



Universidad  
del Atlántico

CÓDIGO: FOR-DO-109

VERSIÓN: 0

FECHA: 03/06/2020

**AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA  
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL  
TEXTO COMPLETO**

Puerto Colombia, **29 de Abril de 2020**

Señores

**DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECAS**

Universidad del Atlántico

**Asunto: Autorización Trabajo de Grado**

Cordial saludo,

Yo, **KATLEN MILÉN SALCEDO FIGUEROA**, identificado(a) con **C.C. No. 1.143.256.550** de **BARRANQUILLA**, autor(a) del trabajo de grado titulado **CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DE MUESTRAS AMBIENTALES PROVENIENTES DE LAS PLAYAS COSTERAS DEL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO POR ATR-FTIR** presentado y aprobado en el año **2020** como requisito para optar al título Profesional de **QUÍMICO(A)**; autorizo al Departamento de Bibliotecas de la Universidad del Atlántico para que, con fines académicos, la producción académica, literaria, intelectual de la Universidad del Atlántico sea divulgada a nivel nacional e internacional a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios del Departamento de Bibliotecas de la Universidad del Atlántico pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web institucional, en el Repositorio Digital y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad del Atlántico.
- Permitir consulta, reproducción y citación a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Esto de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Atentamente,

Firma

**KATLEN MILÉN SALCEDO FIGUEROA**

**C.C. No. 1.143.256.550 de BARRANQUILLA**

**DECLARACIÓN DE AUSENCIA DE PLAGIO EN TRABAJO ACADÉMICO PARA GRADO**

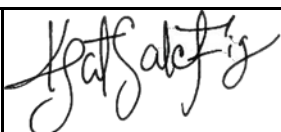
*Este documento debe ser diligenciado de manera clara y completa, sin tachaduras o enmendaduras y las firmas consignadas deben corresponder al (los) autor (es) identificado en el mismo.*

Puerto Colombia, **29 de Abril de 2020**

Una vez obtenido el visto bueno del director del trabajo y los evaluadores, presento al **Departamento de Bibliotecas** el resultado académico de mi formación profesional o posgradual. Asimismo, declaro y entiendo lo siguiente:

- El trabajo académico es original y se realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, en consecuencia, la obra es de mi exclusiva autoría y detento la titularidad sobre la misma.
- Asumo total responsabilidad por el contenido del trabajo académico.
- Eximo a la Universidad del Atlántico, quien actúa como un tercero de buena fe, contra cualquier daño o perjuicio originado en la reclamación de los derechos de este documento, por parte de terceros.
- Las fuentes citadas han sido debidamente referenciadas en el mismo.
- El (los) autor (es) declara (n) que conoce (n) lo consignado en el trabajo académico debido a que contribuyeron en su elaboración y aprobaron esta versión adjunta.

<b>Título del trabajo académico:</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DE MUESTRAS AMBIENTALES PROVENIENTES DE LAS PLAYAS COSTERAS DEL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO POR ATR-FTIR</b>
<b>Programa académico:</b>	<b>QUÍMICA</b>

<b>Firma de Autor 1:</b>							
<b>Nombres y Apellidos:</b>	<b>KATLEN MILÉN SALCEDO FIGUEROA</b>						
<b>Documento de Identificación:</b>	<b>CC</b>	<b>X</b>	<b>CE</b>	<b>PA</b>	<b>Número:</b>	<b>1.143.256.550</b>	
<b>Nacionalidad:</b>					<b>Lugar de residencia:</b>		
<b>Dirección de residencia:</b>							
<b>Teléfono:</b>					<b>Celular:</b>		



**FORMULARIO DESCRIPTIVO DEL TRABAJO DE GRADO**

<b>TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO DE GRADO</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DE MUESTRAS AMBIENTALES PROVENIENTES DE LAS PLAYAS COSTERAS DEL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO POR ATR-FTIR</b>
<b>AUTOR(A) (ES)</b>	<b>KATLEN MILÉN SALCEDO FIGUEROA</b>
<b>DIRECTOR (A)</b>	<b>VICTORIA ANDREA ARANA RENGIFO</b>
<b>CO-DIRECTOR (A)</b>	<b>NO APLICA</b>
<b>JURADOS</b>	<b>CARLOS GRANDE TOVAR JORGE ROPERO VEGA</b>
<b>TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE</b>	<b>QUÍMICO</b>
<b>PROGRAMA</b>	<b>QUÍMICA</b>
<b>PREGRADO / POSTGRADO</b>	<b>PREGRADO</b>
<b>FACULTAD</b>	<b>CIENCIAS BÁSICAS</b>
<b>SEDE INSTITUCIONAL</b>	<b>SEDE NORTE</b>
<b>AÑO DE PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO</b>	<b>2020</b>
<b>NÚMERO DE PÁGINAS</b>	<b>96</b>
<b>TIPO DE ILUSTRACIONES</b>	<b>FIGURAS Y TABLAS</b>
<b>MATERIAL ANEXO (VÍDEO, AUDIO, MULTIMEDIA O PRODUCCIÓN ELECTRÓNICA)</b>	<b>NO APLICA</b>
<b>PREMIO O RECONOCIMIENTO</b>	<b>NO APLICA</b>



**CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DE MUESTRAS AMBIENTALES  
PROVENIENTES DE LAS PLAYAS COSTERAS DEL DEPARTAMENTO DEL  
ATLÁNTICO POR ATR-FTIR**

**KATLEN MILÉN SALCEDO FIGUEROA**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE QUÍMICO**

**PROGRAMA DE QUÍMICA  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO  
PUERTO COLOMBIA  
2020**



**CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DE MUESTRAS AMBIENTALES  
PROVENIENTES DE LAS PLAYAS COSTERAS DEL DEPARTAMENTO DEL  
ATLÁNTICO POR ATR-FTIR**

**KATLEN MILÉN SALCEDO FIGUEROA**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE QUÍMICO**

**Directora**

**VICTORIA ANDREA ARANA RENGIFO**

**Ph.D.**

**PROGRAMA DE QUÍMICA  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO  
PUERTO COLOMBIA  
2020**

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

DIRECTOR(A)

---

JURADOS

---

---

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todos los docentes de la Facultad de Ciencias Básicas, especialmente a los docentes del Departamento de Química por su labor y dedicación para la preparación de futuros profesionales y por inspirarme a nivel profesional e integral. De manera muy especial agradezco a la Dra. Victoria Andrea Arana Rengifo por brindarme su apoyo y las herramientas necesarias para cumplir con los objetivos de este proyecto de investigación. Al grupo de investigación en Ciencia, Educación y Tecnología – CETIC y a la Universidad del Atlántico.

Agradezco al estudiante de ingeniería mecánica de la Universidad del Atlántico Brayan Pérez Buitrago por su colaboración en la instalación y el manejo de las herramientas informáticas necesarias para el análisis estadístico de este proyecto.

Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en la realización de esta tesis. A mis padres, hermanos, abuelos y amigos cercanos.

# CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DE MUESTRAS AMBIENTALES PROVENIENTES DE LAS PLAYAS COSTERAS DEL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO POR ATR-FTIR

## RESUMEN

Los plásticos representan más del 80 % de la basura marina. A través de una combinación de fotodegradación, avería mecánica, entre otros, se fragmentan hasta alcanzar tamaños de milímetros (<5 mm), llamados microplásticos (MP). Este estudio estima la abundancia y la composición química de los MP presentes en el sedimento recolectado de las playas a lo largo de la costa del Departamento del Atlántico. Se recolectó un total de 528 items plásticos. Se encontraron fibras, fragmentos, espuma y pellets con porcentajes de aparición del 49 %, 26 %, 15 % y 10 %, respectivamente. Se determinó un rango de tamaño de 1,442 – 5,003 mm (fibras no incluidas). Los MP variaron de 28,57 - 2200 items/kg de sedimento seco. En el análisis de componentes principales (ACP) y la agrupación jerárquica se identifican cuatro clusters. Se analizaron por espectroscopía ATR-FTIR 66 items, donde el polietileno oxidado (OPE) representó mayor porcentaje de aparición con un 30 % del total; el polipropileno (PP), polietileno de alta densidad (HDPE) y polietileno (PE) con un 31 %, 24 % y 12 % respectivamente. En los espectros se evidenció alto nivel de contaminación de las muestras por la presencia de bandas extra y ensanchamiento de bandas. Este trabajo de investigación expone un diagnóstico del nivel de contaminación microplástica y los tipos de plásticos presentes en las playas de la costa del Departamento del Atlántico. Con ello, se pretende incentivar a investigadores y entidades gubernamentales para la búsqueda de soluciones que permitan mitigar la presencia de estos residuos.

**Palabras claves:** fibras, pellet, fragmento, espuma, abundancia.



## **ABSTRACT**

Plastics represent more than 80% of marine litter. Through a combination of photodegradation, mechanical breakdown, among others, plastic parts are fragmented to millimeter sizes (<5 mm), called microplastics (MP). This study estimates the abundance and chemical composition of MP present in the sediment collected from beaches along the coast of the Atlantic Department. 528 plastic items were collected. Fibers, fragments, foams and pellets, were found with percentage of occurrence of 49%, 26 %, 15 % and 10 %, respectively. A size range of 1,442 - 5,003 mm was determined (fibers not included). The MP varied from 28.57 to 2200 items/kg of dry sediment. In the principal component analysis (PCA) and the hierarchical clustering, four clusters were identified. Sixty-six items were analyzed by ATR-FTIR spectroscopy, where oxidized polyethylene (OPE) represented the largest percentage of occurrence with 30 % of the total; polypropylene (PP), high density polyethylene (HDPE) and polyethylene (PE) with 31 %, 24 % and 12 % respectively. In the spectra, a high level of contamination of the samples was evidenced by the presence of extra bands and band widening. This research project presents a diagnosis of microplastic contamination levels and types of plastics present on the beaches of the Atlantic Department coast; with which it seeks to encourage researchers and government entities to find solutions to mitigate the presence of this waste.

**Keywords:** fibers, pellet, fragment, foam, abundance

## CONTENIDO

Página

<b>RESUMEN</b> .....	7
<b>ABSTRACT</b> .....	8
<b>1. MARCO DE REFERENCIA Y ESTADO DEL ARTE</b> .....	19
<b>2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS</b> .....	22
2.1.1 Primarios .....	22
2.1.2 Secundarios .....	23
<b>2.2 TIPOS DE MICROPLÁSTICO (MATERIAL – ESTRUCTURA)</b> .....	24
<b>2.3 PLÁSTICOS MÁS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA</b> .....	26
<b>2.4 DISTRIBUCIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS EN LOS ENTORNOS</b> <b>MARINOS</b> .....	26
<b>2.5 IMPACTO DE LOS MICROPLÁSTICO EN LA BIOTA</b> .....	27
<b>2.6 IDENTIFICACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE</b> <b>MICROPLÁSTICOS</b> .....	27
2.6.1 Análisis por ATR-FTIR.....	31
<b>2.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIADO</b> .....	32
2.7.1 Análisis de componentes principales.....	32
<b>2.8 ESTADO DEL ARTE DE LA COSTA CARIBE COLOMBIANA</b> .....	33
<b>2. METODOLOGÍA</b> .....	36
<b>3.1 ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	36
<b>3.2 OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS</b> .....	38
<b>3.3 PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE MICROPLÁSTICOS</b> .....	39

3.3.1 Cuantificación de microplásticos .....	39
3.3.2 Determinación de distribución espacial o abundancia de MP .....	40
3.3.3 Reconocimiento de las características morfométricas de microplásticos .....	40
<b>3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....</b>	<b>40</b>
<b>3.5 CARACTERIZACIÓN POR ATR-FTIR.....</b>	<b>41</b>
3.5.1 Medición por ATR-FTIR.....	41
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>42</b>
<b>4.1 COMPOSICIÓN DE LOS SEDIMENTOS COSTEROS Y ABUNDANCIA DE     MICROPLÁSTICOS.....</b>	<b>42</b>
4.1.1 Abundancia de MP .....	47
<b>4.2 RECONOCIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE     MICROPLÁSTICOS.....</b>	<b>48</b>
<b>4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS MP .....</b>	<b>62</b>
<b>4.4 ANÁLISIS DE LOS ESPECTROS IR DE LAS MUESTRAS DE MP.....</b>	<b>72</b>
4.4.1 Espectros de Polipropileno.....	76
4.4.2 Espectros de Polietileno .....	79
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>82</b>
<b>5. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>84</b>
<b>6. REFERENCIAS .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>93</b>

## LISTA DE TABLAS

Página

<b>Tabla 1.</b> Densidades de materiales plásticos que se encuentran a menudo en el medio ambiente acuático [43]. .....	25
<b>Tabla 2.</b> Distribución de microplásticos en diferentes océanos [41]. .....	27
<b>Tabla 3.</b> Resumen de artículos de la literatura científica que reportan abundancia de microplásticos y los tipos de plástico presentes en distintas matrices ambientales. ....	29
<b>Tabla 4.</b> Código de identificación de las playas estudiadas y sus características principales.....	37
<b>Tabla 5.</b> Medidas de tendencia central y de dispersión para las cantidades de las tipologías de plásticos encontrados en las playas muestreadas.....	43
<b>Tabla 6.</b> Abundancia total de las tipologías de MP de las playas del Departamento del Atlántico. ....	48
<b>Tabla 7.</b> Características físicas de los MP extraídos de las muestras de sedimento. ....	50
<b>Tabla 8.</b> Inercia representada en cada una de las componentes y su porcentaje acumulado. ....	64
<b>Tabla 9.</b> Contribución de cada dimensión para cada variable representada. La mayor contribución se muestra en azul y la menor en rojo. ....	65
<b>Tabla 10.</b> Contribución de cada dimensión para cada individuo (playa) representado. La mayor contribución se muestra en azul y la menor en rojo. ....	66
<b>Tabla 11.</b> Coordenadas para el gráfico de círculo de correlaciones.....	67

<b>Tabla 12.</b> Coordenadas para el Gráfico de Plano principal. ....	70
<b>Tabla 13.</b> Resultados obtenidos en el análisis con ATR-FTIR. Comparación con espectros de referencia de la biblioteca ATR (umbral $\geq 75$ %) .....	73

## LISTA DE FIGURAS

Página

- Figura 1.** (a) Distribución geográfica y año de las publicaciones donde se han registrado microplásticos en muestras de sedimento y agua, (b) el número total (n) de publicaciones por año, y (c) porcentaje de estudios basados en el tipo de muestra y ubicación [28]. .....21
- Figura 2.** Fotomicrografías de microplásticos e inclusiones coloreadas en productos de limpieza facial A – I. N = 50 perlas por muestra de producto: (A) Exfoliante limpiador exfoliante de acción profunda sin aceite, (C) Exfoliante diario limpio, limpio y transparente, sin aceite, (B) Limpiador de poros, limpio y claro, (D) L ' Oreal 360 Go Clean, (E) Neutrogena Exfoliante diario para el acné sin aceite, (F) Exfoliante diario con poros transparentes Neutrogena, (G) Exfoliante suave para limpieza profunda Neutrogena, (H) Exfoliante en espuma vigorizante para limpieza profunda (Neutrogena) Neutrogena Libre de Acné Lavar Pomelo Rosa [22]. .....23
- Figura 3.** Muestras de microplásticos secundarios obtenidos de las muestras de sedimentos de las playas del Departamento del Atlántico, en el presente estudio. a) fragmento irregular, b) fragmento circular, c) espuma, d) fibra de textil. ....24
- Figura 4.** Ubicación geográfica de las playas de muestreo del Departamento del Atlántico. ....36
- Figura 5.** Metodología para la obtención de las muestras de microplásticos. A) Cuadrante, B) Recolección de sedimento [73]. .....39
- Figura 6.** Porcentaje de aparición para cada tipología de plástico de un total de 528 microplásticos recolectados en las muestras sedimentos de 23 playas. ....42
- Figura 7.** Cantidades de MP en las playas del departamento del Atlántico. ....44

<b>Figura 8.</b> Mapa 3D de la distribución de microplásticos en la costa del Departamento del Atlántico. Fibras (rojo), pellets (azul), fragmentos (verde) y espuma (amarillo). .....	45
<b>Figura 9.</b> Alturas de ola significativa ( $H_s$ , m), período de ola pico ( $T_p$ , s) y vectores de corrientes asociadas para el área de las costa del Departamento del Atlántico [90]. .....	47
<b>Figura 10.</b> Muestra de la variación del color de pellets recolectados de las 23 playas estudiadas. Playa A5 - transparente (A), A10 - blanco (B), A22 - amarillo (C) y A22 - ocre (D). .....	49
<b>Figura 11.</b> Plano principal inicial. Incluye la base de datos obtenida a partir de las 23 playas muestreadas. .....	63
<b>Figura 12.</b> Porcentaje de varianza para cada dimensión. ....	65
<b>Figura 13.</b> Círculo de correlaciones de las variables (Mapa de factores variables). .....	67
<b>Figura 14.</b> Plano principal y clusters. Mapa de factores de individuos. Formación de 4 clusters diferenciados por colores. Cluster 1 (azul), cluster 2 (negro), cluster 3 (verde) y cluster 4 (rojo). .....	69
<b>Figura 15.</b> Diagrama de agrupación jerárquica o dendograma para el estudio de clusters de las playas. .....	71
<b>Figura 16.</b> Porcentajes de aparición de los polímeros plásticos en las muestras analizadas por ATR-FTIR. ....	74
<b>Figura 17.</b> Porcentaje de aparición de polímero plástico agrupados por playas. ...	75
<b>Figura 18.</b> Espectro IR de Polipropileno (PP) de un MP de la playa Bocatocinos (A23). .....	76
<b>Figura 19.</b> Espectro IR de Polipropileno (PP) de un MP de la playa Aguamarina (A22). Presencia de nuevas bandas y ensanchamiento de bandas. ....	77

<b>Figura 20.</b> Espectros IR de Polipropileno contaminado (rojo) y Polipropileno tratado con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 50 %.	78
<b>Figura 21.</b> <i>Espectro IR de Polietileno (PE) de un MP de la playa Pradomar-Urbana (A4). banda no característica a 1033 cm<sup>-1</sup>.</i>	79
<b>Figura 22.</b> Espectro IR de Polietileno Oxidado (OPE) de un MP de la playa Pradomar-Urbana (A4). Banda de oxidación ubicada en 1710 cm <sup>-1</sup> .	80
<b>Figura 23.</b> Espectro IR de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) de un MP de la playa Puerto Velero-Expuesta (A7).	81



## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo A.</b> Código de identificación de materiales plásticos más comunes utilizados en la industria, características y estructura química de la unidad repetitiva ( <a href="http://www.acoplasticos.org">www.acoplasticos.org</a> ).....	93
<b>Anexo B.</b> Lista de modos de vibración importantes y asignaciones de modos para los espectros ATR FT-IR. Las bandas de absorción enumeradas son representativas de las vibraciones críticas para la identificación del polímero [103] .....	95

## INTRODUCCIÓN

La basura marina es una problemática existente en todo el planeta; amenaza los ecosistemas de agua dulce y salada [1,2]. Aunque la basura puede presentarse en diversos tipos de materiales, muchos estudios han evidenciado que los plásticos representan más del 80 % de la basura marina [3]. Los plásticos llegan a los cuerpos de agua por múltiples factores, entre los cuales destacan la pesca, el turismo, la navegación y el manejo incorrecto de los residuos. Los artículos de plástico más grandes entran en el medio marino, y a través de una combinación de fotodegradación y avería mecánica por acción del oleaje, se fragmentan en piezas cada vez más pequeñas hasta alcanzar tamaños de milímetros, formando los llamados “microplásticos” (MP); casi imposibles de detectar a simple vista [4]. Cada año acaban en el océano unos ocho millones de toneladas de plástico, un material que puede tardar siglos, o más, en desaparecer [5]. Los MP ambientales están disponibles para todos los niveles de la red alimentaria [6]. Los impactos a nivel de la población también son posibles, pero en gran parte desconocidos [7].

La investigación que examina la aparición de microplásticos en el medio marino ha aumentado sustancialmente. Estudios realizados alrededor del mundo han evidenciado la presencia de microplásticos en océanos, mares, ríos, entre otros [8–14]. El trabajo de campo y de laboratorio resulta simple, rápido y eficiente; y proporciona nuevas pruebas sobre el destino de los residuos microplásticos.

