mientras que de 6-11 partículas no se registraron en ninguna estación de muestreo.

Figura 63

Distribución de MPs según el tipo de polímero en el Balneario de Ancón



Nota. Tomado de Google Earth (2022).

La distribución de los polímeros identificados fue uniforme; en ese sentido, el polipropileno (PP) fue el polímero con mayor concentración en M1 y M4, el polietileno (PE) fue el polímero con mayor concentración en M3 y el polietileno II (PE) fue el polímero con mayor concentración en M2 y M3. Se observó de los polímeros evaluados mayor distribución de polipropileno (PP) en el Balneario de Ancón.

Playa Bahía Blanca

En la Figura 64 se observa el mapa de distribución expresado en el número de partículas obtenidas de cada uno de los colores predominantes encontrados y que tuvieron las mismas características físicas por los dos meses de muestreo. En la Figura 64 se visualiza que la mayor cantidad de microplásticos presentaba de 0-5 partículas en todas las estaciones de muestreo; mientras que de 6-11 partículas solo se registró en M4.

Figura 64

Distribución de MPs según el tipo de polímero en la playa Bahía Blanca



Nota. Tomado de Google Earth (2022).

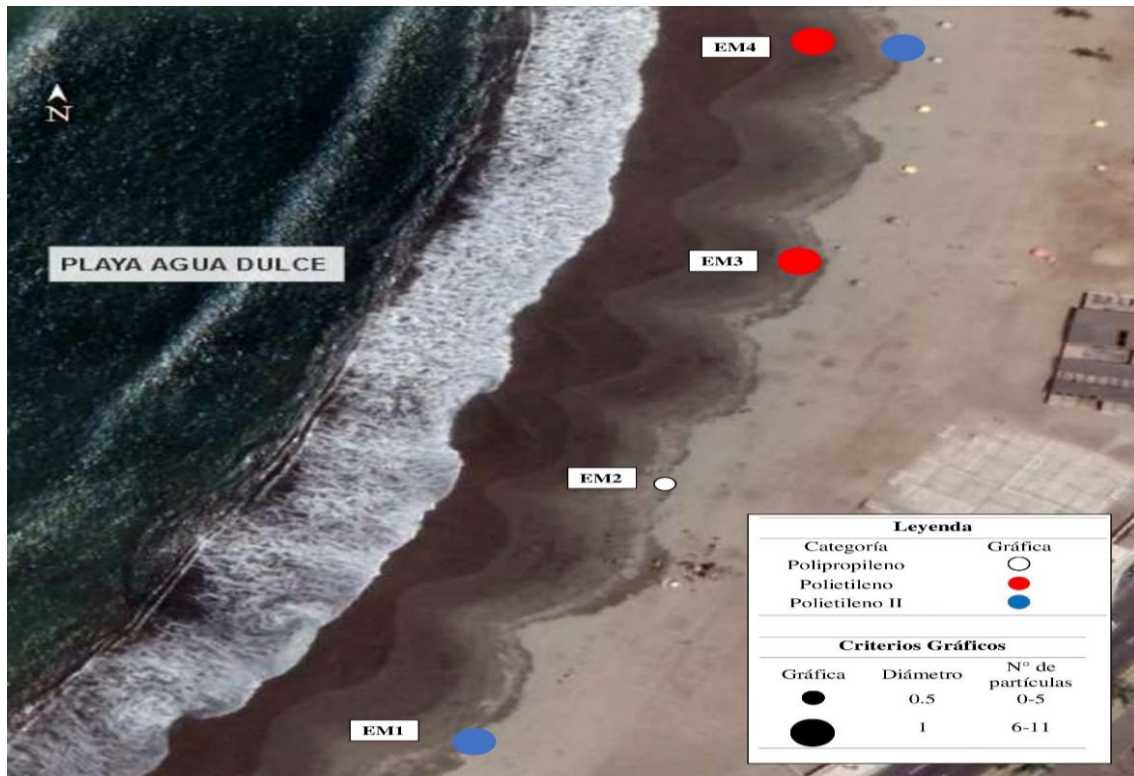
La distribución de los polímeros identificados fue variada; en ese sentido, el polipropileno (PP) fue el polímero con mayor concentración en M2 y M3, el polietileno (PE) fue el polímero con mayor concentración en M1 y M3, y el polietileno II (PE) fue el polímero con mayor concentración en M4. Se observó de los polímeros evaluados mayor distribución de polietileno II (PE) en la playa Bahía Blanca.

Playa Agua Dulce

En la Figura 65 se observa el mapa de distribución expresado en el número de partículas obtenidas de cada uno de los colores predominantes encontrados y que tuvieron las mismas características físicas por los dos meses de muestreo. En la Figura 65 se visualiza que la mayor cantidad de microplásticos presentaba de 6-11 partículas en M1, M3 Y M4; mientras que de 0-5 partículas solo se registró en M2.

Figura 65

Distribución de MPs según el tipo de polímero en la playa Agua Dulce



Nota. Tomado de Google Earth (2022).

La distribución de los polímeros identificados fue variada; en ese sentido, el polipropileno (PP) fue el polímero con mayor concentración M2, el polietileno (PE) fue el polímero con mayor concentración en M3 y M4 y el polietileno II (PE) fue el polímero con mayor concentración en M1 y M4. Se observó de los polímeros evaluados mayor distribución de polietileno (PE) en la playa Agua Dulce.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

4.1. Características físicas de microplásticos

En la presente investigación se identificaron 544 partículas en las tres playas de Lima y Callao durante los dos meses de estudio; en el segundo mes de estudio se observó el incremento del número de partículas a causa de factores sociales y ambientales. En la investigación realizada por Benavente (2021), playa La Miel, perteneciente a Camaná, Arequipa, presentó un total de 1382 partículas, siendo dos veces más la cantidad de microplásticos encontrados en la presente investigación, esto podría explicarse a causa de los niveles distintos de contaminación de cada una de las playas estudiadas en ambas investigaciones. Es importante mencionar, las unidades empleadas en el presente estudio fueron número de partículas por kg de sedimento seco y el peso de las mismas en g/kg de sedimento seco de cada playa estudiada con el propósito de hacer más eficiente la comparación de resultados con otros estudios. En esa línea, He *et al.* (2020) menciona que estudios a fines como los de Zhang *et al.* (2018) y Yuan *et al.* (2019) han calculado la proporción de microplásticos tomando la cantidad de partículas como unidades, en lugar de usar pesos para su estudio, lo que dificulta comparar hallazgos. En este sentido, es evidente que el uso de diferentes unidades da como resultado otros hallazgos entre el estudios previos y actuales, incluyendo el presente.

4.1.1. Tamaño de partículas microplásticas

Los microplásticos caracterizados en la investigación se clasificaron en 4 categorías según sus tamaños: 1-2 mm, 2-3 mm, 3-4 mm y 4-5 mm. La categoría que presentó mayor cantidad de microplásticos fue la de 1-2 mm, lo cual presenta resultados similares con la investigación de He *et al.* (2020), esto pudo deberse a que las partículas plásticas, según el tiempo que están expuestos al ambiente, se van fraccionando en partículas más pequeñas generando una mayor presencia en el ambiente en el que se encuentran.

Asimismo, los residuos encontrados en las playas evaluadas en el presente estudio son difíciles de remover y perduran en el tiempo, lo que facilita su fragmentación cada vez a menores tamaños, se presume que la cercanía de los puntos de muestreo a los puertos y a las zonas donde se desarrollan diferentes actividades antrópicas influyen en el resultado.

Según Cole *et al.* (2011), considera que aquellos microplásticos de pequeño tamaño (menores de 3 mm en promedio) representan amenazas perjudiciales para los organismos acuáticos como para los ecosistemas, además, menciona que las partículas más pequeñas pueden ser ingeridas por los organismos por confusión. En la misma línea, Zettler *et al.* (2013) menciona que aquellos microplásticos con una densidad relativamente menor y tamaño pequeño (inferior a los 1 mm) poseen mayor potencial para ser transportados por viento y agua de manera que se ubican con facilidad en diferentes ambientes. En ese sentido, en el presente estudio la clasificación de los tamaños y los valores obtenidos de cada uno de ellos concuerda con lo mencionado por dichos autores ya que se encontraron con mayor presencia a las partículas microplásticos de las categorías 1-2 mm y 2-3 mm en casi toda las estaciones y playas evaluadas.