Se han utilizado varias herramientas analíticas para identificar la composición de los desechos plásticos [15]. Los métodos que pueden analizar toda la muestra, y que a menudo requieren menos preparación de la muestra, son las mediciones de espectroscopia vibratoria, como la espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) y espectroscopia de Raman. La espectroscopia FTIR con un accesorio ATR (Reflectancia total atenuada) es la más utilizada para identificar y

distinguir la mayoría de los polímeros plásticos. Esta técnica no destruye las muestras, es simple y eficiente. Se basa en bandas de absorción infrarrojas bien conocidas que representan distintas funcionalidades químicas presentes en el material.

Las muestras de microplásticos recolectadas de agua y sedimentos varían en densidad de partículas, distribución de tamaños (nano, micro y milímetros), forma geométrica (fibra, láminas, esférica, ovoide, cilíndrica, irregular), características superficiales y la flotabilidad. Estas características ayuda en gran medida a determinar su destino final y potencial contaminante [16].

En Colombia son muy pocos los estudios que examinan la contaminación por plásticos, por lo cual se desconoce su concentración en el medio, las causas y consecuencias que genera su presencia. Es evidente la importancia de elaborar nuevos estudios encaminados a conocer el estado actual de los microplásticos en las zonas costeras del departamento del Atlántico, en relación a su cantidad, composición química y morfometría para así incentivar la acción de elaborar estrategias de prevención y mitigación, además de permitir generar un diagnóstico del estado actual de estas zonas y fortalecer las políticas de gestión integral de recurso hídrico [17], y la política nacional del océano y los espacios costeros de Colombia [18].

En el presente trabajo tuvo como objetivo principal realizar un análisis químico y físico a muestras de microplásticos de las playas costeras del Departamento del Atlántico para su cuantificación e identificación. Proporcionar una visión general de la abundancia y los tipos de microplásticos presentes en veintitrés playas diferentes.

## 1. MARCO DE REFERENCIA Y ESTADO DEL ARTE

El término "microplásticos" o MP se utiliza ampliamente para describir partículas de plástico con un límite de tamaño superior de 5 mm de diámetro, que es tamaño más fácilmente ingerido por muchos organismos [19,20]. Gran variedad de productos de limpieza y cosméticos, como crema dental y exfoliantes, contienen microplásticos [21,22]. Los MP son un grupo de materiales sintéticos que están hechos de polímeros derivados del petróleo o de base biológica como la celulosa, además de que no son solubles en agua y su degradabilidad es baja [10,23,24].

Los MP pueden generarse por diferentes vías, entre las más comunes están:

- La fragmentación de macropásticos por agentes externos tales como el poder oxidante de la atmósfera, radiaciones ultra violetas, o la fuerza mecánica ejercida por la acción de las olas.
- Pérdidas en la cadena de producción y transformación de materia prima.
- Composición de productos tales como cosméticos, pinturas plásticas, limpiadores abrasivos, productos de limpieza industrial, etc.
- Desgaste de redes de pesca y prendas sintéticas.
- Degradación de neumáticos y campos deportivos artificiales [25]

En 1972, Carpenter & Smith se convirtieron en los primeros investigadores en dar a conocer la presencia de pequeñas esferas de plástico que flotaban en la superficie del Océano Atlántico Norte. En su publicación en Science, declararon: *"(...) El aumento de la producción de plástico, combinado con las prácticas actuales de eliminación de desechos, probablemente conducirá a mayores concentraciones en la superficie del mar (...)"* [26].

Cada año, grandes cantidades de desechos plásticos entran en el océano debido a

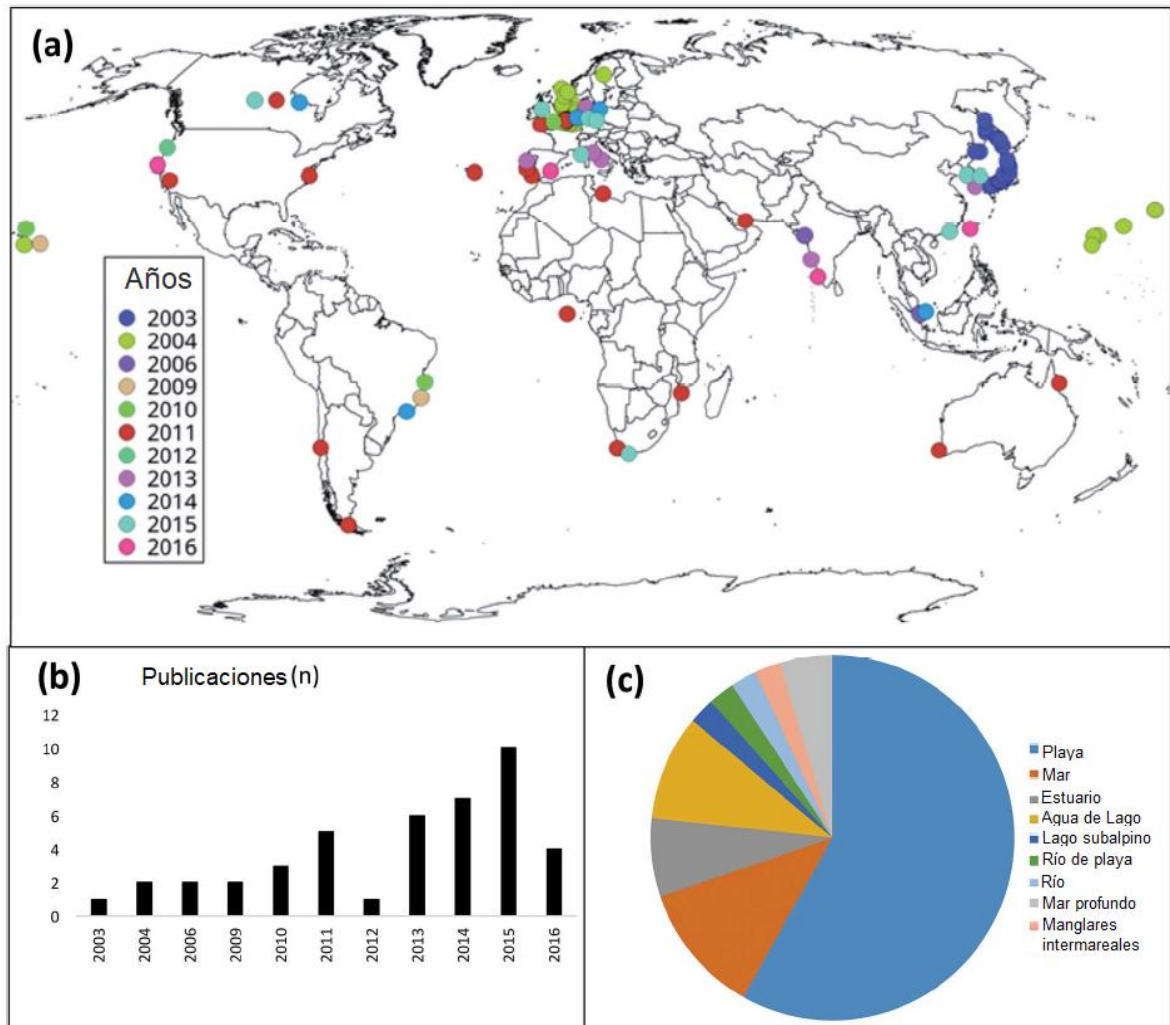
actividades tanto terrestres como marítimas, como la pesca y el turismo, y a la mala gestión de los desechos [27]. La cantidad total de microplásticos en los ecosistemas hídricos es desconocida e inmensurable, estos llegan a las costas se mezclan en la litósfera y aquellos que logran sedimentarse en el lecho marino son aún más difíciles de detectar [28]. Las corrientes marinas y los vientos pueden desplazar los microplásticos a kilómetros de donde se originaron.

Un estudio realizado por EUNOMIA concluyó que: Más del 80 % de los plásticos que llegan a los océanos provienen de fuentes terrestres, el 94 % de estos que entran en el océano terminan en el fondo del mar. Se estima que existen 70 kg/km<sup>2</sup> de fondo marino, apenas el 1 % de los plásticos marinos se encuentran flotando con una concentración media total inferior a 1 kg/km<sup>2</sup> y que la cantidad media estimada presente en las playas es mayor, 2.000 kg /km<sup>2</sup> o bien por vertido intencionado, o por el “flujo” existente entre la basura de las playas y el mar [29].

El problema de la contaminación microplástica ha sido estudiado alrededor del mundo. Muchos estudios evidencian la presencia de estos en ríos, mares, sedimento, incluso en contenido estomacal de distintas especies [30–33].

Qing Yu y colaboradores en su artículo de revisión publicado este año, hace un recuento del número de artículos publicados a nivel mundial sobre contaminación microplástica durante el período 2004-2018. Del 2004 al 2009, seis artículos incluidos en la base de datos central. El volumen de publicación anual promedio fue de menos de un artículo. Se emitieron 211 artículos del 2010 al 2015, con un volumen de publicación anual promedio de más de 35 artículos. Del 2016 al 2018, la investigación de microplásticos entró en una etapa de rápido desarrollo. Durante esta etapa, se publicaron 921 artículos, que representan el 80.9% de todos los resultados de búsqueda, y promedian un volumen de publicación de 307 artículos al año [33].

La Figura 1 ilustra un mapa de la distribución geográfica de estudios realizados sobre microplásticos durante el periodo del 2003 al 2016 en un artículo de revisión publicado en el 2017.



**Figura 1.** (a) Distribución geográfica y año de las publicaciones donde se han registrado microplásticos en muestras de sedimento y agua, (b) el número total (n) de publicaciones por año, y (c) porcentaje de estudios basados en el tipo de muestra y ubicación [28].

## 2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS

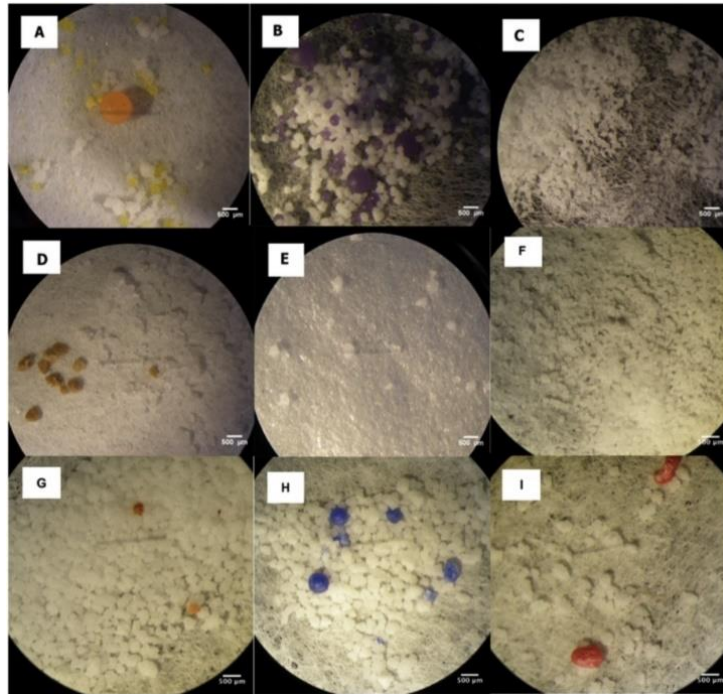
Según su fuente de origen los microplásticos pueden clasificarse en dos tipos:

### 2.1.1 Primarios

Los primarios son aquellos que se generan con una finalidad, normalmente para ser utilizados como abrasivos (exfoliantes, dentífricos, productos de limpieza de fachadas, etc). El éxito de los plásticos como materiales ha sido considerable. Esta versatilidad ha dado como resultado la producción mundial anual de alrededor de 300 millones de toneladas [34].

La industria utiliza los términos "microperlas" (micropellets) para describir las partículas microplásticas presentes como ingredientes en productos de cuidado personal y cosméticos; también pueden denominarse microesferas, nanoesferas, partículas de plástico [22]. Aproximadamente el 93 % de las microperlas usadas en cosméticos son de polietileno (PE), también se fabrican de materiales como el polipropileno (PP), tereftalato de PE (PET), polimetacrilato de metilo (PMMA) y nailon [21,22,35]. Se ha comprobado que tienen un tamaño de 4  $\mu\text{m}$  a 1 mm, lo que los convierte en una forma de microplásticos [36].

Chang Michelle en el 2015 realizó un estudio en el que caracterizó las propiedades físicas de las perlas de polietileno presente en distintos productos de limpieza facial. Los productos D y F tenían las perlas más pequeñas a 60  $\mu\text{m}$ , mientras que el producto E tenía las más grandes a 800  $\mu\text{m}$ . El Producto F, tuvo la mayor variación en tamaños (60  $\mu\text{m}$  – 540  $\mu\text{m}$ ) con una desviación estándar de 130  $\mu\text{m}$  (Figura 2).



**Figura 2.** Fotomicrográficas de microplásticos e inclusiones coloreadas en productos de limpieza facial A – I.  $N = 50$  perlas por muestra de producto: (A) Exfoliante limpiador exfoliante de acción profunda sin aceite, (C) Exfoliante diario limpio, limpio y transparente, sin aceite, (B) Limpiador de poros, limpio y claro, (D) L ' Oreal 360 Go Clean, (E) Neutrogena Exfoliante diario para el acné sin aceite, (F) Exfoliante diario con poros transparentes Neutrogena, (G) Exfoliante suave para limpieza profunda Neutrogena, (H) Exfoliante en espuma vigorizante para limpieza profunda (Neutrogena) Neutrogena Libre de Acné Lavar Pomelo Rosa [22].

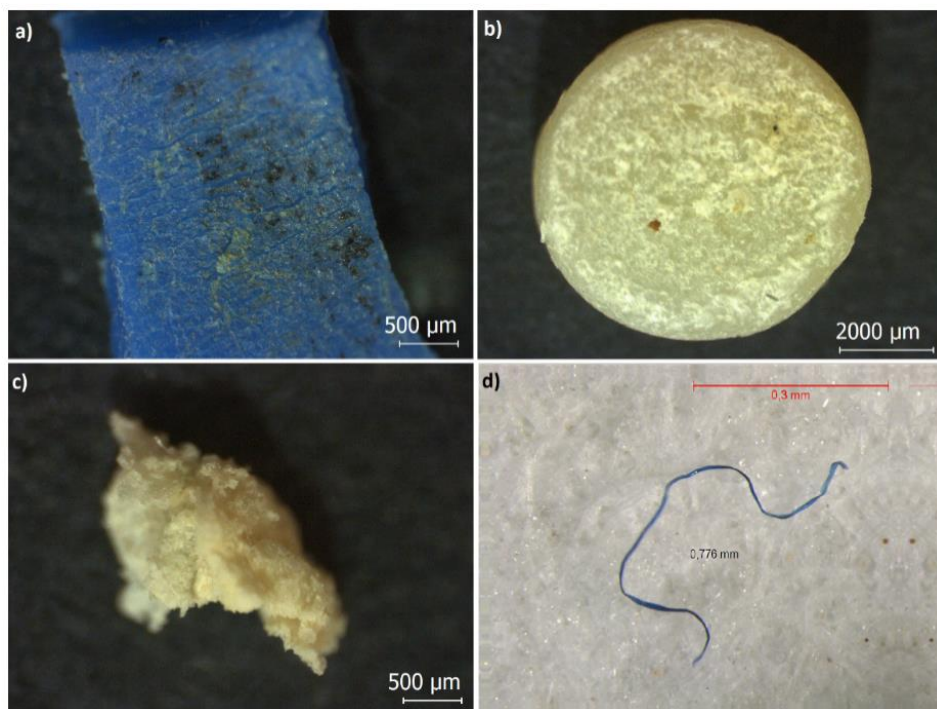
### 2.1.2 Secundarios

Los artículos de plástico más grandes llegan al medio marino y por acción de la luz solar y el calor (fotodegradación), y avería mecánica (por el oleaje y el viento), los fragmentos del artículo se reducen en piezas cada vez más pequeñas hasta que adquieren un tamaño microplástico [37]. Por ejemplo, en la superficie del agua y en el sedimento, el plástico obtiene la máxima exposición a la luz solar y el oxígeno está disponible para que el proceso de degradación por fotooxidación tenga lugar de tal manera que, ayudado por el agua en el ambiente, el plástico se vuelva



quebradizo y fragmentado debido a factores abióticos [38]. Este proceso conduce a la ruptura de enlaces como C-H y C-C produciendo nuevos enlaces como el C=O [4,39–41].

Como resultado de todo lo anterior puede encontrarse microplásticos con características morfométricas y con dimensiones distintas. Según su forma, pueden dividirse en ciertos grupos, cómo son: las fibras, que provienen en su mayoría de textiles, fragmentos irregulares y circulares, espuma, y pellets (Figura 3) [36].



**Figura 3.** Muestras de microplásticos secundarios obtenidos de las muestras de sedimentos de las playas del Departamento del Atlántico, en el presente estudio. a) fragmento irregular, b) fragmento circular, c) espuma, d) fibra de textil.

## 2.2 TIPOS DE MICROPLÁSTICO (MATERIAL – ESTRUCTURA)

Existen dos grandes grupos:

Los **termoplásticos**, que no sufren cambios en su estructura química durante el

calentamiento. Se pueden calentar y volver a moldear fácilmente por diferentes métodos. Ejemplos típicos de estos son el PE, el PP, el poliestireno (PS), el poliestireno expandido (EPS), el policloruro de vinilo (PVC), el PET, etc.

Los **termoestables o termofijos**, No sufren deformaciones al ser calentados, una vez adquieren rigidez no pueden volverse a trabajar. Por ejemplo, las resinas epoxídicas, las resinas fenólicas y amídicas y los poliuretanos [42].

Debido a la estructura química de cada plástico, presentan diferencias en su densidad (Tabla 1). Las partículas de plástico generalmente tienen un peso específico mucho más bajo que los sedimentos.

**Tabla 1.** Densidades de materiales plásticos que se encuentran a menudo en el medio ambiente acuático [43].

CLASE DE PLÁSTICO	ABREVIATURA	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )
Poliestireno expandido	EPS	0.01–0.04
Polietileno de baja densidad	LDPE	0.89–0.93
Polietileno de alta densidad	HDPE	0.94–0.98
Polipropileno	PP	0.83–0.92
Tereftalato de polietileno	PET	0.96–1.45
Poliamida (nylon)	PA	1.02–1.16
Poliestireno	PS	1.04–1.1
Cloruro de polivinilo	PVC	1.16–1.58
Policarbonato	PC	1.20–1.22
Poliuretano	PU	1.2
Poliéster	PES	1.24–2.3

Cabe resaltar que las densidades de los artículos de plástico pueden modificarse mediante aditivos y procesos ambientales como la intemperie y la suciedad [44–46].

### **2.3 PLÁSTICOS MÁS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA**

Su composición química distinta y su uso se resume a la economía, viabilidad y practicidad que el fabricante necesite en su producto dependiendo de su finalidad. Para su clasificación se emplea un sistema de codificación introducido en 1988 por la Sociedad de la Industria Plástica (SPI) Los propósitos de este código son brindar un sistema que facilite el reciclado de los plásticos usados, para identificar el contenido de resina de los recipientes; así como suministrar una codificación para los seis tipos de plásticos más comunes, y una séptima categoría para otros tipos de plásticos (Anexo A).

### **2.4 DISTRIBUCIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS EN LOS ENTORNOS MARINOS**

Por la densidad que presentan los microplásticos, estos suelen encontrarse en la superficie marina, sin embargo, la acción de microorganismos puede hacer que vayan descendiendo desde la superficie hasta el fondo marino. El plástico flotante puede ser transportado a grandes distancias por las corrientes oceánicas. [47–50]. Auta y colaboradores en el 2017 publicaron un artículo de revisión en el que se analizó el mecanismo de generación (fuentes) y las rutas que ayudan a la entrada de microplásticos en el medio marino. Además, presentaron su distribución ambiental a nivel mundial (Tabla 2).

Esto es motivo de gran preocupación porque los microplásticos pueden causar un daño significativo a los organismos marinos y humanos, reducen el valor recreativo, estético y patrimonial de un entorno, y parece inevitable que estas partículas continúen aumentando en los próximos años.