4.1.2. Forma de partículas microplásticas

Las partículas de MPs se clasificaron en tres categorías según su forma: irregular, regular y fibra. Las categorías que obtuvieron mayor presencia fueron irregulares y fibra, al igual que la investigación de Dowarah y Devipriya (2019), estas dos categorías presentaron el mayor porcentaje; esto pudo deberse a que la mayoría de las partículas plásticas son las que provienen de plásticos expuestos libremente al ambiente, los mismos que se van fraccionando por diferentes fenómenos físicos y químicos (tales como erosión por fuertes vientos, y erosión del agua por aumento de marea y abrasión por radiación solar, entre otros) en formas no definidas por lo que son comúnmente encontradas en el ambiente. En este sentido, Cole *et al.* (2011) y Derwi *et al.* (2015) mencionan que los microplásticos con forma irregular son aquellos derivados de piezas de productos plásticos de mayor tamaño con polímeros sintéticos fuertes.

4.1.3. Color de partículas microplásticas

Las microplásticos fueron identificados en dos categorías según el color: fríos (negro violeta, azul, celeste y verde) y cálidos (púrpura, rojo, naranja, amarillo y blanco). En las tres playas evaluadas ambas categorías presentaron mayor presencia, sin embargo, los colores más predominantes fueron para fríos; el azul y verde; y para cálidos, rojo. De acuerdo a Pujol (2016), los colores más predominantes fueron el azul y el negro, en cuanto a colores cálidos el rojo y blanco tuvieron mayor presencia en las zonas evaluadas en dicho estudio (Costa de Garraf, en los municipios de Sitges y Cubnit-España). Según lo mencionado por 0,43 g/Kg, en las aguas superficiales de los lagos West Dongting y South Dongting, el color más dominante fue el blanco en relación a colores cálidos, los colores fríos más dominantes en su investigación fueron los colores negros y verdes. Los colores encontrados en la investigación y la de otros autores responden a la procedencia de las partículas plásticas encontradas en el ambiente que provienen en su mayoría de materiales comunes usados en todo el mundo tales como botellas, tapas de botellas, entre otros.

4.1.4. Peso de partículas microplásticas

La playa que presentó la mayor cantidad de peso fue Bahía Blanca con 7,72 g/kg y la playa que obtuvo menor peso fue el Balneario de Ancón con 0,43 g/kg; como menciona Benavente (2021), la causa hace referencia a la ubicación geográfica ya que en su investigación la playa Miel es la tiene mayor peso de microplásticos porque es una bahía y la erosión de la marea también juega un importante papel la fragmentación de las partículas microplásticas y por ende al reducir el tamaño se facilita su transporte a otras zonas.

4.2. Características químicas de microplásticos

El presente estudio identificó los tipos de polímeros presentes en tres playas arenosas de Lima y Callao. Con respecto a la identificación química de microplásticos en las tres playas evaluadas se obtuvo que los tipos de polímeros abundantes fueron polipropileno (PP) en el Balneario de Ancón, polietileno (PE) en playa Bahía Blanca y playa Agua Dulce; siendo el polietileno (PE) el polímero más abundante.

Resultados similares fueron reportados en investigaciones anteriores, tanto en sedimentos marinos y fluviales, en otros países. La presente investigación, consideró oportuno mencionar los resultados obtenidos de la identificación química de otras investigaciones para ambos entornos ya que las partículas plásticas de los entornos fluviales llegan, por diferentes medios, a ubicarse finalmente en entornos marinos lo que podríamos denominar como un flujo de continuidad de partículas. En ese sentido, en entornos marinos, Dodson *et al.* (2019) reportaron al polipropileno (PP), polietileno (PE) y el polietileno tereftalato (PET) como los polímeros predominantes en su investigación indicando que estos son los más frecuentes en zonas de estuarios en los Estados Unidos; del mismo modo, Dowarah y Devipriya (2019) señalaron al polipropileno (PP) como el polímero predominante en las playas de Puducherry, India. En cuanto a entornos fluviales, en la investigación de He *et al.* (2020) el polietileno (PE) y polipropileno (PP) fueron polímeros con mayor predominancia en los resultados obtenidos para los sedimentos del río Brisbane, Australia, lo cual no se aleja de la realidad ya que son los polímeros más usados en esas zonas; asimismo, Changbo, *et al.* (2018) detectaron diversos tipos de polímeros microplásticos como el polietileno tereftalato (PET), poliestireno (PS), polipropileno (PP) y polietileno (PE), teniendo mayor predominancia en las muestras de sedimentos tomados en el lago South Dongting en China.

Resultados parecidos también fueron reportados en investigaciones en entornos marinos en el Perú. En ese sentido, Pretell *et al.* (2020) informaron que la mayoría de partículas microplásticas obtenidas en su investigación fueron el polipropileno (PP), polietileno de alta densidad (HDPE) y polietileno de baja densidad (LDPE) en las tres playas arenosas evaluadas en Lima. Por su parte, Purca y Henostroza (2017) tras tomar aleatoriamente las muestras de microplásticas obtenidos en Playa Costa Azul en Ventanilla encontraron presencia de polímeros de poliuretano (PU), polipropileno (PP) y estireno (EPS).

La similitud de los tipos de polímeros encontrados en los distintos estudios mencionados líneas arriba y la presente investigación se pudo deber a que la mayoría de estos polímeros son usados comúnmente en el mundo para la elaboración de productos plásticos y otros derivados para diferentes tipos de industrias a nivel mundial, lo que los hace presentes en

casi la mayoría de materiales, compuestos, sustancias, etc., usados con frecuencia y por ende expuestos libremente al ambiente (Manrique, 2019).

4.3. Abundancia de microplásticos

Para la investigación actual, la playa que consiguió mayor concentración de MPs fue Bahía Blanca con 324 partículas kg de sedimento seco, la playa Agua Dulce obtuvo 160 partículas por kg de sedimento seco, y la playa con menor concentración fue el Balneario de Ancón con 60 partículas por kg de sedimento seco. Los estudios de Purca y Henostroza (2017) y De la Torre *et al.* (2020), mostraron que la concentración de microplásticos en las playas arenosas del Perú varían entre 4,67 a 433,33 partículas por kg de sedimento seco y de 16,67 a 489,7 partículas por kg de sedimento seco, respectivamente; estos resultados muestran concordancia con los hallazgos de la presente investigación los cuales están entre 60 a 324 partículas por kg de sedimento. Asimismo, se observaron que en los meses con mayor presencia de rayos solares es más frecuente la limpieza de playas, lo que no ocurre en los meses de invierno debido a la poca asistencia de bañistas. Resaltando que las tres investigaciones en el factor espacio-tiempo fueron diferentes, los meses que fueron de junio 2014 y julio 2015 para el estudio de Purca y Henostroza (2017), el tercer y cuarto mes del 2018 para la investigación de De la Torre *et al.* (2020), y los meses de agosto y septiembre 2021 para el presente estudio; así pues, pese a que presentaron variaciones climatológicas por la diferencia en los meses de muestreo registraron valores similares en la concentración de microplásticos.

4.4. Distribución de los microplásticos

En el presente estudio se elaboraron mapas de distribución de las partículas microplásticas en las tres playas arenosas estudiadas. Los mapas elaborados indicaron mayor presencia de las categorías de tamaño, forma, color y polímeros de microplásticos en las estaciones de muestreos más próximos a los puertos y a las zonas donde se desarrollan actividades antrópicas. Estudios anteriores como el de Dowarah y Devipriya (2019) afirman que el desarrollo de actividades antrópicas también condiciona la distribución de los fragmentos a lo largo de las zonas evaluadas; de este modo, señalan que las actividades pesqueras y turísticas son un importante condicionante para la prevalencia de microplásticos en playas.

Por otro lado, estudios anteriores como el de He *et al.* (2020) mencionan que factores como la estacionalidad, dirección y velocidad de los vientos, y características de microplásticos intervienen en la distribución espacial de los mismos; por ejemplo, He *et al.* (2020) encontraron variaciones temporales de la concentración de microplásticos lo que significó una menor concentración durante la estación seca (abril a setiembre) y una mayor concentración de microplásticos durante la época húmeda (octubre-marzo). Del mismo modo, Zhang *et al.* (2020) mencionaron que existe una relación entre el flujo del agua y la concentración de partículas microplásticas afirmando que en los medios acuáticos que tienen flujos de agua bajas existe una potencial acumulación de microplásticos. Por su parte, Dodson *et al.* (2019) señalaron que las formas de los microplásticos en la distribución de los mismos, en las categorías de fragmentos y fibras, brindan un indicio de las posibles fuentes de origen de estas partículas (productos cosméticos, de industrias, entre otros). En cuanto a las características químicas, Vidyasakar *et al.* (2020) declararon que polímeros como el cloruro de polivinilo (PVC), alcohol de polivinilo (PVOH) y el tereftalato de polietileno (PET) pueden hundirse gracias a la densidad intrínseca alta que poseen para acumularse posteriormente en los sedimentos bentónicos de acuerdo al estudio realizado.

En este sentido, las actividades visualizadas en las playas evaluadas en la presente investigación pudieron condicionar de alguna manera la distribución de partículas microplásticas de disertación con los resultados obtenidos en los estudios mencionados líneas arriba.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. Se cumplió con el objetivo principal de la investigación al determinar las características físicas y químicas de los microplásticos evaluados, encontrando diferencias esperadas en los resultados obtenidos con relación a cada playa evaluada en los dos meses de estudio; además, se determinó la abundancia y distribución de los microplásticos presentes en las playas arenosas del Balneario de Ancón, Bahía Blanca y Agua Dulce.
2. Se realizó la identificación física de los microplásticos obteniendo un total de 544 partículas por kg de sedimento seco en las tres playas evaluadas de Lima y Callao para los dos meses de estudio, se identificaron según su tamaño, forma, color y peso.
 - Según tamaño, fueron clasificados en cuatro categorías (1-2 mm, 2-3 mm, 3-4 mm y 4-5 mm); la categoría con mayor presencia fue de 1-2 mm prevaleciendo en la mayoría de estaciones de muestreo.
 - Según su forma, fueron clasificados en tres categorías (irregular, regular y fibra); las categorías con mayor cantidad de partículas microplásticas fueron irregular y fibra.
 - Según el color, fueron clasificados en 2 categorías (fríos y cálidos); los colores con mayor predominancia para la categoría de colores fríos fueron el azul y verde, y para los colores cálidos rojo y blanco.
 - Según su peso, aquella playa con mayor peso fue Bahía Blanca con 7,72 partículas por kg de sedimento seco y la playa que obtuvo menor peso fue el Balneario de Ancón con 0,43 partículas por kg de sedimento seco.

3. Se determinó la composición química de microplásticos a través del análisis de Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier-Reflectancia Total Atenuada (FTIR-ATR), para ello se escogieron la mayor cantidad de partículas microplásticas con similares características de cada playa. Los polímeros identificados con mayor presencia en las playas evaluadas fueron el polietileno (PE) (microplásticos rojos y azules) y el polipropileno (PP) (microplásticos blancos), siendo el polietileno (PE) el polímero predominante en la investigación y encontrándose la presencia de cada uno de estos tipos de polímeros en todas las playas evaluadas.

4. Se determinó la abundancia de microplásticos en las tres playas evaluadas para los dos meses de estudio, obteniéndose la mayor concentración de microplásticos en la playa Bahía Blanca con 324 partículas por kg de sedimento seco, luego la playa Agua Dulce obtuvo 160 partículas por kg de sedimento seco y la playa con menor concentración fue el Balneario de Ancón con 60 partículas por kg de sedimento seco, debido a la influencia de actividades antrópicas y a condiciones climáticas los cuales influyen en la concentración de partículas microplásticas.

5. Se elaboraron mapas de distribución de todas las categorías pertenecientes a las características físicas como químicas de los microplásticos en función a la concentración de los mismos en los puntos de muestreo. Se pudo apreciar que la distribución de microplásticos obtenida para cada playa tuvo patrones en común. Con respecto al Balneario de Ancón, se encontró una distribución uniforme de microplásticos con pequeñas variaciones en las estaciones de muestreo más próximas al puerto y zonas de comercio. En Bahía Blanca, en las estaciones de muestreo 1 y 2 (EM1 y EM2, respectivamente) la distribución de microplásticos fue uniforme mientras que en las estaciones de muestreo 3 y 4 (EM3 y EM4, respectivamente), más próximas al puerto y acceso vehicular de bañistas, la distribución fue variada. Finalmente, en playa Agua Dulce, se obtuvo en la mayoría de las categorías de microplásticos una distribución uniforme en las estaciones más alejadas de las actividades antrópicas.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

1. Realizar investigaciones enfocadas en metodologías de tratamientos de microplásticos identificados en estudios similares a la presente investigación, ya que la información obtenida podría ser utilizada como línea base para posteriores estudios con un nuevo enfoque de investigación centrado en la gestión de microplásticos, de esta manera se conocerá el origen de las partículas plásticas y técnicas para su tratamiento.
2. Involucrar a la población y a todos los que realicen actividades aledañas a las zonas investigadas (pescadores, comerciantes, población en general, entre otros) de estudio durante el proceso de investigación de manera que se genere sensibilización y conciencia en el uso de residuos plásticos y residuos en general, además de mostrarles los impactos en ambientes marinos y zonas de playa que genera su inadecuado uso y disposición.
3. Estandarizar metodologías para la identificación de microplásticos y proponer investigaciones donde se usen solo un tipo de unidades para que los resultados sean comparables con diferentes estudios sobre microplásticos.
4. Incrementar el uso de reactivos orgánicos con la finalidad de evitar que las muestras de microplásticos sean dañadas en el proceso de extracción al emplearse aditivos químicos, de esta manera obtener resultados más significativos.
5. Realizar estudios de microplásticos en diferentes ambientes de investigación, tales como cuerpos de agua, sedimentos fluviales, aguas marinas, entre otros, priorizando el comportamientos y afectación de especies frente a los diferentes microplásticos.

6. Realizar próximas investigaciones sobre microplásticos que tengan un enfoque en la estacionalidad y la influencia de las actividades antrópicas que se desarrollen en las zonas de estudio.

REFERENCIAS

- Álvarez, J., Beltrán, M., Rangel, N., Sánchez, M., y Vásquez, A. (2016). Separación y caracterización de microplásticos en playas mexicanas. *ResearchGate*, 9(13), 27-33. <https://cutt.ly/Fxiciwt>
- Arctic Monitoring and Assessment Programme (1998). AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues [Informe de evaluación: problemas de contaminación del Ártico]. <https://cutt.ly/fFaCKXX>
- Arteplástica (6 de julio de 2017a). ¿Qué es el PVC espumado y qué aplicaciones tiene? <https://cutt.ly/pxicl6c>
- Arteplástica (27 de julio de 2017b). El plástico PET, ¿Para qué se usa? <https://cutt.ly/uxicgwd>
- Austermühle, A. (2010). *Un estudio sobre las consecuencias económicas y sociales del desarrollo portuario industrial en la Bahía de Ancón*. Asociación Mundo Azul. <https://cutt.ly/dFaCZoj>
- Benavente, V. (2021). Determinación de la presencia de microplásticos en nueve playas de Camaná - Arequipa - Perú y Programa de Sensibilización [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María]. <https://cutt.ly/XC8S4hL>
- Besseling, E., Foekema, E., Van, J., Leopold, M., Kühn, S., Rebolledo, E., Heße, E., Mielke, L., IJzer, J. y Kamminga, P. (2015). Microplastic in a macro filter feeder: humpback whale *Megaptera novaeangliae* [Microplástico en un alimentador de filtro macro: ballena jorobada *Megaptera novaeangliae*]. *Marine Pollution Bulletin*, 95 (1), 248-252. <https://cutt.ly/gxicT8a>
- Boerger, C., Lattin, G., Moore, S. y Moore, C. (2010). Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre [Ingestión de plástico por peces planctívoros en el Giro Central del Pacífico Norte]. *Marine Pollution Bulletin* (60), 2275-2278. <https://cutt.ly/vxicIEF>
- Cabrera, D. (2018). *Determinación de la presencia de microplásticos en playas de Tenerife* [Tesis de grado, Universidad de La Laguna]. <https://cutt.ly/jxic67u>
- Capó, M. (2003). La ecotoxicología, una ciencia de hoy. *Medicina Balear* (18), 101-104. <https://cutt.ly/n6FRpvL>