**Tabla 2.** Distribución de microplásticos en diferentes océanos [41].

ENTORNO MARINO	DISTRIBUCIÓN	CONCENTRACIÓN
Océano Atlántico Noreste	89 %	2,46 partículas/m <sup>3</sup>
Aguas Polares Árticas	95 %	0 – 1,31 partículas/m <sup>3</sup>
Gran Lago Laurentian	20 %	43000 a 46000 partículas/km <sup>2</sup>
Bahía Jade, Mar del Norte Meridional	70 %	1770 partículas/L
Atlántico Noroccidental	60 %	2500 partículas/km <sup>2</sup>
Costa Portuguesa	53 %	332 – 362 artículos/m <sup>2</sup>
Mar Mediterráneo	74 %	0,90 ± 0,10 microplásticos/g
Estuario de Yangtzé y Mar Oriental de China	90 %	0 – 144 partículas/m <sup>3</sup>
Playas de la Bahía de Guanabara, Sureste de Brasil	56 %	12 – 1300 partículas/m <sup>2</sup>
Costa Sueca	-	150 – 2400 partículas/m <sup>3</sup>
Mar de Bohai Chino	-	63 – 201 artículos/kg

## 2.5 IMPACTO DE LOS MICROPLÁSTICO EN LA BIOTA

El daño al medio ambiente a los organismos debido a los desechos plásticos está bien documentado [7,51–53]. Incluye estudios toxicológicos de laboratorio han identificado que la ingestión de microplásticos puede conducir a efectos adversos para la salud en una serie de organismos marinos, incluyendo: una mayor respuesta inmunológica en los mejillones [54]; una reducción en las reservas energéticas y la actividad de bioturbación de los gusanos poliquetos [52]; toxicidad hepática en los peces [55,56]; entre otros. La acumulación masiva de partículas plásticas representa un peligro potencial para los ecosistemas marinos de todo el mundo [10]. Los bivalvos, el zooplancton, peses, camarones, ostras, copépodos, gusanos marinos, y ballenas, han sido reportados con ingestas de microplásticos [57].

## 2.6 IDENTIFICACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE MICROPLÁSTICOS

En los análisis durante la clasificación de los microplásticos suelen clasificarse algunos erróneamente como microplásticos. El uso de infrarrojos (IR) y

espectroscopia Raman ha sido altamente recomendado para este propósito [58].

Valeria Hidalgo-Ruz y colaboradores en el 2012 realizaron un estudio de revisión donde se evaluaron diferentes métodos que se habían empleado hasta entonces para la identificación de microplásticos en el medio marino. Los polímeros más comunes identificados en los estudios revisados fueron PE, PP y PS. Los diferentes tipos de espectroscopia aplicados para la identificación de microplásticos en estos estudios fueron el espectrofotómetro infrarrojo, FTIR, el espectrómetro de infrarrojo cercano y la espectroscopia de Raman [59]. En general, estas técnicas espectroscópicas son eficaces, sencillas y fiables que requiere una preparación mínima de las muestras y que se ha utilizado con éxito para la identificación de microplásticos que han sido separados de muestras ambientales.

Durante los últimos años se han publicado muchos estudios que han cuantificado los microplásticos en aguas superficiales, sedimentos y contenido estomacal de peces, cotejado las técnicas analíticas reportadas. La información proporcionada en una serie de artículos publicados durante los últimos tres años sobre microplásticos ha sido recopilada y se presenta en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Resumen de artículos de la literatura científica que reportan abundancia de microplásticos y los tipos de plástico presentes en distintas matrices ambientales.

UBICACIÓN	MUESTRA	EXTRACCIÓN	ABUNDANCIA	TÉCNICA ANALÍTICA	TIPOS DE PLÁSTICO	REF
Atolón de Faafu, República de Maldivas	Agua de mar y sedimento	Por densidad (NaCl), filtración (Anodisco)	389 ítems en agua de mar, 824 ítems en sedimento.	microscopio estereoscópico, ATR-FTIR	30 % PE, 23 % PP. 7 % PVDF.	[60]
Mar de Maowei. Noroeste del Mar de China Meridional	Sedimento	Por densidad (formiato de potasio, 1,5 g/mL) y filtración.	520 ± 8 y 940 ± 17 ítems	microscopio estereoscópico, micro-Raman	PE, PP y PS	[61]
Mar Amarillo del Norte, China	Agua superficial y sedimento	Agua: Por densidad (NaCl 1,2 g / cm <sup>3</sup> ). Sedimento: secado (70 ° C), NaI (1,6 g / cm <sup>3</sup> ) y filtrado con tamiz.	545 ± 282 ítems/m <sup>3</sup> (aguas marinas) 37,1 ± 42,7 ítems/kg (sedimentos)	microscopio estereoscópico, micro-FTIR	PE y el PP	[62]
Río Yangtze, China	Agua superficial, sedimento	—	Micro: 1.95 × 10 <sup>5</sup> - 9.00 × 10 <sup>5</sup> ítems/km <sup>2</sup> , Meso: 1.94 × 10 <sup>3</sup> - 2.78 × 10 <sup>4</sup> ítems/km <sup>2</sup> (aguas) y 7-66 ítems/kg (sedimentos).	Microscopía acoplado a Raman	PP, PE y PS	[63]
Océano Pacífico Noroeste	Agua superficial	Por densidad (NaCl), filtración (fibra de vidrio (0,7 µm)) y secado.	1.0×10 <sup>4</sup> ítems/km <sup>2</sup> .	SEM-EDS, micro-Raman y FTIR	PE 58%, PP 36 % y nylon 3.4 %.	[64]

**Tabla 3. (Continuación)**

UBICACIÓN	MUESTRA	EXTRACCIÓN	ABUNDANCIA	TÉCNICA ANALÍTICA	TIPOS DE PLÁSTICO	REF
Embalse de las Tres Gargantas (TGR), China	Agua superficial, sedimento	Agua superficial: por densidad, secado. Sedimento: por densidad NaCl, filtrado.	De 1597 a 12,611 items/m <sup>3</sup> (agua superficial) y de 25 a 300 items/kg (sedimentos)	microscopía por disección y micro-Raman	PS 38,5% PP 9,4% y PE 21%.	[65]
Océano Pacífico Norte y Océano Atlántico Sur.	Agua superficial, tripas de pescado	Peces: extracción, filtración, digestión y secado. Agua: filtración, digestión y secado.	–	microscopio estereoscópico, micro-Raman	PE, PS y PP (agua), PE y PP (peces)	[66]
China: el lago Qinghai	Agua superficial, sedimento, y peces.	Agua: formiato de potasio (1.54 g m/L), filtrado y secado. Sedimento: tamiz, filtrado y secado. Peces: disecado y digerido en KOH 10%.	0.05x 10 <sup>5</sup> - 7.58x 10 <sup>5</sup> items/km <sup>2</sup> (agua), 50 a 1292 items/m <sup>2</sup> (sedimento) y 2 - 15 items/individuo (peces)	microscopio estereoscópico, micro-Raman	PE y PP.	[67]
Lago Ontario, tributarios y sedimentos, Canadá	Sedimento	Secado 70 ° C, tamizaje, por densidad en politungstato de sodio (SPT).	20 - 27,830 items/kg	microscopio estereoscópico, micro-Raman y XRF	31 % PE, 10 % PS, 4 % PU. PP, PVC 3% c/u	[68]
Lago Vembanad, Kerala, India	Sedimento	Tamizaje, secado al aire, oxidación con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 30 %, separación por densidad con NaCl, filtrado, secado al aire.	96 a 496 items/m <sup>2</sup>	microscopio compuesto, micro-Raman	HDPE, LDPE 26 – 91 %, PS y PP.	[69]

### 2.6.1 Análisis por ATR-FTIR

La espectroscopia FTIR se basa en que la mayoría de las moléculas absorben la luz en la región infrarroja del espectro electromagnético. La luz infrarroja presenta una longitud de onda que va desde los 700 nm, hasta 1 mm. Los fotones que componen la luz infrarroja pueden ser absorbidos por la muestra (absorción) o pueden no interactuar con la muestra y pasar directamente a través de ella (transmitancia). Las moléculas de la muestra que absorben los fotones ganan energía y, como consecuencia, los enlaces de las moléculas se distorsionan más energéticamente por medio de la flexión y el estiramiento. Así, la espectroscopia infrarroja es una técnica que irradia una muestra con longitudes de onda específicas de luz infrarroja y luego examina la luz transmitida para deducir la cantidad de energía que fue absorbida por las moléculas en cada longitud de onda, proporcionando así información sobre las moléculas presentes en el espectro de la muestra. Por ejemplo, en el caso del PE, una fuerte señal de doble banda, está presente en el espectro alrededor de  $2800\text{ cm}^{-1}$ , lo que representa un estiramiento de C-H. Sin embargo, en el caso del PET, sólo se observa una señal de intensidad muy débil en la misma región, pero se observa una señal de intensidad fuerte alrededor de  $1.750\text{ cm}^{-1}$ , lo que corresponde a un tramo de carbonilo (C=O). Además, el PP presenta dos señales de intensidad media en torno a  $1460$  y  $1500\text{ cm}^{-1}$ . Sin embargo, el polietileno sólo presenta una señal única de intensidad media en torno a  $1500\text{ cm}^{-1}$ , lo que permite distinguir entre el PE y el PP [70].

Debido a que la mayoría de los polímeros plásticos de muestras ambientales no son transparentes y son relativamente grandes, estas piezas se analizan mejor utilizando una técnica de reflectancia, como la reflexión total atenuada (ATR) en lugar de una técnica de transmisión. Como técnica que sólo analiza la superficie de la muestra de plástico, el ATR sólo requiere que la muestra esté lo suficientemente cerca de un pequeño cristal. Este cristal se compone típicamente de germanio (Ge), diamante o seleniuro de zinc (ZnSe). Una vez en contacto con el cristal, una onda evanescente se propaga de  $0,5\text{-}5\text{ }\mu\text{m}$  pasando la superficie del cristal hasta la



superficie de la muestra. Por lo tanto, el principal requisito con ATR es que la muestra esté lo suficientemente en contacto con este cristal para permitir la penetración de la radiación infrarroja en la muestra; esto se debe a que las longitudes de onda más cortas no pueden penetrar tan profundamente en la muestra [71].

En general algunas desventajas de esta técnica se deben a que el manejo y sujeción de microplásticos que son más pequeños que 500  $\mu\text{m}$  puede ser difícil y, por lo tanto, el espectro resultante no siempre es fiable para los microplásticos de este tamaño, también pueden surgir interferencias adicionales de plásticos desgastados que pueden dar lugar a señales de mala calidad en el espectro y complicar la identificación mediante bases de datos electrónicas [58].

La microscopía ATR-FTIR tiene una ventaja sobre la microscopía FTIR en modo de reflectancia, ya que es capaz de identificar bandas de absorbancia entre 750 y 700  $\text{cm}^{-1}$  en la región de la huella dactilar (1450-600  $\text{cm}^{-1}$ ) que corresponden a la tijera de los enlaces C—H. Por lo tanto, la identificación en tijera de los enlaces C—H en esta región por ATR-FTIR puede ser particularmente útil para distinguir entre diferentes tipos de microplásticos, como el polietileno y el cloruro de polivinilo [70].

## **2.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIADO**

Las técnicas estadísticas multivariantes de análisis de datos permiten analizar los individuos u objetivos mediante múltiples criterios o variables simultáneamente, así como también el análisis conjunto de varias variables, en la simplificación de estas o clasificación de individuos con base en subconjuntos de ellas [72].

### **2.7.1 Análisis de componentes principales**

En español ACP, en inglés PCA. Se utiliza para describir el conjunto de datos en términos de nuevas variables ("componentes"), facilitando así la comprensión de los

datos. En estudios de contaminación microplástica, en el análisis estadístico es común utilizar este en particular, ya que permite, con un adecuado número y escogencia de variables, establecer los tipos de relaciones que describen un conjunto de individuos y graficarlos de tal manera que puedan ser interpretados con gran facilidad. Es decir, este método estadístico permite convertir el conjunto de observaciones de variables posiblemente correlacionadas en un conjunto de valores de variables sin correlación lineal llamadas componentes principales [73–78].

El algoritmo de agrupación jerárquica, también conocida como análisis de agrupación jerárquica también se aplica en el ACP. Se construye un mapa iterativo de clasificación de individuos a partir de una matriz de proximidad entre ellos, basado en las magnitudes de las variables descritas. En este método, los dendogramas ilustran las relaciones jerárquicas entre los grupos y categorías [73].

## **2.8 ESTADO DEL ARTE DE LA COSTA CARIBE COLOMBIANA**

Son pocos los estudios que se han realizado en la Costa Caribe Colombiana, lo que despierta interés y la necesidad de encaminar más investigaciones para el conocimiento del nivel de contaminación por MP.

Acosta-Coley y Olivero, en el 2015 realizaron el primer estudio en el distrito de Cartagena de Indias, localizado al norte de la República de Colombia sobre el Mar Caribe [79]. Su interés en particular correspondía a determinar el nivel de contaminación microplástica y la composición química de estos. PE y PP fueron identificados y en su mayoría se centraron en determinar las características físicas de pellets plásticos.

Calderon y colaboradores, realizaron un estudio de la contaminación microplástica en el contenido estomacal de 4 especies de peces de la Ciénaga Grande del estuario de Santa Marta [80]. En su mayoría identificaron fibras de PS y el PE en

las cuatro especies de peces. También identificaron nylon, el acrílico, el PE y modacrílico. Estos hallazgos proporcionaron la primera evidencia de la ingestión de MP por parte de las especies de peces residentes en las aguas del estuario colombiano.

Rangel-Buitrago y colaboradores, realizaron un estudio en la Universidad del Atlántico a las playas del Atlántico en el año 2018 [73]. Determinaron el nivel de contaminación de 25 playas de la costa del Departamento del Atlántico teniendo en cuenta no sólo el plástico sino todo tipo de basura. En su estudio sugieren tres fuentes específicas de generación de basura: las relacionadas con los ríos, así como las relacionadas con las actividades directas sobre el sistema de playas y las actividades de pesca.

Garcés-Ordóñez y colaboradores determinaron basura marina y contaminación microplástica en el sedimento del manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta [81]. Encontraron desechos marinos del tipo de plástico, metal, vidrio, caucho, escombros, textiles, madera procesada y desechos hospitalarios y sanitarios en todas las estaciones. Concluyeron en su estudio que los desechos plásticos son el tipo más abundante de basura marina que se encuentra en el Manglar y las concentraciones de microplásticos fueron de las más altas reportadas en los manglares.

Mantilla-Barbosa en su reciente estudio [82] incluye 22 playas distribuidas en la línea costera del Departamento del Atlántico. Examinó el nivel de contaminación macro y mesoplástica. La abundancia promedio de basura macropástica a lo largo del área de estudio fue de 8,73 a 9,94 partículas/m<sup>2</sup>. Correspondiendo a elementos plásticos de único uso, tales como tapas, palitos de dulces, botellas de bebidas, diferentes tipos de sandalias e implementos desechables como vasos y cubiertos.

Arroyo-Olarte realizó un estudio de caracterización física de microplásticos en el

sedimento de las costas del Departamento del Atlántico [83]. En cuanto a su abundancia, características físicas, morfofísicas y su relación con las características de las playas (tipología, estado morfodinámico y nivel de exposición). Este estudio provee por primera vez reportes acerca de las características y distribución de microplásticos en sedimentos de playas en costas del Departamento del Atlántico de Colombia. Reveló que estos grupos están principalmente relacionados con la morfodinámica de las playas, siendo en este caso las condiciones reflectivas las propicias para albergar las más altas concentraciones de MP en sedimentos costeros.

## 2. METODOLOGÍA

### 3.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la zona costera del Departamento del Atlántico, comprendido entre las coordenadas geográficas 11°02'42.79" de latitud norte y 74°55'17.04" de longitud oeste en Punta Roca y 10°47'55.55" de latitud norte y 75°15'37.81" de longitud oeste en Galerazamba (Figura 4). Esta zona comprende un total de 26 playas.



**Figura 4.** Ubicación geográfica de las playas de muestreo del Departamento del Atlántico.

El litoral geomorfológico se caracteriza por costas rocosas, planas y presentar lagunas costeras, dunas y manglares, el clima es tropical semiárido con temperaturas promedio mayores a 28 °C y valores de precipitación máximos de 2500 mm por año. El oleaje del área de estudio presenta alturas promedio de 1.6 metros con periodos de siete segundos. El sistema de oleaje es dominado por los

vientos alisios de norte a este para los meses de noviembre a julio, el resto del tiempo son de norte a oeste, oeste a sur y casualmente de sur a oeste [12].

La principal arterial fluvial que desemboca en el mar caribe corresponde al río Magdalena, el cual atraviesa Colombia y forma parte de 724 municipios que tienen influencia directa sobre las problemáticas de este ecosistema, trayendo consigo una gran cantidad de material y desechos suspendidos que son arrojados directamente sobre el mar [8,9].

Los criterios tenidos en cuenta para la escogencia de las playas se basaron en investigaciones previas realizadas por Rangel-Buitrago y colaboradores, en el año 2017 [12]. Las cuales fueron la morfología, accesibilidad y grado de acomodación. Se establecieron cinco categorías de tipo resort, urbana, rural, villa y remota. En la Tabla 4 se muestran los códigos que se trabajaron para cada playa y sus características.

**Tabla 4.** Código de identificación de las playas estudiadas y sus características principales.

<b>CÓDIGO</b>	<b>LATITUD</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>LOCALIZACIÓN</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>CATEGORÍA</b>
A1	11,04561	-74,92008	Puerto Colombia	<i>Punta Roca</i>	<i>Rural</i>
A2	11,02363	-74,92861		<i>Salgar</i>	<i>Villa</i>
A3	11,00543	-74,95306		<i>Pradomar</i>	<i>Resort</i>
A4	11,00520	-74,95304		<i>Pradomar</i>	<i>Urbana</i>
A5	10,99957	-74,95452		<i>Puerto Colombia Norte</i>	<i>Urbana</i>
A6	10,99638	-74,95526		<i>Puerto Colombia</i>	<i>Urbana</i>
A7	10,95257	-75,03690	Tubará	<i>Puerto Velero</i>	<i>Remota</i>
A8	10,94528	-75,04265		<i>Puerto Velero</i>	<i>Resort</i>
A9	10,94776	-75,03624		<i>Puerto Velero - Punta Velero</i>	<i>Villa</i>
A10	10,95046	-75,02857		<i>Puerto Velero - Mirador</i>	<i>Villa</i>

**Tabla 4. (Continuación).**

<b>CÓDIGO</b>	<b>LATITUD</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>LOCALIZACIÓN</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>CATEGORÍA</b>
A11	10,93856	-75,02848	Tubará	Caño Dulce	Villa
A13	10,90456	-75,04236		Playa Mendoza	Resort
A16	10,89529	-75,05167		Palmarito	Villa
A17	10,89450	-75,05294		Playa Linda	Remota
A18	10,88660	-75,07736	Juan De Acosta	Santa Verónica Cajacopi	Resort
A19	10,87969	-75,08379		Santa Verónica	Urbana
A20	10,87057	-75,10017		Salinas del Rey	Villa
A21	10,85919	-75,12971		Loma de Piedra	Remota
A22	10,83500	-75,15162		Aguamarina	Resort
A23	10,81790	-75,20531		Bocatocinos	Rural
A24	10,79673	-75,22232		Punta Astilleros	Rural
A25	10,79716	-75,24906		Piojó	Salinas de Galerazamba
A26	10,79019	-75,26341	Galerazamba		Villa

### 3.2 OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras que se caracterizaron en el estudio fueron obtenidas en un muestreo llevado a cabo en el mes de agosto del año 2017 [73]. Se empleó la metodología descrita por OSPAR (2010) [84].

La recolección de las muestras se llevó a cabo sobre la superficie arenosa de la playa, limitadas por vegetación u otras estructuras (obras civiles) [13]. En cada playa se tomó una muestra delimitada por un cuadrante de 2 m por 2 m. La recolección se realizó entre la zona entre mareas y la línea de marea alta [59,85]. La selección de muestras y ubicación del cuadrante se realizó de manera aleatoria [13], para un total de una muestra por cada playa (Figura 5). El sedimento se embazó en un frasco

de vidrio de 4 L.



**Figura 5.** Metodología para la obtención de las muestras de microplásticos. A) Cuadrante, B) Recolección de sedimento [73].

### 3.3 PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE MICROPLÁSTICOS

La metodología para el procesamiento de las muestras se basó en la técnica descrita por y EA / NALG (2000) [86].

#### 3.3.1 Cuantificación de microplásticos

La separación de los microplásticos del sedimento seco se realizó en el laboratorio del grupo de investigación en Ciencia, Educación y Tecnología – CETIC de la Universidad del Atlántico, primero por tamizado usando un tamiz de 1 mm. Los fragmentos atrapados en el tamiz se guardaron en cajas Petri.