- Castañeda, R., Avlijas, S., Simard, M. y Ricciardi, A. (2014). Microplastic pollution in St. Lawrence river sediments, Canadian [Contaminación por microplásticos en los sedimentos del río Lawrence, Canadá]. *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71(12), 1767-1771. <https://cutt.ly/7FaCC9M>
- Castañeda, G., Gutiérrez A., Nacaratte, F. y Manzano, C. (2020). Microplásticos: un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición. *Revista Boliviana de Química*, 37(3), 160-175. <https://cutt.ly/vFaCBJ4>
- Changbo, J., Lingshi, Y., Xiaofeng, W., Chunyan, D., Lixue, W., Yuannan, L., Yizhuang, L., Yuan, M., Qide, Y., Zhenyu, Z. y Hemin, P. (2018). Microplastics in Sediment and Surface Water of West Dongting Lake and South Dongting Lake: Abundance, Source and Composition [Microplásticos en sedimentos y aguas superficiales del lago Dongting occidental y del lago Dongting meridional: abundancia, origen y composición]. *Int J Environ Res Public Health*, 15 (10), 2164. <https://cutt.ly/aFaC8XF>
- Choy, C., Robison, B., Gagne, T., Erwin, B., Firl, E., Halden R., Hamilton J., Katija, K., Lisin, S., Rolsky, C. y Van Houtan, K. (2019). The vertical distribution and biological transport of marine microplastic across the epipelagic and mesopelagic water column [La distribución vertical y el transporte biológico de microplásticos marinos a través de la columna de agua epipelágica y mesopelágica]. *Scientific Reports*, (98), 7843. <https://cutt.ly/rFaC1tu>
- Crawford, B. y Quinn, B. (2017). Microplastic Pollutants [contaminantes microplásticos]. *Elsevier*.
- Crichton, E., Noel, M., Gies, E. y Ross, P. (2017). A novel, density-independent and FTIR compatible approach for the rapid extraction of microplastics from aquatic sediments. *Anal. Methods* 9 (9), 1315-1528. <https://cutt.ly/VFaC6dG>
- Construmática (s.f.a). Polietileno. En Construpedia. Recuperado el 17 de diciembre de 2020, de <https://cutt.ly/RFaVwUN>
- Construmática (s.f.b). Poliestireno. En Construpedia. Recuperado el 17 de diciembre de 2020, de <https://cutt.ly/0FaVqTy>
- Construmática (s.f.c). Polipropileno. En Construpedia. Recuperado el 17 de diciembre de 2020, de <https://cutt.ly/XFaVtUX>

- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. y Galloway, T. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review [Microplásticos como contaminantes en el medio marino: una revisión]. *Marine Pollution Bulletin*, 62 (12), 2588–2597. <https://cutt.ly/ixibcVR>
- De la Torre, G., Dioses-Salinas, D., Castro, J., Antay, R., Yupanqui, N. y Espinoza-Morriberón, D. (2019). Abundance y distribution of microplastics on Sandy beaches of Lima, Peru [Abundancia y distribución de microplásticos en los arenales de Lima, Perú]. *Marine Pollution Buletin*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110877>
- De la Torre, G., Dioses-Salinas, D., y Pizarro-Ortega, C. (2020). A methodological approach of the current literature on microplastic contamination in terrestrial environments: Current knowledge and baseline considerations [Un enfoque metodológico de la literatura actual sobre contaminación por microplásticos en ambientes terrestres: conocimiento actual y consideraciones de referencia]. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139164>
- Derwi, I., Aditya, A., y Ramadhan, I. (2015). Distribusi mikroplastik pada sedimen di Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara [Distribución de microplásticos en sedimentos en Muara Badak, regencia de Kutai Kartanegara]. *DEPIK*, 4 (3), 121-131. <https://doi.org/10.13170/depik.4.3.2888>
- Dodson, G., Shotorban, A., Hatcher, P., Waggoner, D., Ghosal, S. y Noffke, N. (2019). Microplastic fragment and fiber contamination of beach sediments from selected sites in Virginia and North Carolina, USA [Fragmentos de microplásticos y contaminación de fibras de sedimentos de playas de sitios seleccionados en Virginia y Carolina del Norte, EE. UU]. *Marine Pollution Bulletin*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110869>
- Dowarah, K. y Devipriya, S. (2019). Microplastic prevalence in the beaches of Puducherry, India and its correlation with fishing and tourism/recreational activities [Prevalencia de microplásticos en las playas de Puducherry, India y su correlación con la pesca y el turismo/actividades recreativas]. *Marine Pollution Bulletin*, (148), 123-133. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.07.066>
- Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H. y Amato, S. (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes [Contaminación por microplásticos en las aguas superficiales de los Grandes Lagos Laurentinos]. *Marine Pollution Bulletin*, (77), 177- 182. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.10.007>
- Fossi, M. C., Marsili, L., Bainsi, M., Giannetti, M., Coppola, D., Guerranti, C. y Panti, C. (2016). Fin whales and microplastics: The Mediterranean Sea and the Sea of Cortez

scenarios [Ballenas de aleta y microplásticos: escenarios del Mar Mediterráneo y el Mar de Cortés]. *Environmental Pollution*, (209), 68-78. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.11.022>

Fomento de la Vida (2018). Segregación de residuos sólidos y cambio climático. FOVIDA, 10-12. <https://cutt.ly/pFaVaVE>

Frías, J., Pagter, E., Nash, R., O'Connor, I., Carretero, O., Filgueiras, A., Viñas, L., Gago, J., Antunes, J., Bessa, F., Sobral, P., Goruppi, A., Tirelli, V., Pedrotti, M., Suraia, G., Aliani, S., Lopes, C., Raimundo, J., Caetano, M. y Gerdts, G. (2018). Standardised Protocol for Monitoring Microplastics in Sediments [Protocolo estandarizado para el monitoreo de microplásticos en sedimentos]. *JPI Oceans BASEMAN project*. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.36256.89601/1>

Gamba, A. (2019). *Tipos, abundancia y contribución de las ciudades costeras a la distribución en sistemas de surgencia en las aguas superficiales costeras del Pacífico Sur del norte de Chile* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana Colombia]. <https://cutt.ly/SFaVddO>

Gobierno Regional del Callao (2013). *Estudio oceanográfico de la Bahía del Callao – Ventanilla y zonas de influencia, 2013*. <https://cutt.ly/KFaVfyd>

Hanvey, J., Lewis, P., Lavers, J., Crosbie, N., Pozo, K. y Clarke, B. (2017). A review of analytical techniques for quantifying microplastics in sediments [Una revisión de las técnicas analíticas para cuantificar microplásticos en sedimentos]. *Analytical Methods*, (9), 1369-1383.

He, B., Goonetilleke, A., Ayoko, G. y Rintoul, L. (2020). Abundance, distribution patterns, and identification of microplastics in Brisbane River sediments, Australia [Abundancia, patrones de distribución e identificación de microplásticos en sedimentos del río Brisbane, Australia]. *Science of The Total Environment*, (700), 134467. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134467>

Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M., Méndez, S. y Mendoza, C. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mc Graw-Hill, 6ed, 126. <https://cutt.ly/RxivkeA>

Hidalgo, V., Gutow, L., Thompson, R. y Thiel, M. (2012). Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification [Microplásticos en el medio ambiente marino: una revisión de los métodos utilizados para la identificación y cuantificación]. *Environmental Science & Technology*, (46), 060-3075.

- Hohenblum P., Frischenschlager H., Reisinger H., Konecny R., Uhl M., Mühlegger S., Habersack H., Liedermann M., Gmeiner P., Weidenhiller B., Fischer N. y Rindler R. (2015). Plastik in der Donau [Plástico en el Danubio]. Recuperado: <https://cutt.ly/jFaVhhM>
- Kukulka, T., Proskurowski, G., Morét-Ferguson, S., Meyer, A. y Law, K. (2012). The effect of wind mixing on the vertical distribution of buoyant plastic debris [El efecto de la mezcla del viento en la distribución vertical de desechos plásticos flotantes]. *Geophysical Research Letters* 39 (7), 1-6. <https://doi.org/10.1029/2012GL051116>
- Kole, P., Löhr, A., Van Belleghem, F. y Ragas, A. (2017). Wear and tear of tyres: A stealthy source of microplastic in the environment [Desgaste de neumáticos: una fuente sigilosa de microplásticos en el medio ambiente]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(10), 1265. <https://cutt.ly/CFaVj1H>
- Leslie, H., Van, M., Brandsma, S., Dick, A., Gacia-Vallejo, J. y Lamoree, M. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood [Descubrimiento y cuantificación de la contaminación por partículas plásticas en sangre humana]. *Environment International*, (163). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>
- Lusher, A., Hernandez-Milian, G., O'Brien, J., Berrow, S., O'Connor, I. y Officer, R. (2015). Microplastic and macroplastic ingestion by a deep diving, oceanic cetacean: The True's beaked whale *Mesoplodon mirus* [Ingestión de microplásticos y macroplásticos por un cetáceo oceánico de buceo profundo: el zifio de True *Mesoplodon mirus*]. *Environmental Pollution*, (199), 185-191. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.01.023>
- MacLachlan, A. y Brown, A. (2006). The Ecology of Sandy Shores [La ecología de playas arenosas]. Academic Press. <https://cutt.ly/5xivcME>
- Manrique, R. (2019). *Microplásticos en sedimentos fluviales de la cuenca baja y desembocadura del río Jequetepeque, Perú* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://cutt.ly/txivnIV>
- Mederos, L. (2009). *Las mareas*. <https://cutt.ly/lFaVlInn>
- Mertens, D. (2010). Transformative Mixed Methods Research [Investigación Transformativa de Métodos Mixtos]. *Qualitative Inquiry*, 16 (6), 469-474. <https://doi.org/10.1177/1077800410364612>

- Ministerio del Ambiente (2020). El plástico representa el 10 % de todos los residuos que generamos en el Perú. <https://cutt.ly/AxivTP2>
- Miles, M. y Huberman, A. (1994). *Qualitative Data Analysis [Análisis de datos cualitativos]*. Sage Publications. <https://cutt.ly/bxivWMa>
- Mondragón, P. (2017). *Espectroscopia de infrarrojo para todos y 51 espectros de alimentos consumidos en México*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. <https://cutt.ly/2xivI3q>
- Notex Microfibra (s.f.). La Microfibra. <https://cutt.ly/GxivAgQ>
- Nuelle, M., Dekiff, J., Remy, D., y Fries, E. (2014). A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments [Un nuevo enfoque analítico para monitorear microplásticos en sedimentos marinos]. *Environmental Pollution*, (184), 161-169. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.07.027>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (2019). Los microplásticos en los sectores de pesca y acuicultura. <https://cutt.ly/HFaVz4r>
- Patton, M. (2011). *Developmental Evaluation: Applying Complexity Concepts to Enhance Innovation and Use [Evaluación del desarrollo: aplicación de conceptos de complejidad para mejorar la innovación y el uso]*. Guilford Press.
- Pretell, V., Pinedo, L., Ramos, W. y Benites, E. (2020). Evaluación y Caracterización de Microplásticos en Tres Playas Arenosas de Lima, Perú. *LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*. <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.71>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2021). De la contaminación a la solución: una evaluación global de la basura marina y la contaminación por plásticos. <https://cutt.ly/3FaAe3G>
- Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. <https://cutt.ly/HxivNil>
- Pujol, B. (2016). *Abundancia y distribución de microplásticos y posibles impactos sobre el *Balaenoptera physalus* "rorcual común" en las costas del Garraf*. [Tesis de fin de grado, Universitat Central de Catalunya]. <https://cutt.ly/9xNVOke>

- Purca, S. y Henostroza, A. (2017). Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú. *Revista peruana de biología* 24 (1), 101-106. <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v24i1.12724>
- Ramírez, A. (2012). *Variación espacio-temporal de la Comunidad Macrobéntica del intermareal de la playa “El Cochalito” o”, B.C.S., México* [Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional].
- Rey, S., Franklin, J. y Rey, S. (2021). Microplastic pollution on island beaches, Oahu, Hawaii [Contaminación por microplásticos en las playas de la isla, Oahu, Hawái]. *PLoS ONE*, 16 (2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247224>
- Schröder, K., Kossel, E. y Lenz, M. (2021). Microplastic abundance in beach sediments of the Kiel Fjord, Western Baltic Sea [Abundancia de microplásticos en sedimentos de playa del fiordo de Kiel, mar Báltico occidental]. *Environmental Science and Pollution Research*, (28), 26515–26528. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12220-x>
- Shafazamilla, M., Yunanto, A. y Yona, D. (2019). Microplastic Abundances in the Sediment of Coastal Beaches in Badung, Bali [Abundancia de microplásticos en los sedimentos de las playas costeras de Badung, Bali]. *Jurnal Perikanan*, 21 (2), 73-78. <https://doi.org/10.22146/jfs.45871>
- Song, Y., Hong, S., Jang, M., Kang, J., Kwon, O., Han, G. y Shim, W. (2014). Large accumulation of micro-sized synthetic polymer particles in the sea surface microlayer [Gran acumulación de micropartículas de polímeros sintéticos en la microcapa de la superficie del mar]. *Environmental Science & Technology*, 48 (16), 9014-9021. <https://doi.org/10.1021/es501757s>
- Stoecker, R. (1991). Evaluating and Rethinking the Case Study [Evaluar y repensar el estudio de casos]. *The Sociological Review*, 39 (1), 88-112. <https://doi.org/10.1111/j.1467-954X.1991.tb02970.x>
- Toledo, A. (2019). *Revisión bibliográfica de los Métodos de Análisis de Micro (Nano) plásticos en el medio ambiente y la biota marina* [Tesis de fin de maestría, Universidad Nacional de Educación a Distancia]. <https://cutt.ly/Txiv5fA>
- Urban-Malinga, B., Zalewski, M., Jakubowska, A., Wodzinowski, T., Malinga, M., Palys, B. y Dabrowska, A. (2020). Microplastics on sandy beaches of the southern Baltic Sea [Microplásticos en playas de arena del sur del Mar Báltico]. *Marine Pollution Bulletin*, 151. <https://cutt.ly/1xibwrX>

- Vidyasakar, A., Krishnakumar, S., Kasilingam, K., Neelavannan, K., Bharathi, V., Godson, P., Prabha, K. y Magesh, N. (2020). Characterization and distribution of microplastics and plastic debris along Silver Beach, Southern India [Caracterización y distribución de microplásticos y desechos plásticos a lo largo de Silver Beach, sur de la India]. *Marine Pollution Bulletin*, 158. <https://cutt.ly/8xiboyC>
- Villanova, C., Romero, F., Fernández, S., Muñoz, M., y Álvaro, S. (2018). Estudio de la abundancia de microplásticos en doce playas de la Isla de Tenerife (Islas Canarias). *Revista Scientia Insularum*, 123-121. <https://cutt.ly/CxibsTQ>
- Woodall, L., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., Paterson, G., Coppock, R., Sleight, V., Calafat, A., Rogers, A., Narayanaswamy, B. y Thompson, R. (2014). The deep sea is a major sink for microplastic debris [Las profundidades del mar son un importante sumidero de desechos microplásticos]. *Royal Society Open Science*, 1: 140317. <https://doi.org/10.1098/rsos.140317>
- Yuan, W., Xiaoning, L., Di, M., Li, Z. y Wang, J. (2019). Transfer and fate of microplastics during the conventional activated sludge process in one wastewater treatment plant of China [Transferencia y destino de los microplásticos durante el proceso de lodos activados convencionales en una planta de tratamiento de aguas residuales de China]. *Chemical Engineering Journal*, 362 (15), 176-182. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.01.033>
- Zettler, E., Mincer, T. y Amaral, L. (2013). Life in the "Plastisphere": Microbial Communities on Plastic Marine Debris [La vida en la "Plastisfera": Comunidades microbianas en los desechos marinos de plástico]. *Environ. Sci. Technol.*, 47 (13), 7137-7146. <https://doi.org/10.1021/es401288x>
- Zhang, Y., Kang, S., Allen, S., Allen, D., Gao, T. y Sillanpää, M. (2020). Atmospheric microplastic: A review on current status and perspectives [Microplástico atmosférico: una revisión del estado actual y las perspectivas]. *Earth-Science Reviews*, 203, 103118. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103118>
- Zschimmer y Schwarz (25 de septiembre del 2019). ¿Qué son polímeros y cómo se clasifican?. <https://cutt.ly/N6FAaxj>

TERMINOLOGÍA

Amplitud de la marea. También denominada carrera de la marea. Es definido como diferencia de altura de la línea de pleamar y la línea de bajamar consecutiva. Esta diferencia varía para un mismo lugar de la Tierra de un día a otro debido a que la altura alcanzada por el agua del mar está influenciada por las posiciones relativas del planeta (Mederos, 2009).

Bajamar. También conocida como marea baja. Es el momento opuesto a la pleamar o marea alta debido a que en este momento el agua del mar logra alcanzar su menor altura. A la mínima altura del mar también se le conoce como momento de menor profundidad de agua (Mederos, 2009).

Basura marina. Materiales en cualquier forma de los estados de la materia que son descargados y dispuestos en un entorno marino y marino costero (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2021).

Bioacumulación. Se refiere a la acumulación neta, a través del tiempo, de distintas sustancias o también materiales persistentes en un determinado organismo provenientes de fuentes bióticas y también abióticas (Arctic monitoring and assessment programme [AMAP], 1998).