A continuación, se llenó un beaker de 250 mL con 70 g de sedimento seco y 200 mL de una solución salina filtrada y completamente saturada (358,9 g de NaCl/L de agua destilada). Finalmente, con una lámina fina de aluminio se selló para agitar la mezcla a 400 rpm durante dos minutos, después de lo cual se dejó sedimentar por



un tiempo mínimo de cinco horas. Las partículas y el líquido sobrenadante se vertieron de la superficie y se filtraron a través de un papel de filtro Millipore de 47 mm, 0,45  $\mu\text{m}$  (Fisher Scientific, Países Bajos) empleando una bomba de vacío. El papel de filtro se conservó en una caja Petri para evitar la contaminación y se dejó secar a temperatura ambiente. Este proceso de extracción por densidad, se realizó tres veces para cada muestra para garantizar una alta tasa de recuperación [85]. Los microplásticos presentes en las muestras se cuantificaron empleando un microscopio óptico y estereoscopio (Leica) [85].

### 3.3.2 Determinación de distribución espacial o abundancia de MP

Para determinar la distribución espacial, las muestras de microplásticos se mantuvieron independientes por cada playa y se realizó un conteo de los MP extraídos de las muestras [28]. Se calculó la abundancia representada en la cantidad de items por cada kg de muestra de sedimento de la playa (items/kg).

### 3.3.3 Reconocimiento de las características morfométricas de microplásticos

Mediante inspección visual y a través del uso de un microscopio estereoscopio (Leica M125, Alemania), se reconocieron las características morfométricas y dimensiones de los microplásticos. Para este objetivo se tuvo en cuenta el tamaño de los microplásticos, medido por su extremo más largo, su color, textura y forma (fibras, fragmentos irregulares, circulares, pellets, entre otros) [36].

## 3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La fase estadística empieza con un análisis de los datos empleando estadística descriptiva, seguido un análisis de componentes principales (en español ACP, en inglés, PCA), y el algoritmo de agrupación jerárquica, también conocida como análisis de agrupación jerárquica. Todo el análisis de ACP y agrupación jerárquica se realizó utilizando el Software libre R, y los paquetes Rcmdr (R commander) y Plugin FactoMineR.

### 3.5 CARACTERIZACIÓN POR ATR-FTIR

#### 3.5.1 Medición por ATR-FTIR

Se tomaron 11 muestras de los macroplásticos del estudio de Maestría de Mantilla Barbosa [82] como ejemplo para identificar los cambios en los espectros tras el tratamiento con  $H_2O_2$ . Los pequeños fragmentos se introdujeron en una solución de  $H_2O_2$  al 50 % durante una semana y se tomó su espectro antes y después del tratamiento con peróxido. Cualquier impureza en el material plástico fue observable luego de comparar ambos espectros.

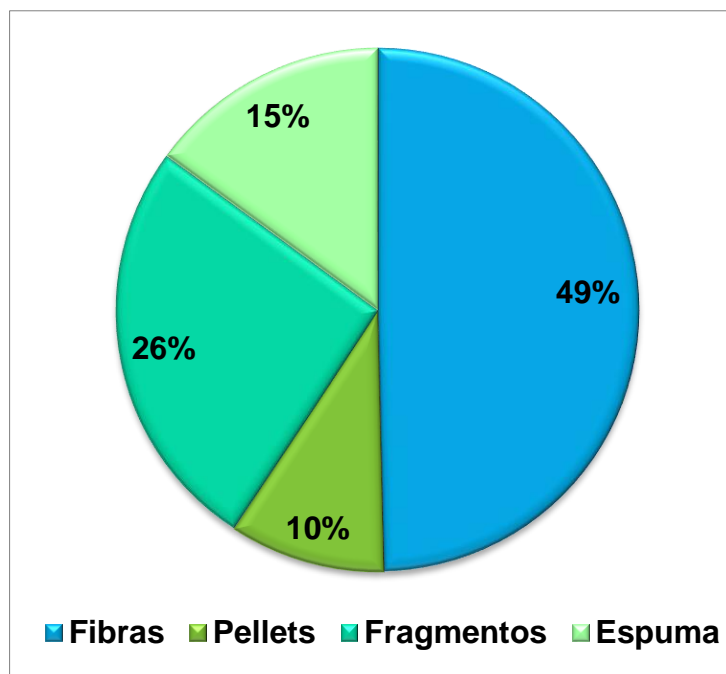
Los espectros se midieron en un espectrofotómetro ATR-FTIR (Shidmazu Spirit, Kioto, Japón) en un rango de números de onda de  $400\text{ cm}^{-1}$  a  $4000\text{ cm}^{-1}$  con resolución de  $4\text{ cm}^{-1}$  utilizando como promedio un mínimo de 35 exploraciones [87]. Las configuraciones estándar mencionadas anteriormente podían ser cambiadas, de ser necesario, con respecto a la potencia del láser, número y duración de las exposiciones, para mejorar la calidad de la señal de los materiales con FTIR.

El cristal ATR se limpió con una solución de metanol, o en su defecto etanol, siempre antes de efectuar la lectura con otra muestra para evitar que esta fuese a contaminarse con la anterior. La composición química de las partículas de polímero se identificó por comparación con los espectros de referencia en la biblioteca ATR de polímeros sintéticos con un umbral  $\geq 75\%$  como valor de similitud entre las muestras [88,89].

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 COMPOSICIÓN DE LOS SEDIMENTOS COSTEROS Y ABUNDANCIA DE MICROPLÁSTICOS

Se recuperaron microplásticos de sedimentos costeros de las playas del Departamento del Atlántico, para estimar las concentraciones de microplásticos e identificar el tipo de polímero. Se recolectó un total de 528 microplásticos, entre los cuales se encontraron fragmentos, fibras, pellets y espuma, a partir de muestras de 70 g de sedimento por playa. Las fibras representaron el mayor porcentaje de aparición con un 49 % del total, seguido de los fragmentos, espuma y pellets con 26 %, 15 % y 10 %, respectivamente (Figura 6). En la Tabla 5 se presentan los resultados de la estadística descriptiva para la base de datos de la cantidad de microplásticos clasificados por fragmentos, fibras, pellets y espuma.



**Figura 6.** Porcentaje de aparición para cada tipología de plástico de un total de 528 microplásticos recolectados en las muestras sedimentos de 23 playas.

El mayor porcentaje de fibras y fragmentos puede resultar de fragmentación o abrasión de artículos plásticos más grandes transportados a grandes distancias por las corrientes de masa de agua predominantes, derivados de las actividades locales de los buques (pesca) o en gran medida como resultado de la basura arrojada por los habitantes o visitantes que llegan a las playas o por el desgaste de las prendas sintéticas que estos utilizan. En general, las fibras varían mucho en color debido a su material original, pero el azul y el blanco fueron los colores más comunes entre las piezas coloreadas de fibras que se encuentran en el área de estudio.

**Tabla 5.** Medidas de tendencia central y de dispersión para las cantidades de las tipologías de plásticos encontrados en las playas muestreadas.

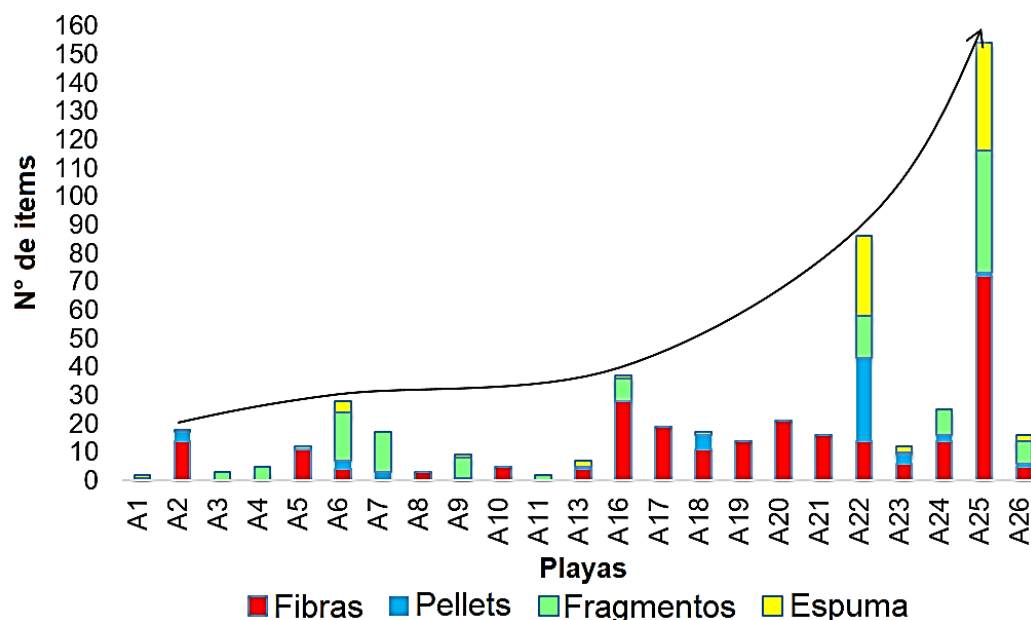
PARÁMETRO ESTADÍSTICO	FIBRAS	PELETS	FRAGMENTOS	ESPUMA
<b>Media</b>	11,39	2,22	5,91	3,43
<b>Error típico</b>	3,20	1,25	2,02	1,98
<b>Desviación estándar</b>	15,37	6,01	9,67	9,51
<b>Varianza de la muestra</b>	236,16	36,18	93,45	90,35
<b>Rango</b>	72	29	43	38
<b>Cantidad Mínima</b>	0	0	0	0
<b>Cantidad Máxima</b>	72	29	43	38
<b>Items Totales</b>	<b>262</b>	<b>51</b>	<b>136</b>	<b>79</b>

Las playas que presentaron mayor número de MP fueron A25 y A22 con un total de 154 y 86 MP, respectivamente, mientras que A1, A11 y A8 presentaron menor número con un promedio de 2,5 MP por muestra de sedimento. Previo al análisis cuantitativo, se esperaba que las playas expuestas (Sector de A1 a A7, A18, A23 y A25) presentaran mayor número de MP, asimismo que las protegidas o resort (Sector de A8 a A17, de A19 a A22, A24 y A26) menos contaminación.

Rangel-Buitrago y colaboradores, en su estudio sobre la abundancia y distribución de basura de las playas del departamento del Atlántico, mencionan que en 17 de las 25 playas se llevaron a cabo operaciones de limpieza periódicas. En las playas

Urbanas y Villas se efectuaba una limpieza manual, mientras que en las playas Resort una limpieza mecánica, al menos tres veces por semana durante todo el año. Además, en su estudio afirman que las playas A1 Punta Roca, A7 Puerto Velero - Expuesto, A17 Playa Linda, A20 Salinas del Rey, A21 Loma de Piedra, A23 Bocatocinos y A25 Salinas de Galerazamba, nunca fueron sometidas a operaciones de limpieza hasta la fecha del estudio [73]. Sin embargo, playas como A1 y A23 presentaron poca contaminación por MP en el presente estudio. La realidad es que las limpiezas organizadas solo eliminan una proporción muy pequeña de la basura que existe y, cerca del 100 % de esta corresponde a macroplásticos. Los métodos de separación de MP del sedimento no están diseñados para la limpieza completa de las playas, ya que son miles de m<sup>3</sup> de sedimento los involucrados.

La Figura 7 contiene los datos de las cantidades de microplásticos extraídos en cada playa. La línea que pasa por los máximos evidencia un crecimiento en la cantidad de MP del Noroeste (NE) al suroeste (SO) de la costa del Departamento del Atlántico en el mes de agosto del año 2017. En la Figura 8 se presentan los resultados ubicados en el mapa.



**Figura 7.** Cantidades de MP en las playas del departamento del Atlántico.



**Figura 8.** Mapa 3D de la distribución de microplásticos en la costa del Departamento del Atlántico. Fibras (rojo), pellets (azul), fragmentos (verde) y espuma (amarillo).

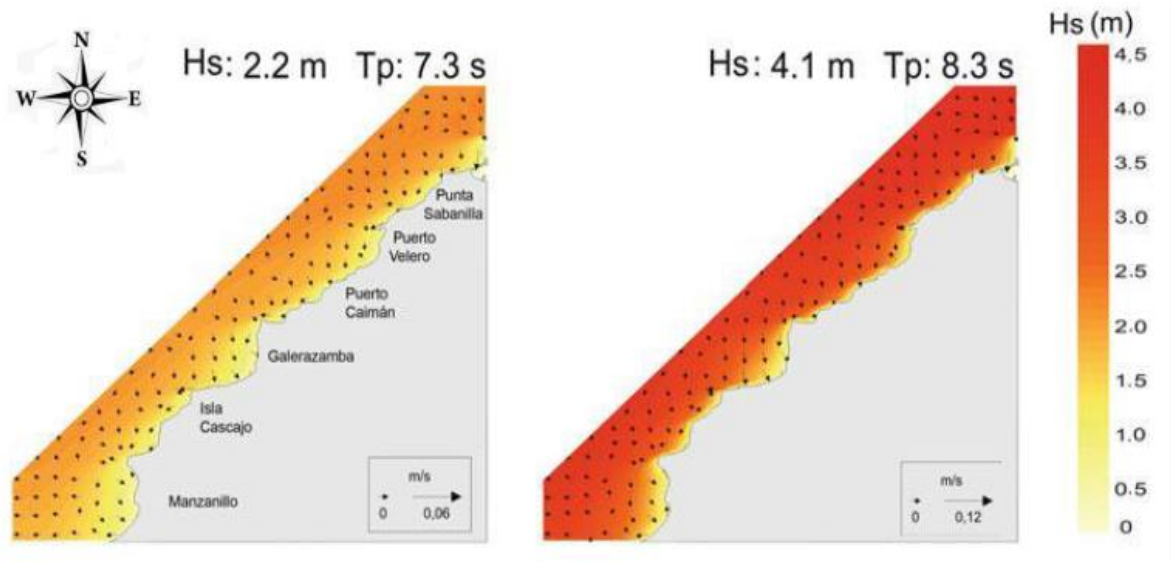
El aumento en la cantidad de MP observada de NE a SO puede deberse al arrastre de cantidades de sedimento y agua por medio de corrientes impulsadas por la desembocadura del río y los vientos provenientes del NE que se dirigen hacia Cartagena de Indias. En ciertos puntos de la costa el sedimento que contiene los MP se ve retenido y es por eso que se observan puntos de mayor concentración en toda la zona, donde no se esperaría tal comportamiento [90].

La costa del Caribe Colombiano puede ser afectada con fuertes vientos, lluvias y olas de tormenta de junio a noviembre. Los frentes fríos, que ocurren durante los meses de enero, febrero y marzo, provocan fuertes oleajes cuyo impacto puede ser incrementado por los vientos alisios que soplan desde el E-NE. Entonces, Las rutas de transporte de MP están relacionadas con frentes de onda difractados que se aproximan desde NE y E. [91,92]

Anfuso y colaboradores en su estudio observaron que, en Punta Sabanilla, las corrientes de larga distancia presentan un claro componente hacia el oeste (O) y sus velocidades aumentan fuertemente. "...A medida que la corriente litoral se mueve en un ángulo y cambia de dirección, la corriente se dispersa y pierde gran parte de su energía. La disipación de energía hace que las olas sean incapaces de transportar una carga completa de sedimentos y, por lo tanto, los sedimentos se depositan..." [90]. Otros autores afirman lo anterior [73,88,93,94].

Por ejemplo, las playas A25, Salinas de Galerazamba - Expuesta y A26 Galerazamba - Protegida, a pesar de ser playas vecinas y hacer parte de un mismo sistema, presentan una gran diferencia en la cantidad MP encontrados en la muestra de sedimento de una playa con respecto a la otra (154 items en A25 y 16 items en A26). Este resultado es bastante significativo. Debido al nivel de exposición y el estado morfodinámico de cada playa, difieren en su capacidad de la playa para retener o perder basura [95–97]. Las playas expuestas son más susceptibles a presentar mayor cantidad de basura porque están bajo la influencia directa de las

olas NE-O entrantes, asimismo, las playas protegidas acumulan menos cantidades ya que las olas que se aproximan a estas son reflejadas y disipadas [90]. La Figura 9 ilustra la dirección de las corrientes para el área de la costa del Departamento del Atlántico.



**Figura 9.** Alturas de ola significativa ( $H_s$ , m), período de ola pico ( $T_p$ , s) y vectores de corrientes asociadas para el área de las costa del Departamento del Atlántico [90].

#### 4.1.1 Abundancia de MP

La abundancia de MP mostró una diferencia evidente entre el número de MP encontrados en las muestras recolectadas en cada una de las playas del Departamento del Atlántico. Los MP variaron de 28,57 a 2200 items/kg de sedimento, con un valor medio de  $327,95 \pm 99,74$  items/kg de sedimento. El valor calculado de la desviación estándar de la media indicó que existe una gran diferencia entre el número de MP para cada playa muestreada. En la Tabla 6 se encuentran la abundancia de MP para cada playa y para cada tipología de plástico, dado en items/kg de sedimento.



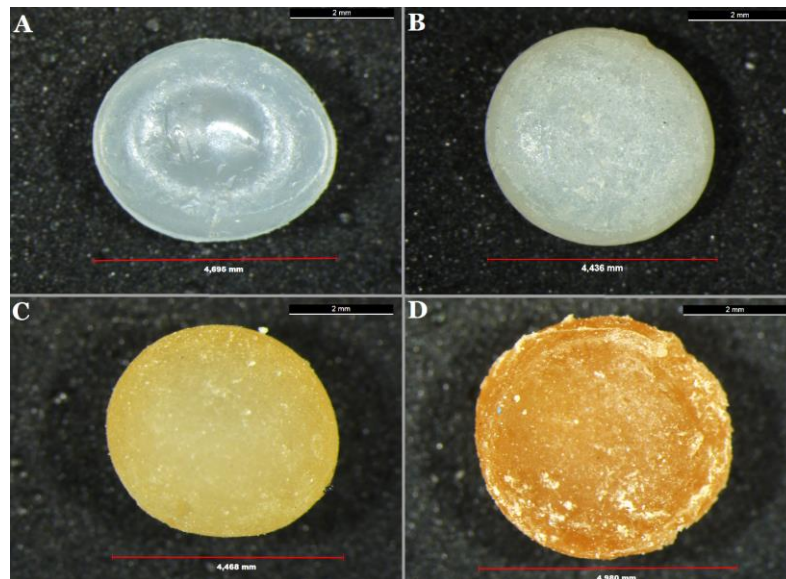
**Tabla 6.** Abundancia total de las tipologías de MP de las playas del Departamento del Atlántico.

PLAYA	ABUNDANCIA				
	items/kg de sedimento				
TOTAL	FIBRAS	PELLETS	FRAGMENTOS	ESPUMA	
A1	28,57	0,00	0,00	14,29	14,29
A2	257,14	200,00	42,86	14,29	0,00
A3	42,86	0,00	0,00	42,86	0,00
A4	71,43	0,00	0,00	71,43	0,00
A5	171,43	157,14	0,00	14,29	0,00
A6	400,00	57,14	42,86	242,86	57,14
A7	242,86	0,00	42,86	200,00	0,00
A8	42,86	42,86	0,00	0,00	0,00
A9	128,57	14,29	0,00	100,00	14,29
A10	71,43	71,43	0,00	0,00	0,00
A11	28,57	0,00	0,00	28,57	0,00
A13	100,00	57,14	14,29	0,00	28,57
A16	528,57	400,00	0,00	114,29	14,29
A17	271,43	271,43	0,00	0,00	0,00
A18	242,86	157,14	71,43	14,29	0,00
A19	200,00	200,00	0,00	0,00	0,00
A20	300,00	300,00	0,00	0,00	0,00
A21	228,57	228,57	0,00	0,00	0,00
A22	1228,57	200,00	414,29	214,29	400,00
A23	171,43	85,71	42,86	14,29	28,57
A24	357,14	200,00	28,57	128,57	0,00
A25	2200,00	1028,57	14,29	614,29	542,86
A26	228,57	71,43	14,29	114,29	28,57
MIN	28,57	0,00	0,00	0,00	0,00
MÁX	2200,00	1028,57	414,29	614,29	542,86
PROMEDIO	327,95	162,73	31,68	84,47	49,07

#### 4.2 RECONOCIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE MICROPLÁSTICOS




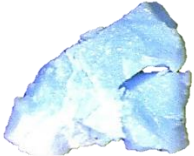



Se aisló una muestra de 170 partículas por medio de observación para ser

analizadas física y químicamente. Las muestras debían ser fragmentos de distintas formas y colores, al igual que pellets y espuma, para obtener una muestra variada y representativa de la matriz principal. Mediante el uso de la herramienta de medición del software del microscopio estereoscópico, se determinó la presencia de 82 MP y 88 de MEP en un rango de tamaño de 1,442 mm – 5,003 mm con valor medio de  $3,617 \pm 0,883$  mm para los MP y rango de 5,081 mm – 28,547 mm con valor medio de  $8,813 \pm 4,704$  mm para los MEP. Las muestras estaban compuestas por MP y MEP primarios y secundarios. En general la mayoría de las partículas de MEP fueron fragmentos irregulares de distintos colores, mientras que los pellets representaron mayor porcentaje para las muestras de MP. La Tabla 7 muestra las características físicas y nombre de los 82 MP aislados y la Figura 10 muestra como los pellets y gránulos recolectados variaron de color traslúcido a blanco, y de beige a naranja fuerte, evidenciando así el grado de oxidación y/o contaminación.