Cuadrante. Método de muestreo más común y frecuente usado en vegetación, A diferencia de los transectos, los cuadrantes hacen muestreos más homogéneos. Esto consiste en ubicar un cuadrado sobre la zona de muestreo para determinar densidad, cobertura y otros parámetros a evaluar (Proyecto de Manejo Forestal Sostenible [BOLFOR], 2000, p. 10).

Ecotoxicología. Ciencia que integra la ecología y la toxicología para estudiar contaminantes en la biósfera y sus efectos sobre los componentes de esta, incluye también a los seres humanos (Capó, 2003)

Microfibras. Son productos textiles provenientes de fibras ultra finas que les confieren características superiores en comparación al resto de tejidos. Están compuestas por lo general de Poliamidas y Poliéster, siendo las de mayor calidad y duración las que contienen mayor porcentaje de Poliamidas en su composición (Notex Microfibra, s.f.).

Pleamar. También conocido como marea alta. Se le denomina así al momento en que el agua del mar durante el ciclo de mares logra alcanzar su máxima altura. Dicha altura estará de manera alguna relacionada con la fase lunar en el momento de medición ya que las mareas se originan a partir de la atracción gravitatoria ejercida por la Luna y el Sol (Mederos, 2009).

Polímeros. Es una sustancia compuesta resultado del proceso de polimerización. Conocida como una macromolécula de cadena carbonada larga, los mismos que están unidos por enlaces covalentes. Se clasifican de acuerdo a su estructura y comportamiento al calor en elastómeros, termoestables y termoplásticos (Zchimmer y Schwarz, 2019).

Segregación de residuos. Separación de residuos generados por tipo, material o características que presentan (orgánicos, inorgánicos, peligrosos), evitando que se puedan contaminar entre ellos, y es más fácil tratarlos de forma correcta. Esto es importante porque favorece el reciclaje de residuos sólidos generados (Fomento de la Vida [FOVIDA], 2018).

Residuos sólidos. Definidos como sustancias que han concluido su vida útil en cuanto a la finalidad para la que fueron creadas pudiendo así ser valorizadas en una nueva finalidad. Se incluye también a los residuos generados por eventos naturales que también se pueden aprovechar de alguna manera (MINAM, 2020).

Transecto. Método empleado en ecología que consiste en una franja que permite muestrear determinado objetivo. Este método es usado en la estimación de cobertura, abundancia, etc., de especies. Las dimensiones del transecto son variables y dependen de la cantidad de muestras a medir (Proyecto de Manejo Forestal Sostenible [BOLFOR], 2000, p. 8).

APÉNDICES

Apéndice 1.

Coordenadas de los puntos de muestreo en las tres playas de muestreo

Coordenadas UTM-Datum WGS 84-Zona18 L			
Playa	Estación de muestreo	X	Y
		Este	Norte
Balneario de Ancón	M1	262975	8697743
		262969	8697746
		262962	8697748
	M2	262922	8697681
		262915	8697684
		262908	8697686
		262811	8697555
	M3	262803	8697560
		262794	8697563
		262758	8697494
		262750	8697497
		262741	8697500
Playa Bahía Blanca	M1	262019	8690570
		262000	8690568
		261983	8690564
	M2	262021	8690640
		262000	8690636
	M3	261981	8690633
		262018	8690678
		261995	8690677
M4	261970	8690670	
	262001	8690733	
	261979	8690725	
		261955	8690715

(Continuación)

		279363	8654361
	M1	279349	8654369
		279338	8654375
		279392	8654426
	M2	279377	8654429
Playa Agua		279365	8654431
Dulce		279415	8654489
	M3	279400	8654493
		279387	8654495
		279431	8654561
	M4	279415	8654565
		279400	8654567

Nota. Elaboración propia.

Apéndice 2.

Situación ambiental en Balneario de Ancón, primer mes de estudio



Nota. Elaboración propia

Apéndice 3.

Situación ambiental en Balneario de Ancón, segundo mes de estudio



Nota. Elaboración propia

Apéndice 4.

Situación ambiental en playa Bahía Blanca, primer mes de estudio



Nota. Elaboración propia

Apéndice 5.

Situación ambiental en playa Bahía Blanca, segundo mes de estudio



Nota. Elaboración propia

Apéndice 6.

Situación ambiental en playa Agua Dulce, segundo mes de estudio



Nota. Elaboración propia

Apéndice 7.

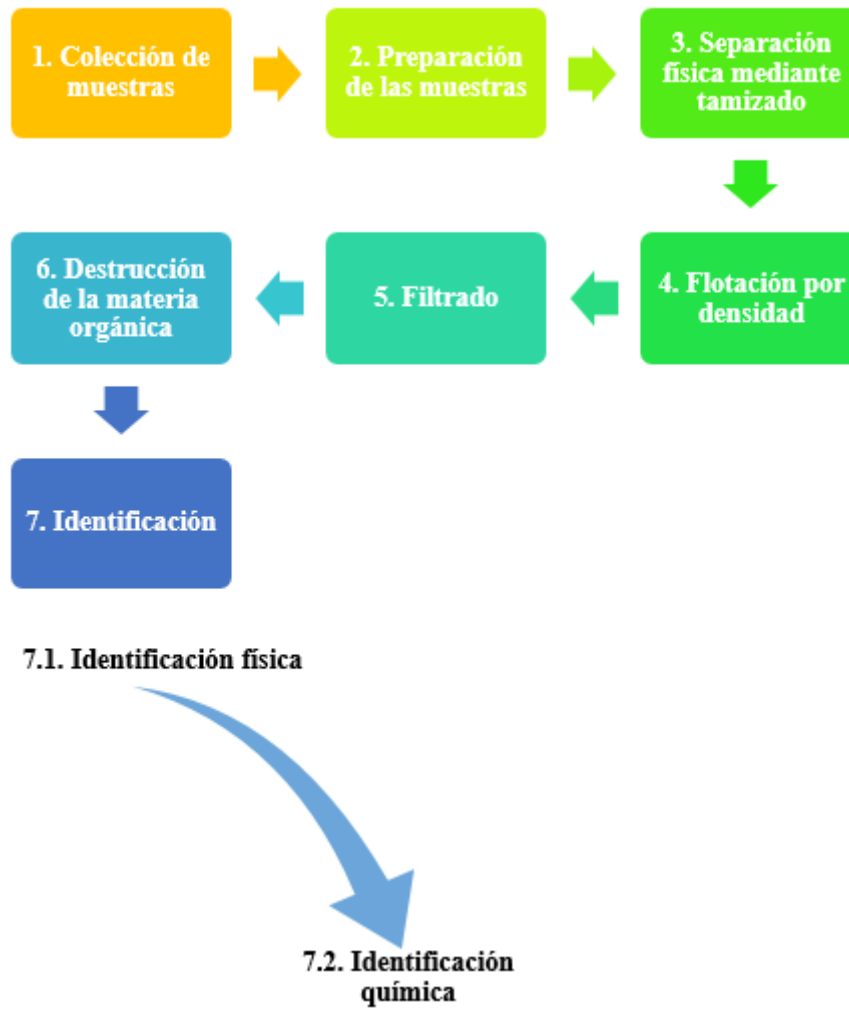
Situación ambiental en playa Agua Dulce, segundo mes de estudio



Nota. Elaboración propia

Apéndice 8.

Metodología de la identificación física y química de microplásticos



Nota. Elaboración propia

Apéndice 9.

Colores de los círculos por categoría de características físicas y químicas

CATEGORÍAS	COLOR
POLIPROPILENO	
POLIETILENO	
POLIETILENO II	
TAMAÑO	
1-2 mm	
2-3 mm	
3-4 mm	
4-5 mm	
FORMA	
IRREGULAR	
REGULAR	
FIBRA	
COLOR	
CÁLIDO	
FRÍO	

Nota. Elaboración propia

Apéndice 10.





Rango de concentración de MPs por cada categoría

TIPO DE POLÍMEROS Diámetro(cm)-Partículas	TAMAÑO Diámetro(cm)-Partículas
0.5= 0-5 1=6-10	0= 0-8 0.5=9-17 1=18-26
FORMA Diámetro(cm)-Partículas	COLOR Diámetro(cm)-Partículas
0=0-16 0.5= 17-33 1=34-50 1.5=51-67	0.5= 1-16 1=17-32 1.5= 33-48

Nota. Elaboración propia

Apéndice 11.

Diámetros de los círculos para cada rango de concentración de MPs

Diámetro 0.5	Diámetro 1	Diámetro 1.5	Diámetro 2
			

Nota. Elaboración propia

Apéndice 12.