**Figura 10.** Muestra de la variación del color de pellets recolectados de las 23 playas estudiadas. Playa A5 - transparente (A), A10 - blanco (B), A22 - amarillo (C) y A22 - ocre (D).

**Tabla 7.** Características físicas de los MP extraídos de las muestras de sedimento.

CÓDIGO	TIPOLOGÍA	TAMAÑO (MM)	COLOR	TEXTURA	FORMA	IMAGEN
A1a*	Espuma	2,857	Marfil	Áspera	Esférica	
A3a	Fragmento	3,433	Marfil	Lisa	Cilíndrica	
A3b*	Fragmento	1,875	Azul	Lisa	Irregular	
A3c*	Fragmento	1,442	Azul	Áspera	Irregular	
A4a*	Fragmento	3,726	Azul	Lisa	Irregular	
A4b	Fragmento	2,766	Azul	Áspera	Cuadrada	
A4c	Fragmento	3,929	Azul	Lisa	Irregular	






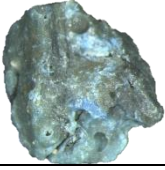

\* No analizados químicamente

**Tabla 7. (Continuación)**

CÓDIGO	TIPOLOGÍA	TAMAÑO (MM)	COLOR	TEXTURA	FORMA	IMAGEN
A4d*	Espuma	2,011	Marfil	Áspera	Irregular	
A4e	Fragmento	3,115	Blanco	Lisa	Irregular	
A5a	Pellet	4,695	Transparente	Lisa	Circular	
A6a	Fragmento	3,366	Verde	Áspera	Cilíndrica	
A6b	Espuma	4,436	Blanco	Áspera	Irregular	
A6c*	Espuma	4,119	Marfil	Áspera	Irregular	
A7a	Gránulo	4,323	Blanco	Áspera	Esférica	


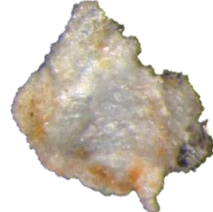
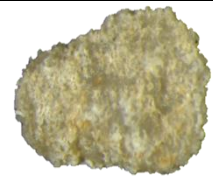




\* No analizados químicamente

**Tabla 7. (Continuación)**

CÓDIGO	TIPOLOGÍA	TAMAÑO (MM)	COLOR	TEXTURA	FORMA	IMAGEN
A7b*	Espuma	4,903	Ocre	Áspera	Irregular	
A9a*	Fragmento	1,765	Amarillo	Áspera	Irregular	
A9b*	Fragmento	2,395	Amarillo	Áspera	Irregular	
A9c	Fragmento	1,88	Amarillo	Áspera	Irregular	
A10a	Pellet	4,436	Blanco	Áspera	Circular	
A10b	Fragmento	4,919	Azul y Gris	Áspera	Irregular	
A13a	Gránulo	3,378	Blanco	Lisa	Esférica	





\* No analizados químicamente

**Tabla 7. (Continuación)**







CÓDIGO	TIPOLOGÍA	TAMAÑO (MM)	COLOR	TEXTURA	FORMA	IMAGEN
A13b*	Espuma	3,015	Marfil	Áspera	Irregular	
A13c*	Espuma	2,269	Blanco	Áspera	Irregular	
A16a*	Fragmento	2,728	Beige	Áspera	Irregular	
A16b	Espuma	2,934	Ocre	Áspera	Irregular	
A18a	Fragmento	2,48	Blanco	Lisa	Irregular	
A18b*	Pellet	4,643	Marfil	Lisa	Circular	
A18c*	Fragmento	3,256	Rosado	Lisa	Triangular	

\* No analizados químicamente

**Tabla 7. (Continuación)**






CÓDIGO	TIPOLOGÍA	TAMAÑO (MM)	COLOR	TEXTURA	FORMA	IMAGEN
A19a	Gránulo	4,069	Marfil	Lisa	Esférica	
A20a	Gránulo	3,778	Beige	Áspera	Esférica	
A20b	Pellet	3,941	Blanco	Áspera	Circular	
A20c	Pellet	5,003	Transparente	Lisa	Circular	
A20d	Pellet	4,003	Marfil	Lisa	Circular	
A20e	Gránulo	3,71	Marfil	Áspera	Esférica	
A21b	Pellet	3,926	Transparente	Lisa	Irregular	

**Tabla 7. (Continuación)**








CÓDIGO	TIPOLOGÍA	TAMAÑO (MM)	COLOR	TEXTURA	FORMA	IMAGEN
A21a	Pellet	3,81	Transparente	Lisa	Circular	
A22d	Gránulo	4,964	Ocre	Áspera	Irregular	
A22b	Gránulo	3,956	Blanco	Áspera	Irregular	
A22l	Gránulo	4,308	Beige	Áspera	Circular	
A22m	Pellet	4,468	Beige	Áspera	Circular	
A22c	Pellet	4,928	Ocre	Áspera	Circular	



**Tabla 7. (Continuación)**

CÓDIGO	TIPOLOGÍA	TAMAÑO (MM)	COLOR	TEXTURA	FORMA	IMAGEN
A22.1	Pellet	4,264	Transparente	Lisa	Irregular	
A22o	Pellet	4,411	Transparente	Lisa	Irregular	
A22.2	Pellet	4,998	Transparente	Lisa	Circular	
A22n	Pellet	3,067	Beige	Áspera	Circular	
A22g	Fragmento	4,957	Marfil	Lisa	Irregular	
A22y	Pellet	4,714	Marfil	Áspera	Circular	
A22x	Pellet	4,753	Marfil	Áspera	Circular	






**Tabla 7. (Continuación)**

CÓDIGO	TIPOLOGÍA	TAMAÑO (MM)	COLOR	TEXTURA	FORMA	IMAGEN
A22.3	Gránulo	4,255	Marfil	Lisa	Esférica	
A22q	Gránulo	4,548	Marfil	Lisa	Esférica	
A22p	Pellet	4,812	Transparente	Áspera	Esférica	
A22v	Gránulo	4,783	Marfil	Áspera	Esférica	
A22r	Gránulo	3,912	Blanco	Áspera	Cilíndrica	
A22.5	Gránulo	4,705	Blanco	Áspera	Esférica	
A22.6	Pellet	4,564	Blanco	Áspera	Circular	

**Tabla 7. (Continuación)**

CÓDIGO	TIPOLOGÍA	TAMAÑO (MM)	COLOR	TEXTURA	FORMA	IMAGEN
A22w	Gránulo	4,524	Marfil	Áspera	Circular	
A22.10	Pellet	4,324	Blanco	Áspera	Circular	
A22.4	Pellet	4,42	Blanco	Áspera	Circular	
A22.7	Pellet	4,335	Marfil	Áspera	Circular	
A22u	Gránulo	4,266	Blanco	Áspera	Irregular	
A22z	Pellet	3,97	Marfil	Áspera	Circular	
A22s	Gránulo	4,55	Blanco	Áspera	Irregular	

**Tabla 7. (Continuación)**







CÓDIGO	TIPOLOGÍA	TAMAÑO (MM)	COLOR	TEXTURA	FORMA	IMAGEN
A22t	Gránulo	4,474	Marfil	Áspera	Circular	
A22.9	Pellet	3,283	Blanco	Áspera	Circular	
A22.11	Pellet	3,648	Blanco	Lisa	Circular	
A22.8	Pellet	3,107	Blanco	Áspera	Circular	
A23c	Pellet	4,284	Beige	Áspera	Circular	
A23b	Gránulo	4,167	Blanco	Áspera	Circular	
A23a	Gránulo	4,167	Blanco	Áspera	Irregular	

**Tabla 7. (Continuación)**

CÓDIGO	TIPOLOGÍA	TAMAÑO (MM)	COLOR	TEXTURA	FORMA	IMAGEN
A24d	Fragmento	4,046	Verde	Áspera	Irregular	
A24a	Fragmento	2,734	Blanco	Lisa	Irregular	
A24f	Pellet	3,085	Beige	Áspera	Circular	
A24b	Pellet	4,822	Transparente	Áspera	Circular	
A25h	Fragmento	3,684	Blanco	Lisa	Irregular	
A25d*	Espuma	2,535	Beige	Áspera	Esférica	
A25b	Gránulo	3,975	Blanco	Lisa	Esférica	

\* No analizados químicamente

**Tabla 7. (Continuación)**

CÓDIGO	TIPOLOGÍA	TAMAÑO (MM)	COLOR	TEXTURA	FORMA	IMAGEN
A25a	Pellet	4,348	Ocre	Lisa	Circular	
A25f	Pellet	4,661	Amarillo	Áspera	Circular	
A25c	Gránulo	4,9	Beige	Áspera	Circular	
A25e	Pellet	4,908	Transparente	Lisa	Circular	
A26b	Gránulo	3,961	Marfil	Áspera	Circular	
A26c*	Fragmento	3,88	Azul	Áspera	Circular	

\* No analizados químicamente

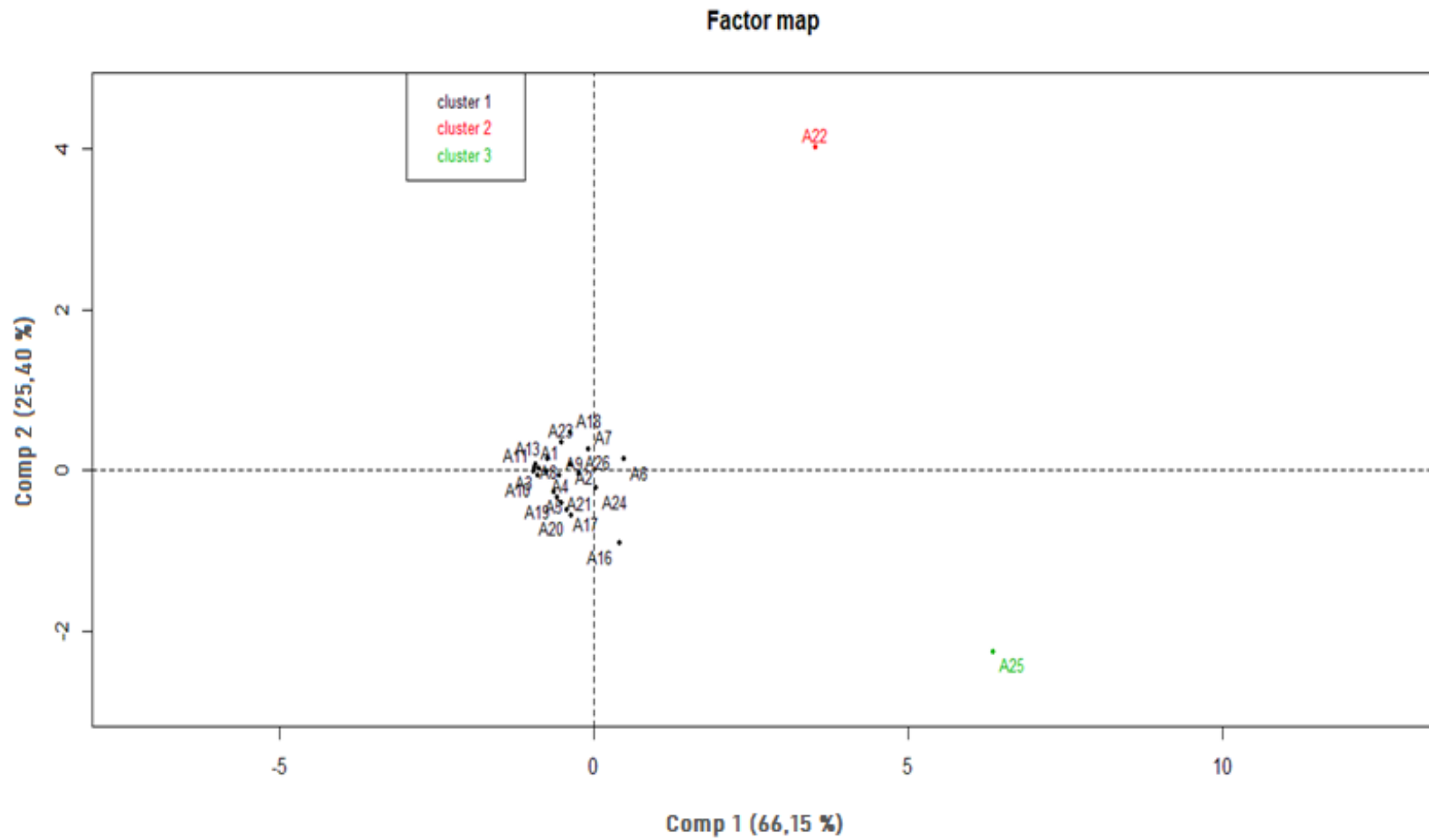
Para este estudio no se aislaron muestras de fibras, debido a que su tamaño era muy pequeño para ser analizado por el equipo ATR-FTIR. Para muestras de tamaño menor a 3 mm es necesario el uso de equipos más robustos, como micro-ATR-FTIR [46].

En términos de ubicación geográfica, los gránulos se encontraron principalmente en grandes cantidades emergiendo de las costas de la playa Aguamarina (A22).

### **4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS MP**

El análisis de componentes principales (ACP) y la agrupación jerárquica, también conocida como análisis de agrupación jerárquica, se realizó a los datos presentados en la Tabla 7, con el objetivo de agrupar y graficar en dos componentes los datos para identificar clusters, similitudes y disimilitudes entre ellos.

Se realizó un ACP sobre la base de datos y se obtuvo el resultado representado en la Figura 11. Las playas A22 (Aguamarina) y A25 (Salinas de Galerazamba), al tener valores de abundancia muy alejados de la media, representaban un sesgo enorme. En el primer análisis el gráfico del plano principal incluye tres clusters, el primero compuesto por 21 playas, el segundo y tercer cluster compuesto por A22 y A25 respectivamente. Nótese la dificultad de identificar y formar posibles clusters incluidos dentro del cluster 1 de este gráfico, y de realizar el análisis de sus similitudes y disimilitudes; se obtiene una apreciación mínima acerca del comportamiento estadístico que presenta el conjunto de datos. Teniendo en cuenta esta conclusión, se realizó un segundo ACP sin incluir las playas A22 y A25.



**Figura 11.** Plano principal inicial. Incluye la base de datos obtenida a partir de las 23 playas muestreadas.



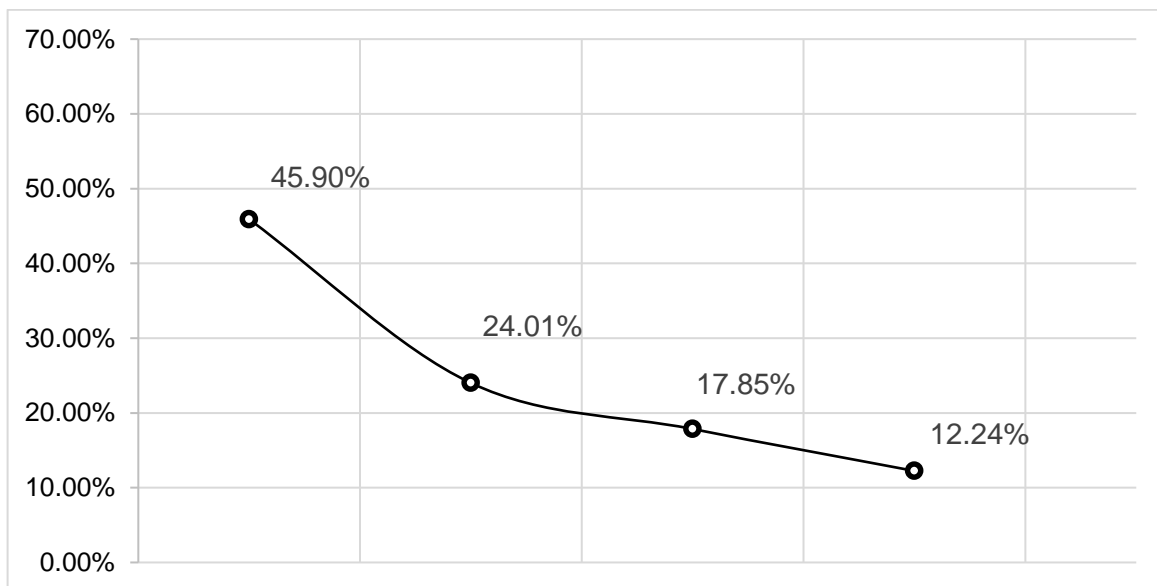
A continuación, se presentan los datos, gráficos y conclusiones obtenidos a partir del ACP de las playas muestreadas a excepción de las playas A22 y A25.

La Tabla 8 presenta los valores de las medidas de dispersión para cada dimensión. Se obtienen tantos componentes como variables. Estas componentes fueron los planos escogidos para graficar los datos y formar los clusters.

**Tabla 8.** Inercia representada en cada una de las componentes y su porcentaje acumulado.

	<b>COMP 1</b>	<b>COMP 2</b>	<b>COMP 3</b>	<b>COMP 4</b>
<b>Varianza</b>	1,84	0,96	0,71	0,49
<b>% de varianza</b>	45,90	24,01	17,85	12,24
<b>% de varianza acumulada</b>	45,90	69,91	87,76	100,00

Entre los componentes 1 y 2 está contemplado el 69,910 % de la información tabulada en la base de datos original (Tabla 6). Por lo tanto, las componentes 1 y 2 fueron las escogidas para graficar el conjunto de datos. En la Figura 12 se representa la curva que describe el porcentaje de varianza de cada dimensión.



**Figura 12.** Porcentaje de varianza para cada dimensión.

Las Tablas 9 y 10 muestran la contribución que representa cada dimensión para las variables (tipologías de plásticos) e individuos (Playas), respectivamente.

**Tabla 9.** Contribución de cada dimensión para cada variable representada. La mayor contribución se muestra en azul y la menor en rojo.

	COMP 1	COMP 2	COMP 3	COMP 4
<b>Fibras</b>	8,58381	77,02189	14,39429	0,00001
<b>Pellets</b>	21,02356	22,30835	54,51833	2,14976
<b>Fragmentos</b>	36,38216	0,65053	7,76273	55,20458
<b>Espuma</b>	34,01047	0,01923	23,32465	42,64565

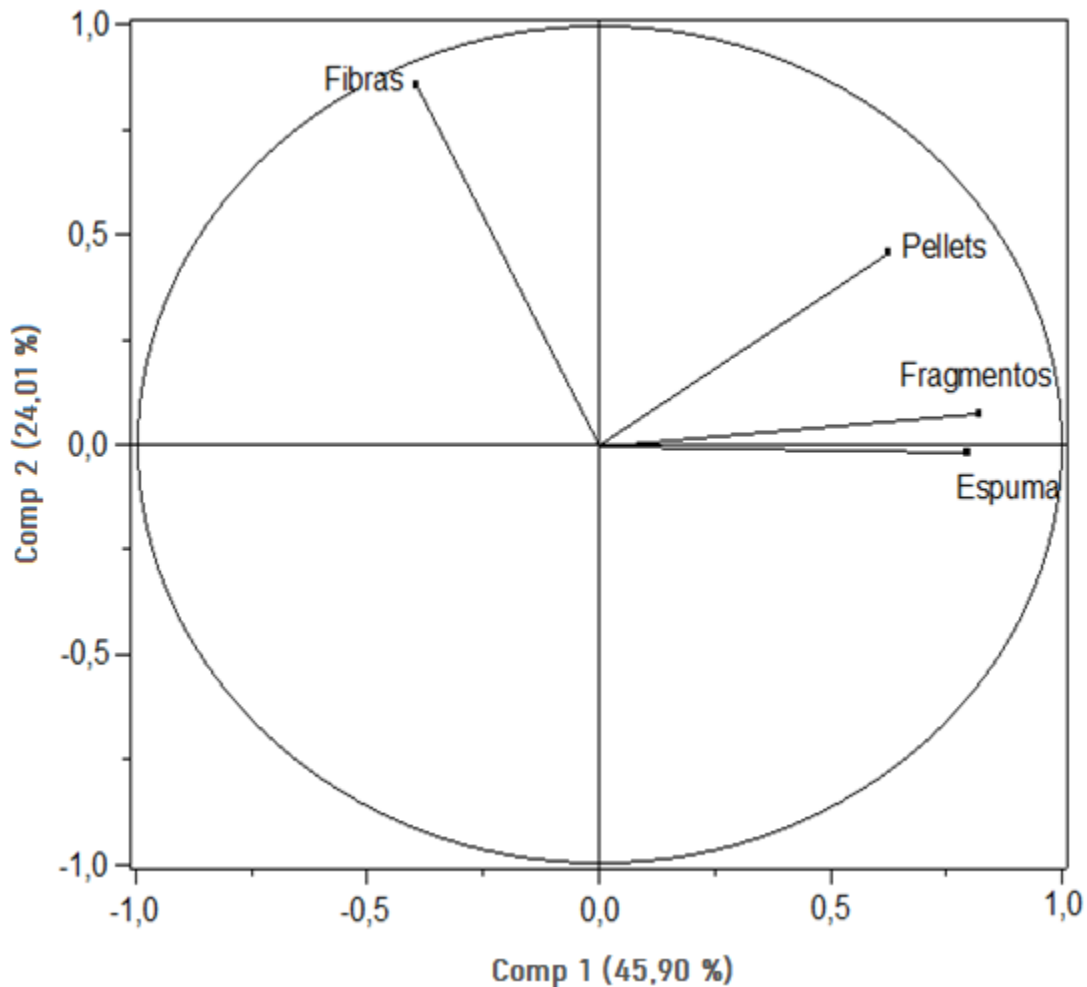
Se observa que no existe un par de componentes ideales para representar las variables. Sin embargo, la componente 1 no presenta valores mínimos ni cercanos a estos. Para la escogencia de los componentes a trabajar se tiene en cuenta los resultados obtenidos en la Tabla 9 que se encuentran graficados en la Figura 12.

**Tabla 10.** Contribución de cada dimensión para cada individuo (playa) representado. La mayor contribución se muestra en azul y la menor en rojo.

	<b>COMP 1</b>	<b>COMP 2</b>	<b>COMP 3</b>	<b>COMP 4</b>
<b>A1</b>	0,040368750	8,319012260	0,094698800	2,987121170
<b>A2</b>	0,188698720	7,408621310	9,145170800	0,496845520
<b>A3</b>	0,489931200	7,733041730	0,347749600	1,377080800
<b>A4</b>	0,090205600	7,327558510	0,086251900	4,522841750
<b>A5</b>	3,072839090	0,021995030	0,222008700	0,049110860
<b>A6</b>	48,301500190	0,539334030	8,309840500	0,760066560
<b>A7</b>	8,968438080	0,058770500	7,991547000	30,134057480
<b>A8</b>	2,183438810	4,637580180	0,440477700	0,065599630
<b>A9</b>	0,880758160	5,839417080	1,740220500	1,280091030
<b>A10</b>	2,548624490	2,760396860	0,173875800	0,065476250
<b>A11</b>	0,809684990	7,939950830	0,544294200	0,485419840
<b>A13</b>	0,575575300	1,577027120	0,310172900	19,899512210
<b>A16</b>	0,216626170	18,177741370	23,019116000	2,596720670
<b>A17</b>	5,895409930	3,179615700	1,716119800	0,064615820
<b>A18</b>	0,549894270	11,593180900	35,650523300	1,750482570
<b>A19</b>	4,541325860	0,305711340	0,480543500	0,064922470
<b>A20</b>	6,486400840	5,176569850	2,423340900	0,064493370
<b>A21</b>	5,061750790	1,091965750	0,883436900	0,064799730
<b>A23</b>	3,376319110	0,482182320	2,640367400	21,175640390
<b>A24</b>	0,442223860	5,320385710	0,303904800	11,675707470
<b>A26</b>	5,279985790	0,509941610	3,476338100	0,419394410

Con respecto a los individuos, los componentes 1 y 2 representan en su mayoría los valores máximos. Para este estudio se realizaron gráficos con dos componentes para facilitar la comprensión de los resultados obtenidos por este método estadístico, ya que un gráfico de tres componentes resultaría un poco más complejo a la hora de analizar los grupos o clusters y en consecuencia elevaría el error.

Para el análisis de las relaciones entre las variables, se presentan la Figura 13 y la Tabla 11.



**Figura 13.** Círculo de correlaciones de las variables (Mapa de factores variables).

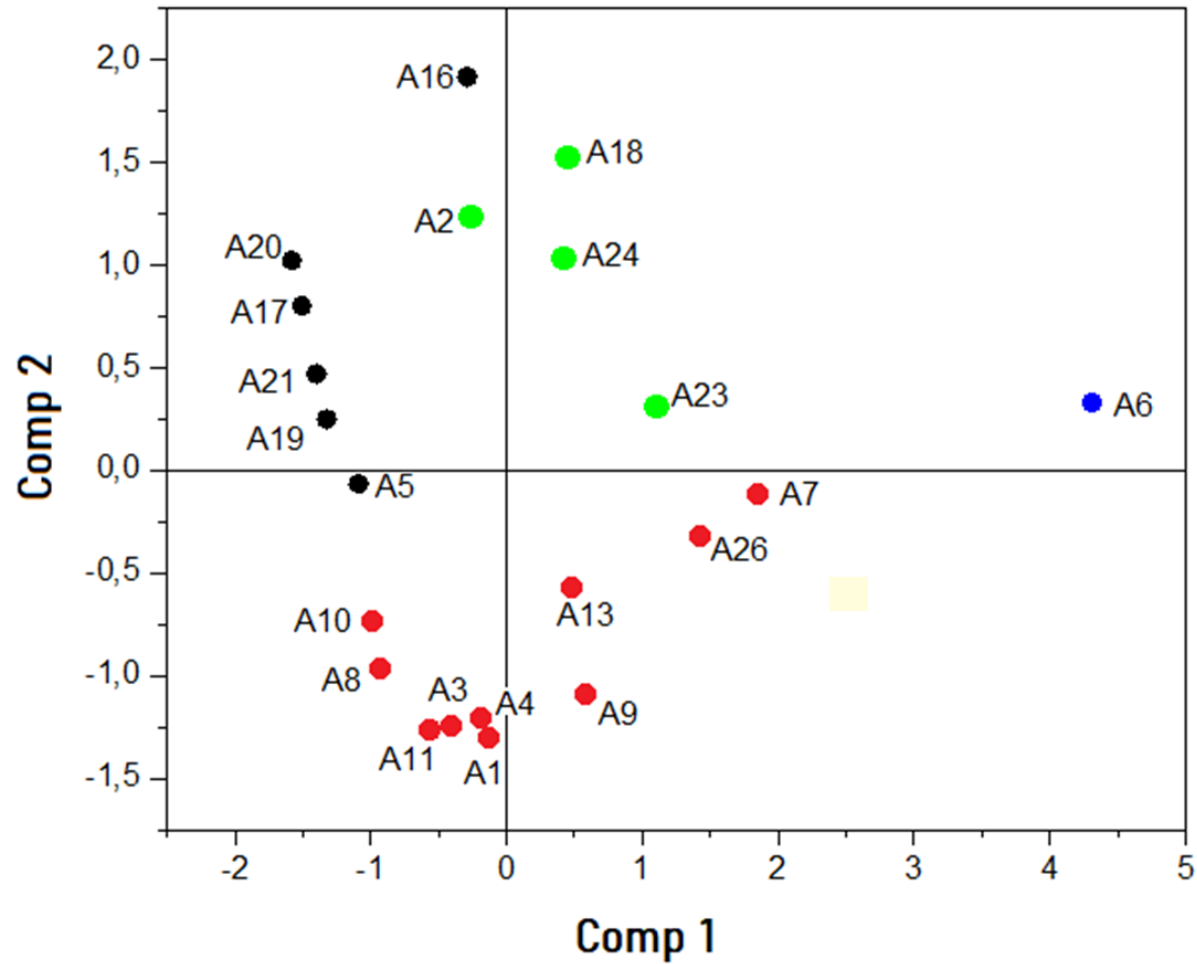
**Tabla 11.** Coordenadas para el gráfico de círculo de correlaciones.

VARIABLES	COMP 1	COMP 2
Fibras	-0,3970008	0,86001308
Pellets	0,6213044	0,46284086
Fragmentos	0,8173266	0,07903698
Espuma	0,7902377	-0,01358859

El círculo de correlaciones permite identificar que tan relacionadas están unas variables con otras. Gráficamente se evidencia el tipo de relación con el ángulo que forman los vectores que representan cada variable. Un ángulo agudo mientras menor sea su valor representa una relación más fuerte y directa, por ejemplo, de este tipo de relación se ve representada entre las variables Fragmentos y Espuma. El caso opuesto, es decir, relación fuerte pero inversa se presenta cuando el ángulo formado entre ambos vectores resulta ser lo más cercano a  $180^\circ$ ; mientras mayor sea el número de fibras en determinada playa, existe una gran probabilidad de encontrar menores cantidades de fragmentos y espuma, así mismo mientras mayor sea la cantidad de estas dos últimas, menor probabilidad de encontrar grandes cantidades de fragmentos.

Existe también las relaciones nulas o ninguna relación. Cuando el ángulo formado entre los vectores es cercano o igual a  $90^\circ$ , indica que no existe ninguna dependencia entre ellas, por lo tanto, la presencia o ausencia de una variable no afectará el estado de otra. Este tipo de relación en este estudio la presentan las fibras y los pellets.

En las Figuras 14 y 15 se identificaron cuatro clusters o grupos. En la Figura 15 los grupos se ven representados por líneas horizontales, mientras que las líneas verticales representan la distancia entre grupos, es decir, que mientras mayor sea la longitud de las líneas verticales entre grupos, menor similitud entre estos. Los datos de la Figura 14 se presentan en la Tabla 12.

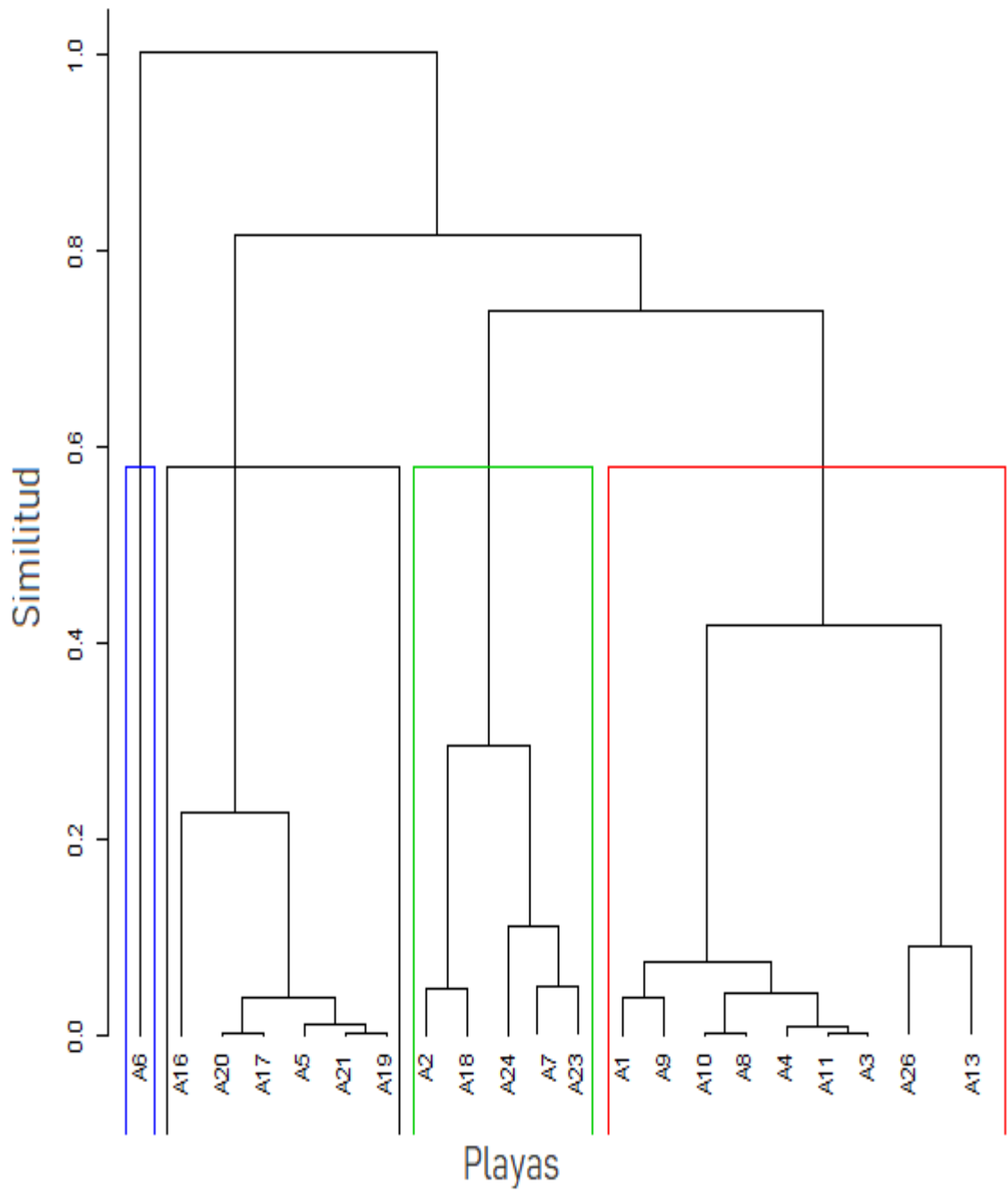


**Figura 14.** Plano principal y clusters. Mapa de factores de individuos. Formación de 4 clusters diferenciados por colores. Cluster 1 (azul), cluster 2 (negro), cluster 3 (verde) y cluster 4 (rojo).

**Tabla 12.** *Coordenadas para el Gráfico de Plano principal.*

<b>INDIVIDUOS</b>	<b>COMP 1</b>	<b>COMP 2</b>
<b>A1</b>	-0,124762400	-1,295219840
<b>A2</b>	-0,269740100	1,222295760
<b>A3</b>	-0,434638900	-1,248770940
<b>A4</b>	-0,186499600	-1,215590380
<b>A5</b>	-1,088506300	-0,066599340
<b>A6</b>	4,315601600	0,329789270
<b>A7</b>	1,859599600	-0,108864760
<b>A8</b>	-0,917553800	-0,967059780
<b>A9</b>	0,582759500	-1,085156440
<b>A10</b>	-0,991320200	-0,746093690
<b>A11</b>	-0,558752000	-1,265367020
<b>A13</b>	0,471098900	-0,563932580
<b>A16</b>	-0,289012400	1,914597850
<b>A17</b>	-1,507710800	0,800746270
<b>A18</b>	0,460469200	1,529005020
<b>A19</b>	-1,323281900	0,248292380
<b>A20</b>	-1,581477200	1,021712350
<b>A21</b>	-1,397048300	0,469258460
<b>A23</b>	1,140992500	0,311826660
<b>A24</b>	0,412935400	1,035807770
<b>A26</b>	1,426847000	-0,320677010

El diagrama de agrupación jerárquica (Figura 15) agrupa los objetos similares en grupos llamados agrupaciones. Sirve como complemento para el análisis de conglomerados en el ACP, ya que además de mostrar los clusters formados, también permite identificar mejor las similitudes entre los grupos e individuos que pertenecen a grupos distintos.



**Figura 15.** Diagrama de agrupación jerárquica o dendograma para el estudio de clusters de las playas.



El cluster más distinguido (cluster 1) se encuentra conformado únicamente por la Playa A6, por la longitud de su línea vertical se observa, que difiere mucho de los otros 3 clusters. A6 corresponde a la playa Urbana Puerto Colombia, se destaca entre las demás por presentar mayor presencia de todas las tipologías de plásticos. Por otra parte, las playas pertenecientes al cluster 2 se destacan por presentar alto contenido de fibras en su sedimento, además de pertenecer a territorios vecinos, desde Palmarito a Loma de Piedra. La playa A5 (Puerto Colombia – Norte) no se encuentra en las cercanías del resto de las playas pertenecientes a este cluster, pero presenta alto contenido de fibras.

En el cluster 3 se encuentran agrupadas las playas que tienen presencia de todas las tipologías de plásticos a excepción de espuma y en el cluster 4 se encuentran las playas más turísticas, pero con un valor de la media bajo entre las cantidades por tipologías de plástico; asimismo por tener mayor presencia de fragmentos y no suelen encontrarse pellets en ellas. Comprende las playas de Pradomar, Puerto Velero, Caño Dulce, Playa Mendoza y Galerazamba.

#### **4.4 ANÁLISIS DE LOS ESPECTROS IR DE LAS MUESTRAS DE MP**

En total fue posible analizar 66 de las 82 muestras de microplásticos en el equipo ATR-FTIR. Las muestras cuyo tamaño era menor a 3 mm resultaron ser muy pequeñas para ser analizadas por el equipo, generando demasiado ruido y sin captar las bandas características. Por esta razón no se tomaron muestras de fibras para analizar.