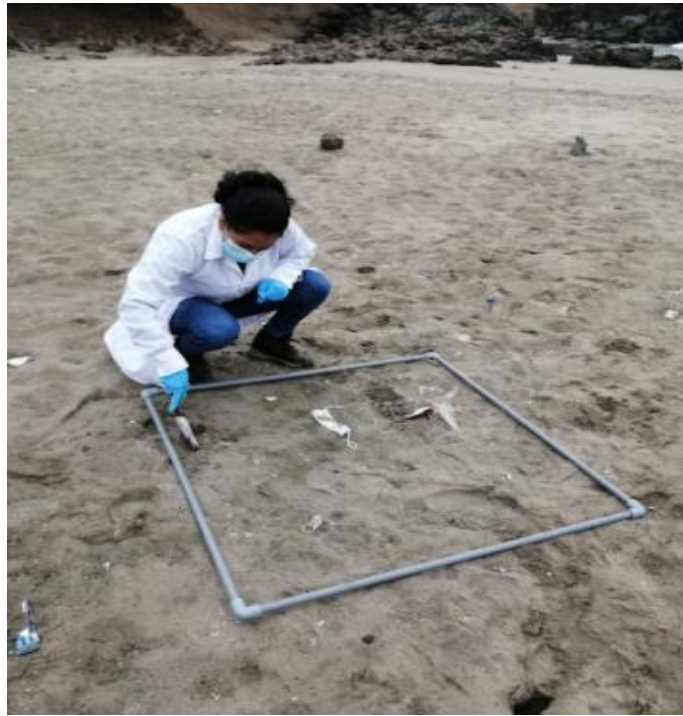
Toma de muestras de sedimento en Balneario de Ancón



Nota. Elaboración propia

Apéndice 13.

Toma de muestras de sedimento en playa Bahía Blanca



Nota. Elaboración propia

Apéndice 14.

Toma de muestras de sedimento en playa Agua Dulce



Nota. Elaboración propia

Apéndice 15.

Muestras de sedimento en laboratorio



Nota. Elaboración propia

Apéndice 16.

Cuarteo de las muestras de sedimento



Nota. Elaboración propia

Apéndice 17.

Preparación de las muestras para el secado



Nota. Elaboración propia

Apéndice 18.

Secado de las muestras de sedimento



Nota. Elaboración propia

Apéndice 19.

Muestras de sedimento seco



Nota. Elaboración propia

Apéndice 20.

Muestras de sedimento seco preparadas para el tamizado



Nota. Elaboración propia

Apéndice 21.

Flotación por densidad



Nota. Elaboración propia

Apéndice 22.

Filtrado de las muestras



Nota. Elaboración propia

Apéndice 23.

Destrucción de la materia orgánica de las muestras



Nota. Elaboración propia

Apéndice 24.

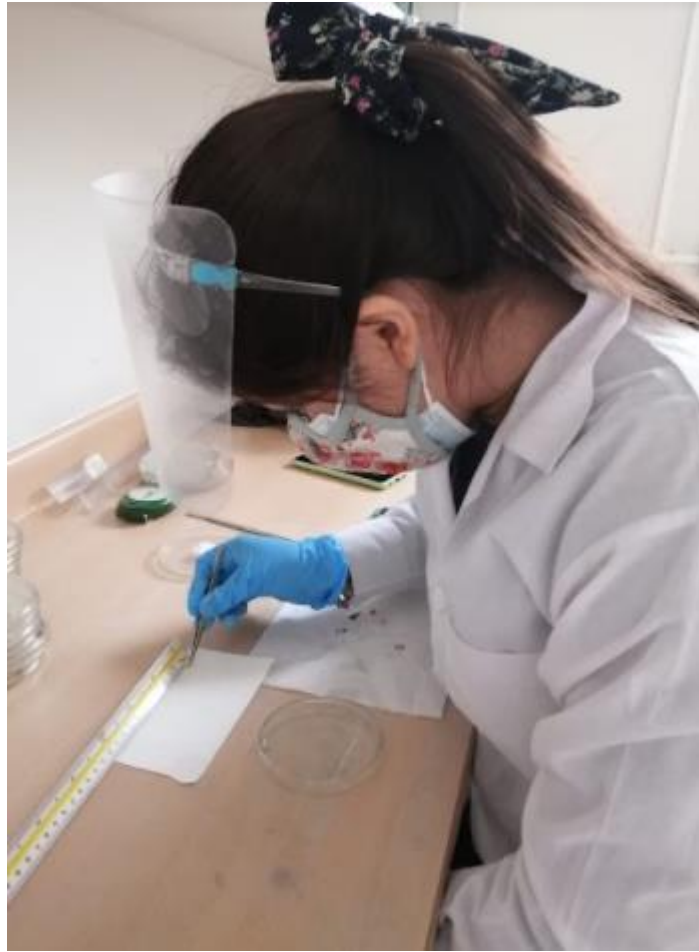
Identificación de las categorías de color de las muestras



Nota. Elaboración propia

Apéndice 25.

Identificación de las categorías de tamaño y forma de las muestras



Nota. Elaboración propia

Apéndice 26.

Pesado de las muestras



Nota. Elaboración propia

Apéndice 27.

Identificación microscópica de las muestras



Nota. Elaboración propia

Apéndice 28.

Informe técnico del polímero abundante de Balneario de Ancón



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
LABORATORIO LABICER
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN




INFORME TÉCNICO N° 1082 – 21 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : ESTRELLA YOLITA DE LA CRUZ NOLASCO
 - 1.2 DNI : 70161118
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 21 / 10 / 2021
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 22 / 10 / 2021
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 22 / 10 / 2021
3. ANÁLISIS SOLICITADO : IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE MICROPLÁSTICO
 - 4.2 COLOR : BLANCO
5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 21.5°C; Humedad relativa: 65%
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier-Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR). PERKIN ELMER, FRONTIER.
8. RESULTADO

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Identificación del material	El perfil del espectro infrarrojo del microplástico presenta frecuencias de absorción que corresponden al compuesto de polipropileno. (Ver Anexo, Figuras N°1, 2 y 3).	Espectrofotometría Infrarrojo de Transformadas de Fourier-Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR)

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.


Bach. Natalia Quespe G.
Analista Químico
LABICER –UNI


Sc. Iv. Mayra Meza Mejía
Responsable de análisis
Jefe de Laboratorio
COP 1149

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

ANEXO



Figura N°1. Muestra microplástico de color blanco analizada.

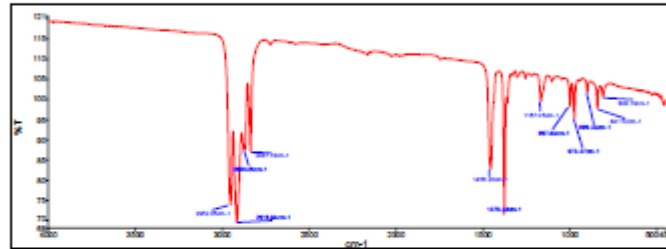


Figura N°2. Espectro infrarrojo de la muestra Microplástico blanco.

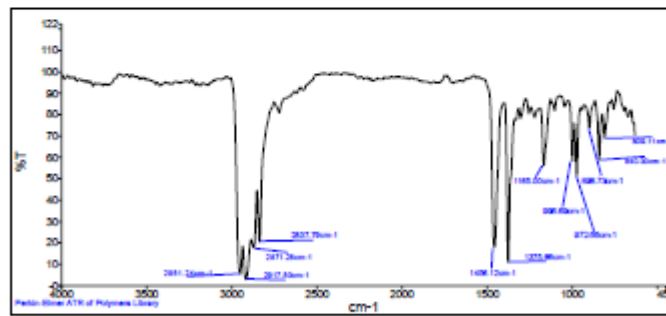


Figura N°3. Espectro infrarrojo del polímero de Polipropileno.
(Librería de polímeros ATR PERKIN-ELMER)



Nota. Elaboración propia

Apéndice 29.

Informe técnico del polímero abundante de playa Bahía Blanca



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
LABORATORIO LABICER
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 1063 – 21 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : ESTRELLA YOLITA DE LA CRUZ NOLASCO
 - 1.2 DNI : 70161118
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 21 / 10 / 2021
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 22 / 10 / 2021
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 22 / 10 / 2021
3. ANÁLISIS SOLICITADO : IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL POR ESPECTROSCOPÍA INFRARROJA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE MICROPLÁSTICO
 - 4.2 COLOR : AZUL
5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 21.5°C; Humedad relativa: 65%
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier-Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR), PERKIN ELMER, FRONTIER.