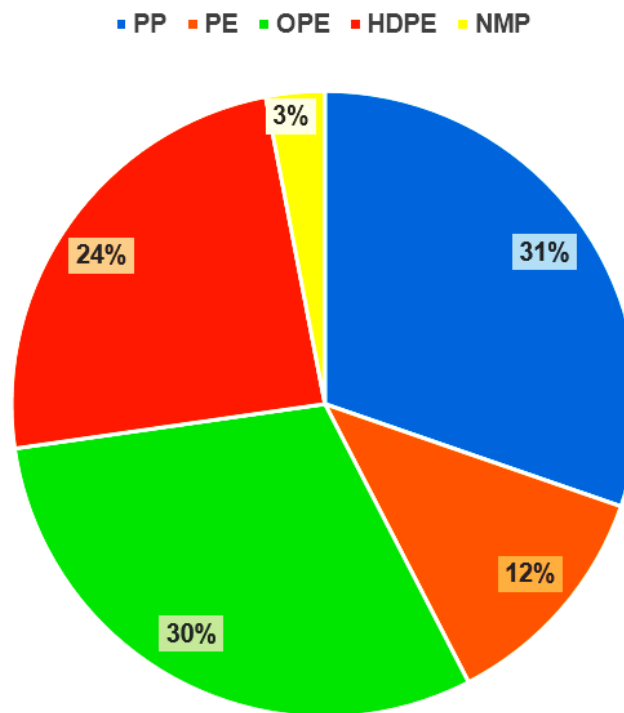
Los resultados obtenidos en el análisis por espectroscopía se presentan en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Resultados obtenidos en el análisis con ATR-FTIR. Comparación con espectros de referencia de la biblioteca ATR (umbral  $\geq 75\%$ )

PLAYA	PLÁSTICO	TIPO	PLAYA	PLÁSTICO	TIPO
A3	A3a	PP	A22	A22s	HDPE
A4	A4b	PP		A22t	OPE
	A4c	OPE		A22u	HDPE
	A4e	PE		A22v	OPE
A5	A5a	PE		A22w	OPE
A6	A6a	PE		A22x	PP
	A6b	OPE		A22y	PP
A7	A7a	HDPE		A22z	PP
A9	A9c	OPE		A22.1	PP
A10	A10a	PE		A22.2	PP
	A10b	OPE		A22.3	HDPE
A13	A13a	HDPE	A22.4	PP	
A16	A16b	OPE	A22.5	HDPE	
A18	A18a	NMP	A22.6	OPE	
A19	A19a	HDPE	A22.7	PP	
A20	A20a	OPE	A22.8	PP	
	A20b	PP	A22.9	HDPE	
	A20c	PP	A22.10	HDPE	
	A20d	OPE	A22.11	HDPE	
	A20e	OPE	A23	A23a	HDPE
A21	A21a	PP		A23b	PP
	A21b	PP		A23c	OPE
A22	A22b	HDPE	A24	A24a	NMP
	A22c	OPE		A24b	PP
	A22d	PE		A24d	PP
	A22g	OPE		A24f	HDPE
	A22l	PE	A25	A25a	OPE
	A22m	PE		A25b	HDPE
	A22n	OPE		A25c	OPE
	A22o	PP		A25e	HDPE
	A22p	PP		A25f	PP
	A22q	PE		A25h	OPE
A22r	HDPE	A26	A26b	OPE	

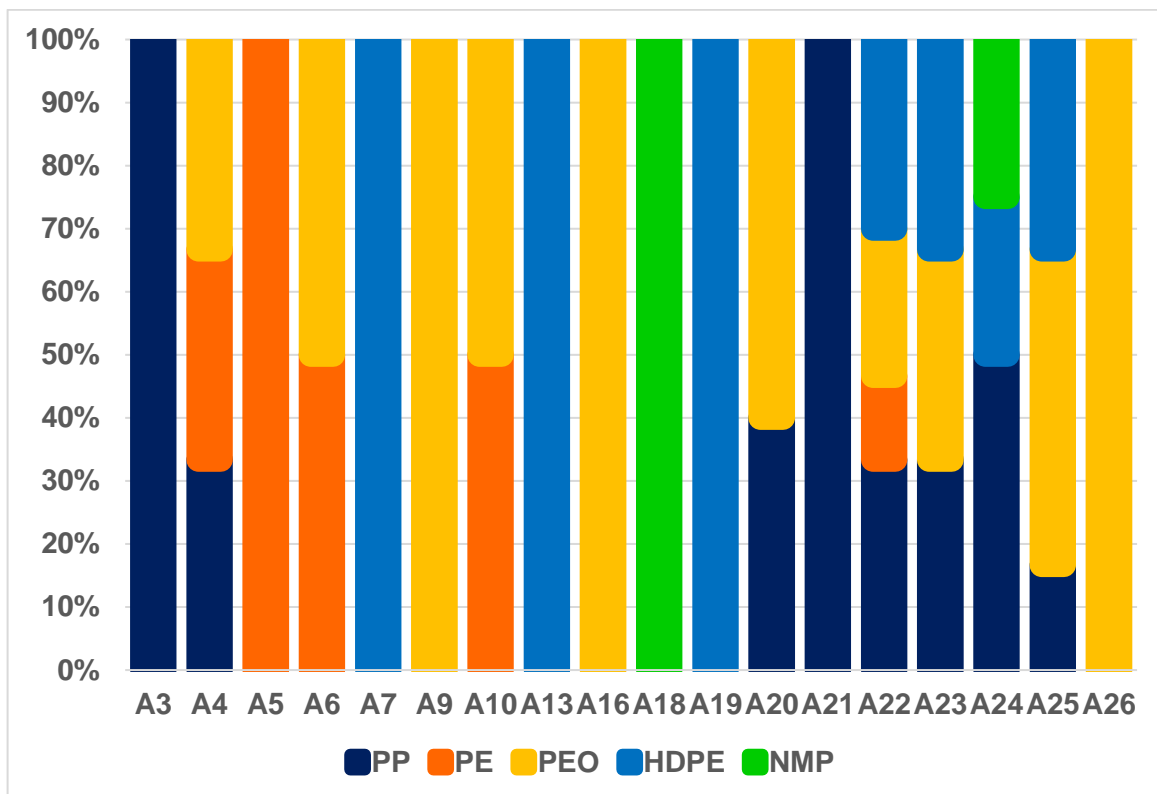
\* PP: polipropileno, PE: polietileno, OPE: polietileno oxidado, HDPE: polietileno de alta densidad, NMP: No microplástico.

En general, el OPE representó mayor porcentaje de aparición en las muestras de MP recolectadas para el estudio con un 30 % del total. PP, HDPE y PE le siguen con un 31 %, 24 % y 12 % respectivamente (Figura 16)



**Figura 16.** Porcentajes de aparición de los polímeros plásticos en las muestras analizadas por ATR-FTIR.

La mayoría de los MP analizados por espectroscopía FTIR provenían de las playas de Aguamarina (A22). La Figura 17 muestra los porcentajes de aparición de los polímeros plásticos por playas.



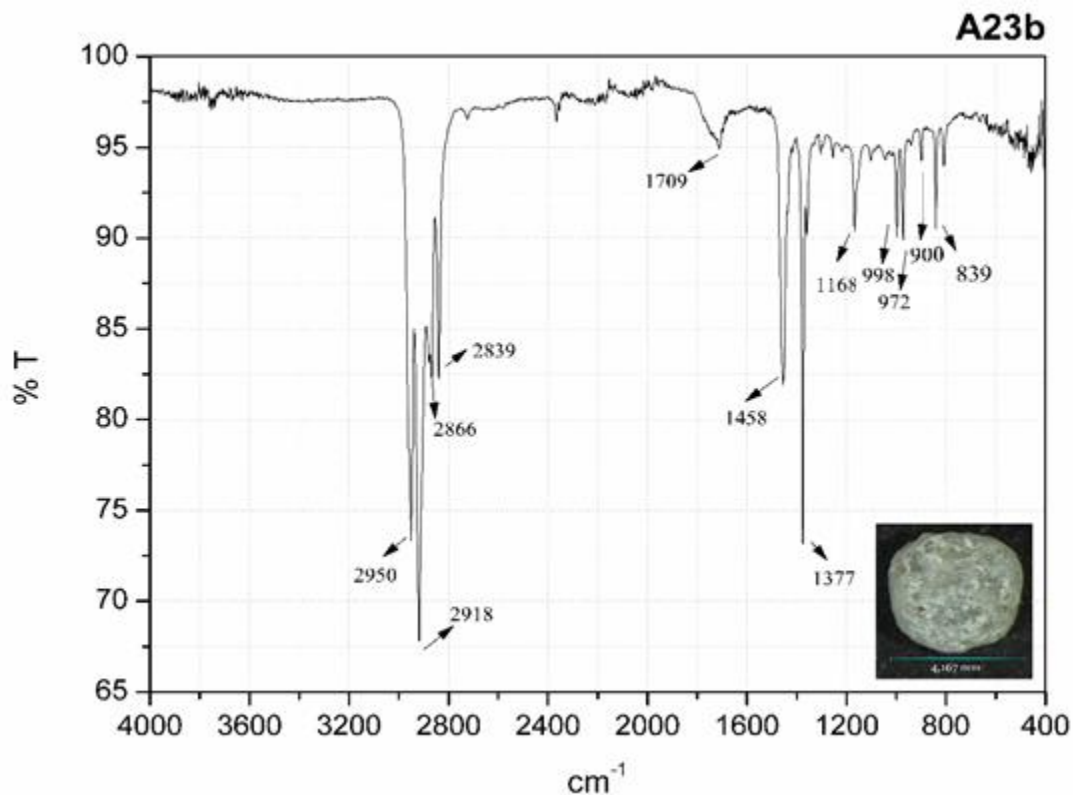
**Figura 17.** Porcentaje de aparición de polímero plástico agrupados por playas.

Existen tablas en donde se enlistan las bandas representativas en los espectros IR de los polímeros plásticos más comunes. Se evidencian las áreas de banda de estiramiento de CH ( $2980-2780\text{ cm}^{-1}$ ), estiramiento de CO ( $1760-1670\text{ cm}^{-1}$ ) y deformación de CH ( $1480-1400\text{ cm}^{-1}$ ), que se producen en casi toda la materia orgánica (Anexo B).

Los espectros principalmente se analizan por comparación visual, por ser un poco laboriosa se utiliza la biblioteca espectral interna del espectrofotómetro con polímeros conocidos [98].

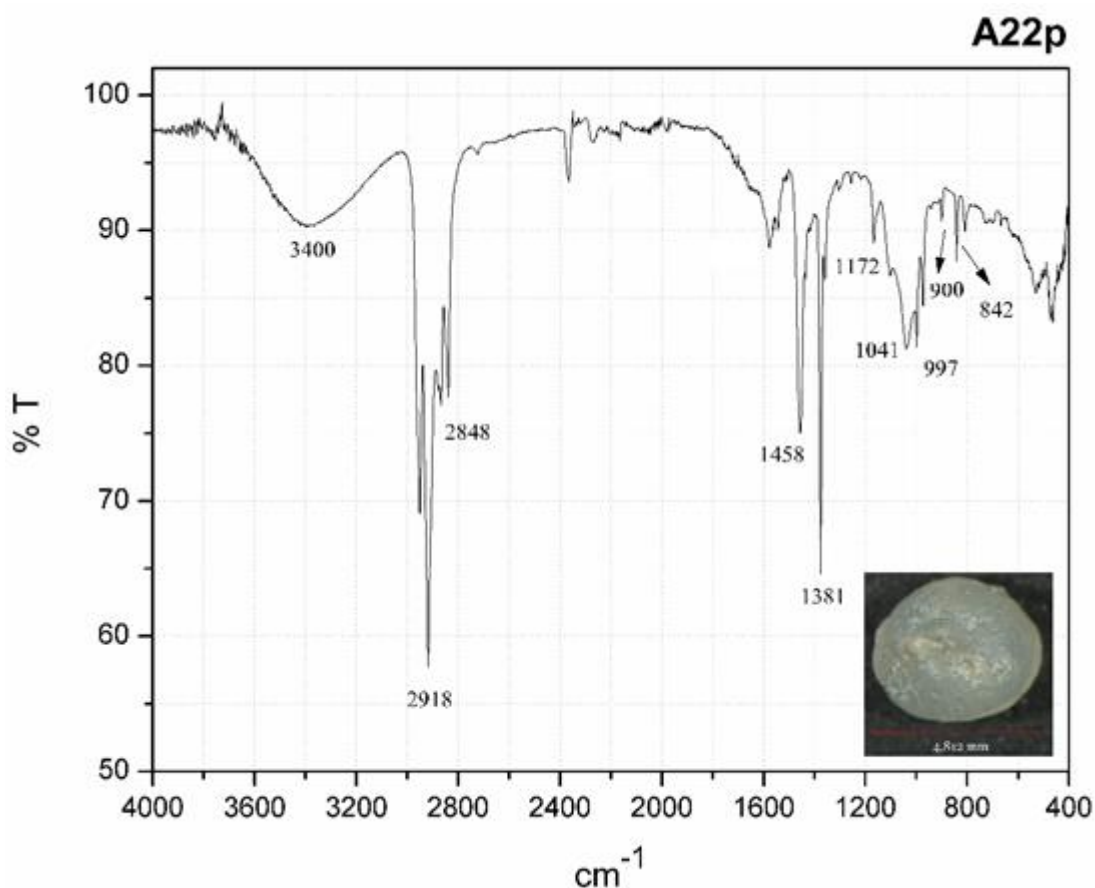
#### 4.4.1 Espectros de Polipropileno

El espectro IR de polipropileno de una muestra de pellet (Figura 18), presenta las bandas características de 2950–2839  $\text{cm}^{-1}$ , en 1168  $\text{cm}^{-1}$ , 972  $\text{cm}^{-1}$  y 839  $\text{cm}^{-1}$  se deben al estiramiento asimétrico/simétrico de CH ( $\text{CH}_3$  y  $\text{CH}_2$ ), balanceo de  $\text{CH}_3$ , estiramiento de carbono-carbono y balanceo de  $\text{CH}_2$ .



**Figura 18.** Espectro IR de Polipropileno (PP) de un MP de la playa Bocatocinos (A23).

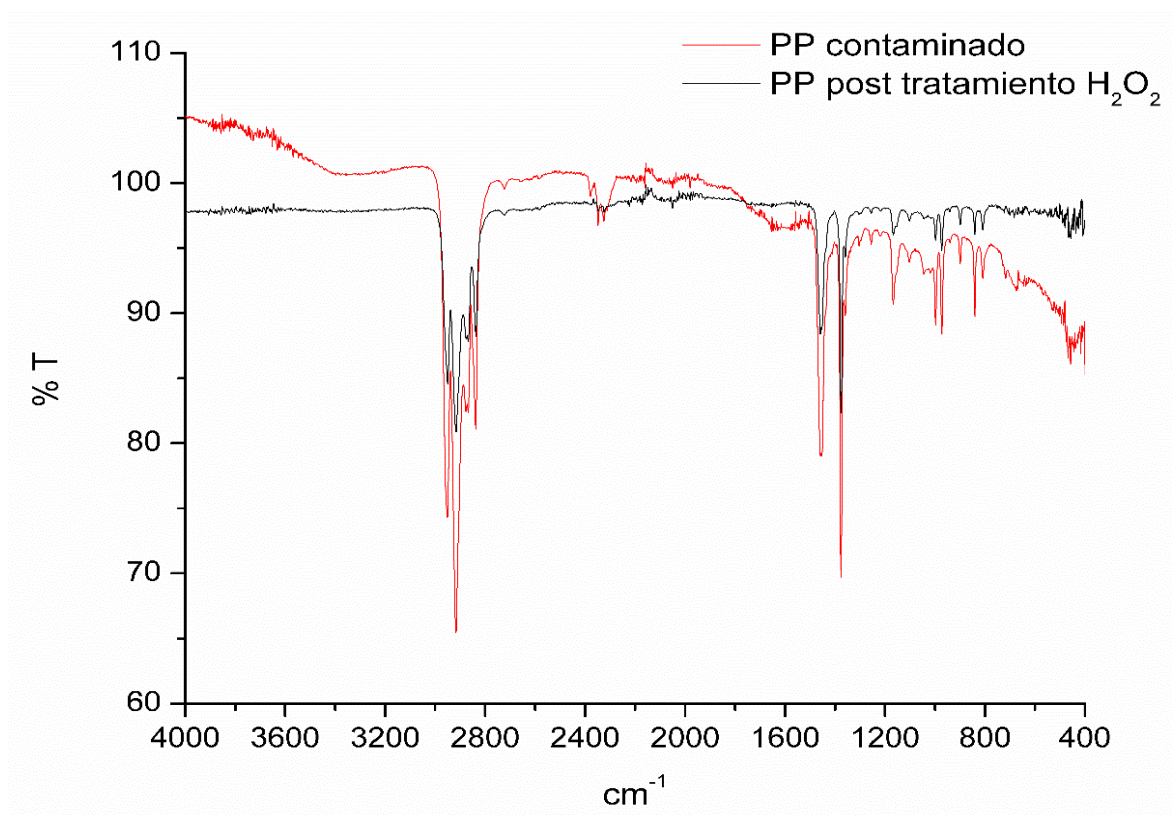
Los espectros IR en general presentaron distintos cambios que evidenciaban la presencia de algún tipo de contaminante en el plástico o degradación por la exposición al ambiente, por ejemplo, grupos hidroxilo (bandas amplias de 3100 a 3700  $\text{cm}^{-1}$ , centrado en 3300–3400  $\text{cm}^{-1}$ ) y carbonilos (1690-1810  $\text{cm}^{-1}$ , centrado en  $\approx 1710 \text{ cm}^{-1}$ ) [99,100]. La Figura 19 representa el espectro IR de uno de los MP de las playas que evidencia gran contaminación.



**Figura 19.** Espectro IR de Polipropileno (PP) de un MP de la playa Aguamarina (A22). Presencia de nuevas bandas y ensanchamiento de bandas.

El proceso de degradación más influyente con respecto al polipropileno es la degradación fotooxidativa, que requiere exposición a la luz solar y al oxígeno para producir grupos carbonilo polares, ésteres, cetonas y ácidos, mejorando así la característica hidrofílica del polipropileno [38]. En las Figuras 18 y 19 se observan también una banda de baja intensidad cerca de los  $900\text{ cm}^{-1}$ , puede atribuirse a la presencia de grupos vinilo en el polímero [99]. La aparición de bandas entre  $1850\text{ cm}^{-1}$  y  $1630\text{ cm}^{-1}$  (carbonilo), y  $908\text{ cm}^{-1}$  ( $\text{C}=\text{CH}$ , vinilo) son productos importantes del proceso de degradación en los plásticos. Pueden formarse amidas y alquenos, y la formación de grupos carbonilo puede causar el rompimiento de la cadena, que es una etapa importante en el proceso de degradación química [101].

Se puede evitar o disminuir la ocurrencia de bandas no características del polímero con una limpieza previa al análisis. Estos procedimientos de limpieza que requiere de mucho tiempo, por ejemplo,  $H_2O_2$  se aplica generalmente para eliminar la materia orgánica. Se ha demostrado que muchos polímeros resisten la degradación asociada con  $H_2O_2$ . La Figura 20 muestra el resultado que se obtiene en el análisis por espectroscopía al someter el polímero a una limpieza con  $H_2O_2$  al 50 %.

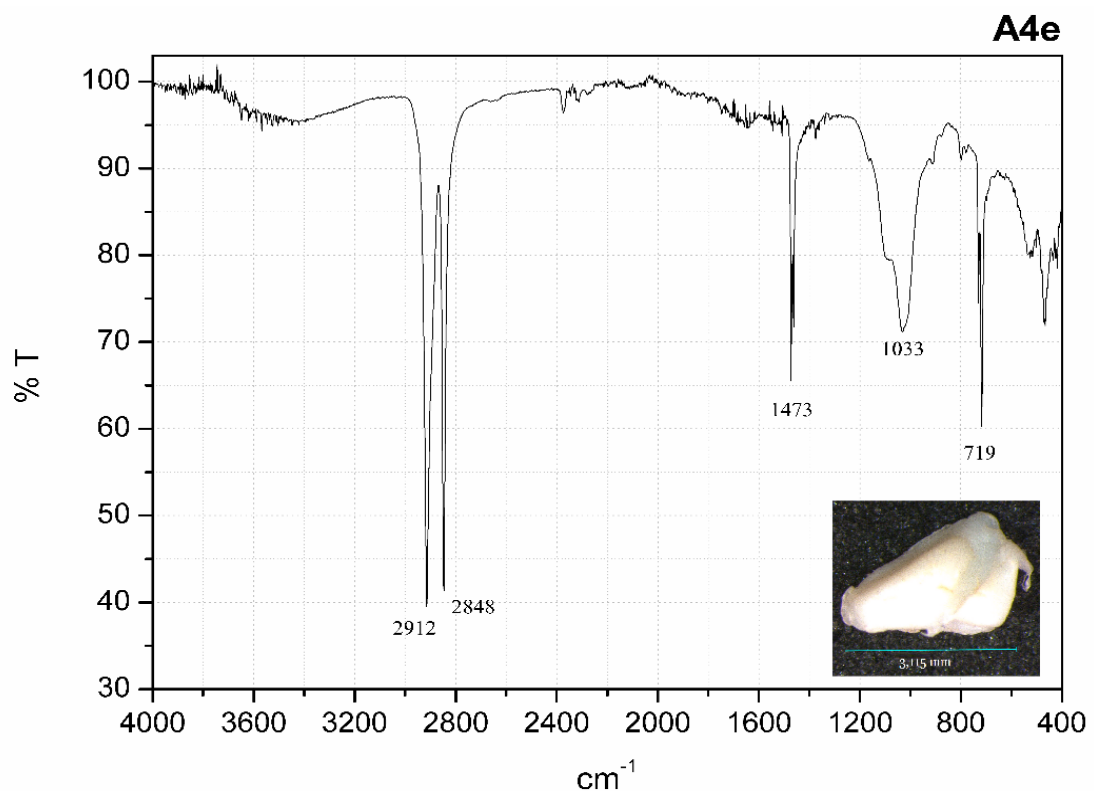


**Figura 20.** Espectros IR de Polipropileno contaminado (rojo) y Polipropileno tratado con  $H_2O_2$  al 50 %.

Se concluye que el  $H_2O_2$  elimina de manera efectiva la materia orgánica presente en la superficie de las muestras de MP ambientales. No resulta ser del todo abrasivo si se manejan concentraciones en un rango del 40 % al 50 % para garantizar mayor eficacia. El análisis químico por comparación, previo y post tratamiento permite diferenciar mejor las bandas que corresponden a material contaminante.