8. RESULTADO

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Identificación del material	El perfil del espectro infrarrojo del microplástico presenta frecuencias de absorción que corresponden al compuesto de polietileno. (Ver Anexo, Figuras N°1, 2 y 3).	Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier-Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR)

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.


Beth Nelsa Quipe G.
Analista Químico
LABICER-UNI


Sc. Iv Mejía Meza Mejía
Responsable de análisis
Jefe de Laboratorio
COP 1149

El Laboratorio no se responsabiliza del muestra ni de la procedencia de la muestra.

ANEXO



Figura N°1. Muestra microplástico de color azul analizada.

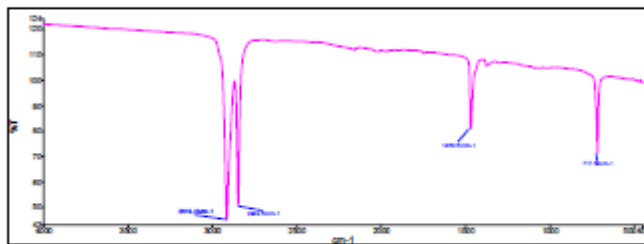


Figura N°2. Espectro infrarrojo de la muestra Microplástico azul.

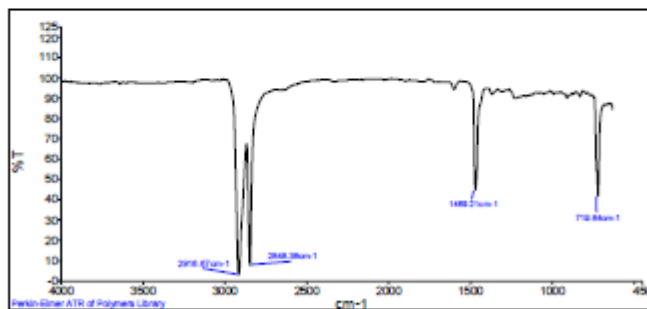


Figura N°3. Espectro infrarrojo del polímero de Polietileno.
(Librería de polímeros ATR PERKIN-ELMER)



Nota. Elaboración propia

Apéndice 30.

Informe técnico del polímero abundante de playa Agua Dulce



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
LABORATORIO LABICER
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN




INFORME TÉCNICO N° 1061 – 21 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : ESTRELLA YOLITA DE LA CRUZ NOLASCO
 - 1.2 DNI : 70161118
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 21 / 10 / 2021
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 22 / 10 / 2021
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 22 / 10 / 2021
3. ANÁLISIS SOLICITADO : IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE MICROPLÁSTICO
 - 4.2 COLOR : ROJO
5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 21.5°C; Humedad relativa: 65%
7. EQUIPO UTILIZADO : Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformadas de Fourier-Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR). PERKIN ELMER, FRONTIER.
8. RESULTADO

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Identificación del material	El perfil del espectro infrarrojo del microplástico presenta frecuencias de absorción que corresponden al compuesto de polietileno. (Ver Anexo, Figuras N°1, 2 y 3).	Espectrofotometría Infrarrojo de Transformadas de Fourier-Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR)

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.


Bach. Natalia Quispe G.
Analista Químico
LABICER - UNI


M.Sc. Iry Mariu Maza Mejía
Responsable de análisis
Jefe de Laboratorio
CQP 1149

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

ANEXO



Figura N°1. Muestra microplástico de color rojo analizada.

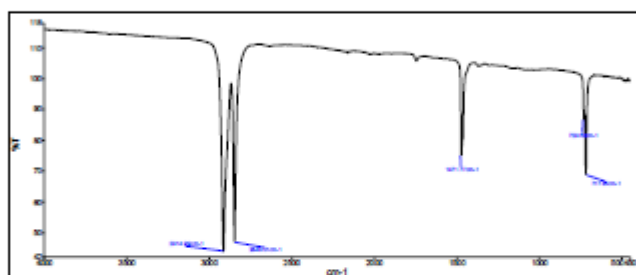


Figura N°2. Espectro infrarrojo de la muestra Microplástico rojo.

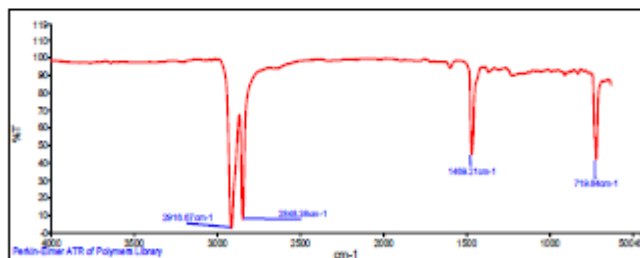


Figura N°3. Espectro infrarrojo del polímero de Polietileno.
(Librería de polímeros ATR PERKIN-ELMER)



Nota. Elaboración propia

Apéndice 31.

Protocolo propuesto en la investigación para la recolección de microplásticos

1. Materiales para la recolección de muestras:

- Cuadrantes metálicos de 1 m²
- Pala metálica
- Bolsas ziploc
- Contenedor refrigerante
- Placas de Petri
- Vaso de precipitados de 250 ml
- Papel de aluminio
- Tamiz de 0.5 mm
- Papel filtro de 0,5 mm
- Agua destilada
- Aceite de oliva
- Peróxido de hidrógeno al 10%
- Balanza analítica
- Horno de laboratorio
- Microscopio óptico

2. Preparación de las zonas de muestreo

Las longitudes de las costas de las playas fueron divididas en cuatro estaciones de muestreo con una separación de 100 m y profundidad de 5 cm y a lo largo de los transectos, tres puntos de muestreo; de tal manera, las estaciones de muestreo (EM) se ubicaron de forma representativa en toda el área de acuerdo a lo mencionado por Shafazamilla *et al.* (2019) y De la Torre *et al.* (2019). Asimismo, los puntos de muestreo de cada estación se ubicaron según la amplitud de marea en el momento del muestreo, es decir, la diferencia vertical de la marea alta y baja, estableciendo tres cuadrantes o puntos de muestreo de la siguiente manera: línea de bajamar (cuadrante 1), línea media (cuadrante 2) y línea de pleamar (cuadrante 3) según lo mencionado por Villanova *et al.* (2018).

3. *Recolección de muestras*

Para la recolección de muestras colocamos el cuadrante y empleamos una pala metálica, para evitar contaminación por plásticos, las muestras fueron tomadas de dos cuadrantes 330 g de sedimento y 340 g del tercero, de manera aleatoria, y de este modo obtener en total 1 kg de muestra de sedimento de cada transecto según lo señalado por Urban-Maling *et al.* (2020).

Las muestras fueron colocadas en bolsas ziploc y cerradas herméticamente para evitar contaminantes, fueron etiquetadas de acuerdo a la estación de muestreo y preservadas en un contenedor refrigerante para ser llevadas a laboratorio y continuar con el procesamiento de las mismas mencionado en el estudio de Purca y Henostroza (2017).

4. Preparación de las muestras

Tomando las precauciones para limitar la contaminación de las muestras se realizó un cuarteo de los sedimentos para obtener la muestra representativa a analizar. Posteriormente, las muestras obtenidas fueron secadas en el horno de secado acondicionado a 40 °C por un periodo de 48 horas de acuerdo a Crawford y Quinn (2017). Se tamizaron las muestras a través de un tamiz de 1 mm, culminado el procedimiento de tamizado se realizó la flotación por densidad. El estudio realizado por Crichton *et al.* (2017) sugiere el uso de aceite de canola hidrofóbico como una nueva, ecológica y efectiva técnica de separación. En ese sentido, en el presente estudio se optó por el uso de aceite de oliva debido a que posee características similares a los del aceite de canola y fue de fácil obtención.

5. Análisis en el laboratorio

El sobrenadante resultante del procedimiento anterior se filtró por un filtro de 0,5 mm y los resultados fueron transferidos a un vaso de precipitados. Para descartar la interferencia del material orgánico en las muestras de microplásticos, se realizó la destrucción de materia orgánica mediante solución de H₂O₂ al 10 % con un tiempo de exposición de 18 horas de acuerdo a Frías *et al.* (2018), así se aseguró la eliminación de materia orgánica sin daños a las partículas.

Al culminar los procedimientos descritos, las muestras finales obtenidas fueron filtradas a través de filtro de 0,5 mm. Las partículas obtenidas del filtrado fueron colocadas en placas de Petri para continuar con el procedimiento de la identificación física y química.