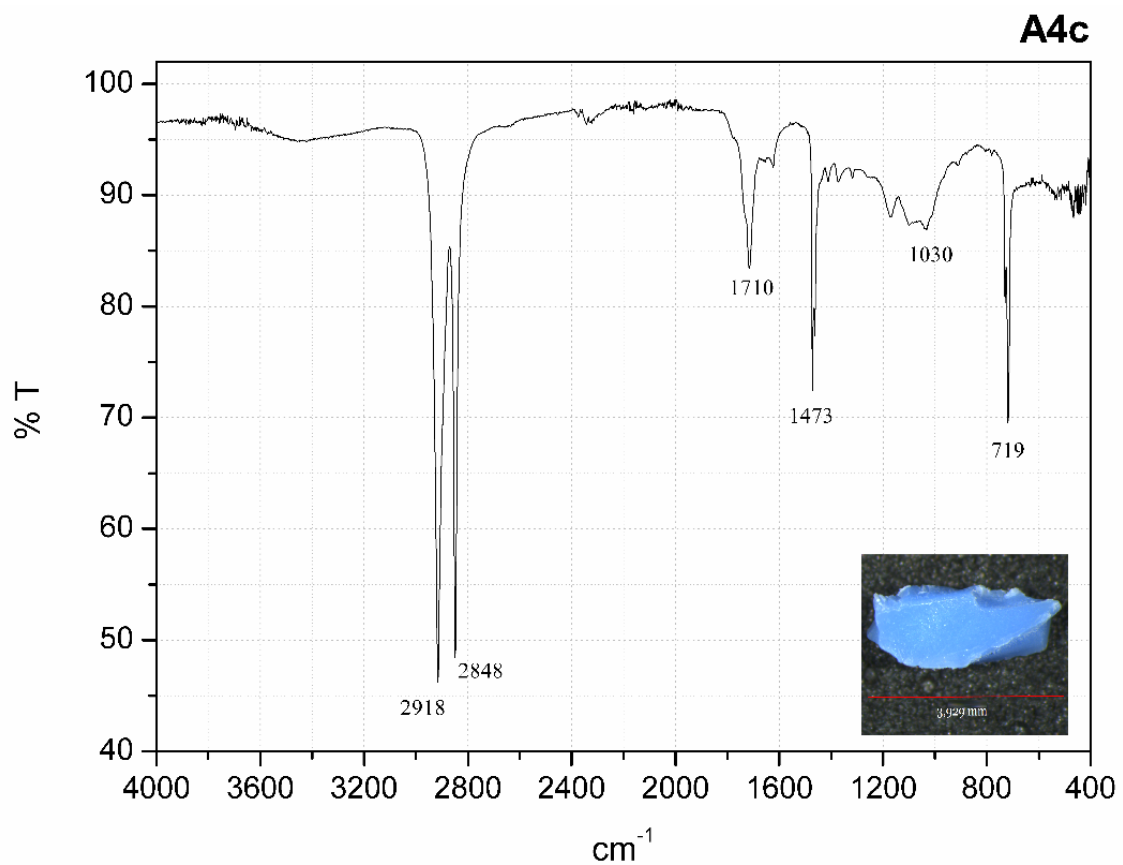
#### 4.4.2 Espectros de Polietileno

La degradación de las muestras se confirmó por la presencia de cambios relacionados con la meteorización en los espectros FTIR. Debido a la intemperie, las diversas bandas también aparecieron en  $3300\text{ cm}^{-1} - 3400\text{ cm}^{-1}$  para un grupo hidroxilo, a  $1710\text{ cm}^{-1}$  para un grupo carbonilo y cerca de  $1031\text{ cm}^{-1}$  para enlace de éster (Figuras 21-23). Estas alteraciones en los espectros demuestran que las estructuras PE y PP se alteran debido a la degradación [102].

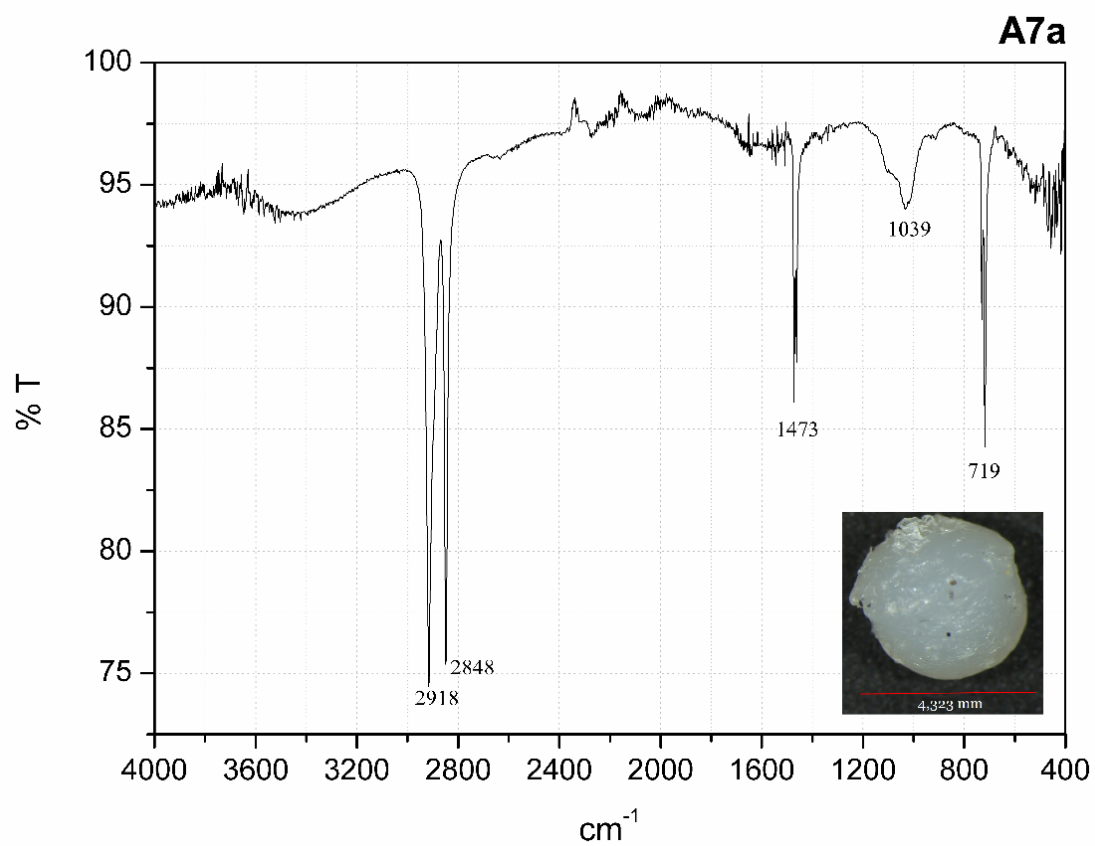


**Figura 21.** Espectro IR de Polietileno (PE) de un MP de la playa Pradomar-Urbana (A4). banda no característica a  $1033\text{ cm}^{-1}$ .





**Figura 22.** Espectro IR de Polietileno Oxidado (OPE) de un MP de la playa Pradomar-Urbana (A4). Banda de oxidación ubicada en 1710 cm<sup>-1</sup>.



**Figura 23.** Espectro IR de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) de un MP de la playa Puerto Velero-Expuesta (A7).

#### 4. CONCLUSIONES

El presente estudio es el primero en haber analizado la composición química de los plásticos presentes en las playas de la costa del Departamento del Atlántico. Las fibras representaron el mayor porcentaje de aparición con un 49 % del total, seguido de los fragmentos, espuma y pellets con 26 %, 15 % y 10 %, respectivamente. Las playas que presentaron mayor número de MP fueron A25 y A22 con un total de 154 y 86 MP respectivamente, mientras que A1, A11 y A8 presentaron menor número con un promedio de 2,5 MP por muestra de sedimento. Se evidenció mediante un gráfico el crecimiento en la cantidad de MP del NE al SO de la costa del Departamento, posiblemente por el arrastre de cantidades de sedimento y agua por medio de corrientes impulsadas por la desembocadura del río y los vientos provenientes del NE que se dirigen hacia Cartagena de Indias, provocando fuertes oleajes cuyo impacto puede ser incrementado por los vientos alisios que soplan desde el E-NE. La abundancia de MP se encuentra entre 28,57 y 2200 items/kg de sedimento seco, con un valor medio de  $327,95 \pm 99,74$  items/kg de sedimento seco.

En análisis de componentes principales y la agrupación jerárquica por clusters permitió identificar 4 grupos importantes, Cluster 1: playa A6, destacada por presentar mayor presencia de todas las tipologías de plásticos, Cluster 2: alto contenido de fibras y playas vecinas, Cluster 3: presencia de todas las tipologías a excepción del tipo espuma y el Cluster 4: conformado por las playas más turísticas, pero con un valor de la media bajo entre las cantidades por tipología de plástico.

El análisis por espectroscopía reveló presencia de contaminantes presentes en las muestras. La mayoría de los espectros obtenidos presentaron muchas bandas no correspondientes al polímero en cuestión y ensanchamiento de bandas. El PE oxidado representó mayor porcentaje de aparición con un 30 % del total. PP, HDPE y PE con un 31 %, 24 % y 12 %, respectivamente, y un 3 % no plástico.

Es importante generar estrategias que permitan disminuir la contaminación de basura en las playas. La recolección de basura macroplástica permite en un futuro evitar el crecimiento exponencial en la cantidad de partículas microplásticas.

## 5. RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de equipos más robustos que permitan analizar la composición química de MP de tamaño menor a 3 mm. Ejemplo: microscopía asociado a la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier ( $\mu$ FT-IR) o  $\mu$ -Raman. Con el objetivo de obtener con mayor certeza un valor de abundancia en el sedimento de las playas.

Asimismo, efectuar un mayor número de muestreos por playa con el fin de disminuir el sesgo en la medida de abundancia.

Añadir como paso importante, previo al análisis por espectroscopía, una limpieza con  $H_2O_2$  al 50 % durante un periodo de varios días, permitirá obtener espectros más claros ya que es efectivo para la eliminación de materia orgánica presente en las muestras.

Conservar las muestras de sedimento en recipientes de vidrio, debido a que es un material inerte. El aluminio puede ser degradado por acción de la salinidad de la muestra.

## 6. REFERENCIAS

- [1]. Dris, R.; Imhof, H.; Sanchez, W.; Gasperi, J.; Galgani, F.; Tassin, B.; Laforsch, C., *Environ. Chem.*, 2015, 12, 539–550.
- [2]. Imhof, H.K.; Ivleva, N.P.; Schmid, J.; Niessner, R.; Laforsch, C., *Curr. Biol.*, 2013, 23, R867–R868.
- [3]. United Nations Environment Programme (UNEP), 2014, 25–29.
- [4]. Andrady, A.L., *Mar. Pollut. Bull.*, 2011, 62, 1596–1605.
- [5]. Laura Parker, Ahogados en un mar de plástico, [https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/grandes-reportajes/ahogados-mar-plastico\\_12712/1#anclaTexto](https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/grandes-reportajes/ahogados-mar-plastico_12712/1#anclaTexto), (accessed 29 September 2018).
- [6]. Oliveira, M., Ribeiro, A., & Guilhermino, L., *Science (80- )*, 2012, S19–S20.
- [7]. Wright, S.L.; Rowe, D.; Thompson, R.C.; Galloway, T.S., *Curr. Biol.*, 2013, 23, R1031–R1033.
- [8]. Restrepo, J.D.; Kjerfve, B., *J. Hydrol.*, 2000, 235, 137–149.
- [9]. Lebreton, L.C.M.; Van Der Zwet, J.; Damsteeg, J.W.; Slat, B.; Andrady, A.; Reisser, J., *Nat. Commun.*, 2017, 8, 1–10.
- [10]. Law, K.L.; Thompson, R.C., *Science (80- )*, 2014, 345, 144–145.
- [11]. United Nations Environment Programme (UNEP), *UNEP Year B. 2014 Emerg. issues Updat.*, 2014, 48–53.
- [12]. Rangel-Buitrago, N.; Williams, A.; Anfuso, G.; Arias, M.; Gracia, C.A., *Ocean Coast. Manag.*, 2017, 138, 142–157.
- [13]. Acosta Coley, I.C., 2014, 115.
- [14]. Ivar, J.A.; Costa, M.F., *Environ. Pollut.*, 2014, 185, 352–364.

- [15]. Andrady, A.L., *Mar. Pollut. Bull.*, 2017, 119, 12–22.
- [16]. Filella, M., *Environ. Chem.*, 2015, 12, 527–538.
- [17]. Miniambiente (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible)., Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, [http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presentación\\_Política\\_Nacional\\_-\\_Gestión\\_/libro\\_pol\\_nal\\_rec\\_hidrico.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presentación_Política_Nacional_-_Gestión_/libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf), (accessed 19 September 2018).
- [18]. CCO (Comisión Colombiana del Océano)., Política Nacional del Océano y de los Espacios Costeros., <http://www.cco.gov.co/docs/publicaciones/pnoec-2017-03.pdf>, (accessed 19 September 2018).
- [19]. Wright, S.L.; Thompson, R.C.; Galloway, T.S., *Environ. Pollut.*, 2013, 178, 483–492.
- [20]. Hermabessiere, L.; Dehaut, A.; Paul-Pont, I.; Lacroix, C.; Jezequel, R.; Soudant, P.; Duflos, G., *Chemosphere*, 2017, 182, 781–793.
- [21]. Leslie, H.A., *IVM Inst. Environ. Stud.*, 2014, 476, 33.
- [22]. Chang, M., *Mar. Pollut. Bull.*, 2015, 101, 330–333.
- [23]. Remy, F.; Collard, F.; Gilbert, B.; Compère, P.; Eppe, G.; Lepoint, G., *Environ. Sci. Technol.*, 2015, 49, 11158–11166.
- [24]. Yu, X.; Peng, J.; Wang, J.; Wang, K.; Bao, S., *Environ. Pollut.*, 2016, 214, 722–730.
- [25]. España, E.M. de, Estudio sobre cuantificación de fuentes de microplásticos e identificación de posibles medidas para su reducción en la fuente, [https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/grupos-de-trabajo-y-seminarios/Proteccion-del-medio-marino/fuentesmicroplasticos\\_informecepyc\\_tcm30-169519.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/grupos-de-trabajo-y-seminarios/Proteccion-del-medio-marino/fuentesmicroplasticos_informecepyc_tcm30-169519.pdf).
- [26]. Carpenter, E. J., Anderson, S. J., Harvey, G. R., Miklas, H. P., & Peck, B.B., *Science*, 1972, 178, 749–750.

- [27]. Suciu, M.C.; Tavares, D.C.; Costa, L.L.; Silva, M.C.L.; Zalmon, I.R., *Mar. Pollut. Bull.*, 2017, 119, 133–142.
- [28]. Hanvey, J.S.; Lewis, P.J.; Lavers, J.L.; Crosbie, N.D.; Pozo, K.; Clarke, B.O., *Anal. Methods*, 2017, 9, 1369–1383.
- [29]. Dr Chris Sherrington, *Plastics in the Marine Environment*, <http://www.eunomia.co.uk/reports-tools/plastics-in-the-marine-environment/>, (accessed 1 October 2018).
- [30]. Rezania, S.; Park, J.; Md Din, M.F.; Mat Taib, S.; Talaiekhosani, A.; Kumar Yadav, K.; Kamyab, H., *Mar. Pollut. Bull.*, 2018, 133, 191–208.
- [31]. Xu, S.; Ma, J.; Ji, R.; Pan, K.; Miao, A.J., *Sci. Total Environ.*, 2020, 703, 134699.
- [32]. Castro, R.O.; Silva, M.L. da.; Araújo, F.V. de, *Ocean Coast. Manag.*, 2018, 165, 385–400.
- [33]. Yu, Q.; Hu, X.; Yang, B.; Zhang, G.; Wang, J.; Ling, W., *Chemosphere*, 2020, 249, 126059.
- [34]. De la torre, G.E., *Rev. Cienc. Y Tecnol.*, 2019, 15, 27–37.
- [35]. Gouin, T.; Roche, N.; Lohmann, R.; Hodges, G., *Environ. Sci. Technol.*, 2011, 45, 1466–1472.
- [36]. Fendall, L.S.; Sewell, M.A., *Mar. Pollut. Bull.*, 2009, 58, 1225–1228.
- [37]. Nel, H.A.; Froneman, P.W., *Mar. Pollut. Bull.*, 2015, 101, 274–279.
- [38]. Khoironi, A.; Hadiyanto, H.; Anggoro, S.; Sudarno, S., *Mar. Pollut. Bull.*, 2020, 151, 110868.
- [39]. Cole, M.; Lindeque, P.; Halsband, C.; Galloway, T.S., *Mar. Pollut. Bull.*, 2011, 62, 2588–2597.
- [40]. Wagner, M.; Scherer, C.; Alvarez-Muñoz, D.; Brennholt, N.; Bourrain, X.; Buchinger, S.; Fries, E.; Grosbois, C.; Klasmeier, J.; Marti, T.; Rodriguez-



- Mozaz, S.; Urbatzka, R.; Vethaak, A.D.; Winther-Nielsen, M.; Reifferscheid, G., *Environ. Sci. Eur.*, 2014, 26, 1–9.
- [41]. Auta, H.S.; Emenike, C.U.; Fauziah, S.H., *Environ. Int.*, 2017, 102, 165–176.
- [42]. Cornish Alvarez, M.L., *El ABC de los plásticos*, Universidad Iberoamericana, 1997.
- [43]. Duis, K.; Coors, A., *Environ. Sci. Eur.*, 2016, 28, 1–25.
- [44]. Phuong, N.N.; Poirier, L.; Pham, Q.T.; Lagarde, F.; Zalouk-Vergnoux, A., *Mar. Pollut. Bull.*, 2018, 129, 664–674.
- [45]. Cheung, P.K.; Fok, L.; Hung, P.L.; Cheung, L.T.O., *Sci. Total Environ.*, 2018, 628–629, 731–739.
- [46]. Van Cauwenberghe, L.; Devriese, L.; Galgani, F.; Robbens, J.; Janssen, C.R., *Mar. Environ. Res.*, 2015, 111, 5–17.
- [47]. Suaria, G.; Aliani, S., *Mar. Pollut. Bull.*, 2014, 86, 494–504.
- [48]. Kukulka, T.; Proskurowski, G.; Morét-Ferguson, S.; Meyer, D.W.; Law, K.L., *Geophys. Res. Lett.*, 2012, 39, 1–6.
- [49]. Magnusson, K.; Eliasson, K.; Fråne, A.; Haikonen, K.; Hultén, J.; Olshammar, M.; Stadmark, J.; Voisin, A., *IVL Rep.*, 2016, 1–89.
- [50]. de Carvalho, D.G.; Baptista Neto, J.A., *Ocean Coast. Manag.*, 2016, 128, 10–17.
- [51]. de Sá, L.C.; Luís, L.G.; Guilhermino, L., *Environ. Pollut.*, 2015, 196, 359–362.
- [52]. Browne, M.A.; Niven, S.J.; Galloway, T.S.; Rowland, S.J.; Thompson, R.C., *Curr. Biol.*, 2013, 23, 2388–2392.
- [53]. Lithner, D.; Larsson, A.; Dave, G., *Sci. Total Environ.*, 2011, 409, 3309–3324.
- [54]. von Moos, N.; Burkhardt-Holm, P.; Koehler, A., *Environ. Sci. Technol.*, 2012, 46, 327–335.

- [55]. Rochman, C.M.; Hoh, E.; Kurobe, T.; Teh, S.J., *Sci. Rep.*, 2013, 3, 1–7.
- [56]. Cole, M.; Lindeque, P.; Fileman, E.; Halsband, C.; Galloway, T.S., *Environ. Sci. Technol.*, 2015, 49, 1130–1137.
- [57]. Ferreira, P.; Fonte, E.; Soares, M.E.; Carvalho, F.; Guilhermino, L., *Aquat. Toxicol.*, 2016, 170, 89–103.
- [58]. Song, Y.K.; Hong, S.H.; Jang, M.; Han, G.M.; Rani, M.; Lee, J.; Shim, W.J., *Mar. Pollut. Bull.*, 2015, 93, 202–209.
- [59]. Hidalgo-Ruz, V.; Gutow, L.; Thompson, R.C.; Thiel, M., *Environ. Sci. Technol.*, 2012, 46, 3060–3075.
- [60]. Saliu, F.; Montano, S.; Garavaglia, M.G.; Lasagni, M.; Seveso, D.; Galli, P., *Mar. Pollut. Bull.*, 2018, 136, 464–471.
- [61]. Li, R.; Zhang, L.; Xue, B.; Wang, Y., *Environ. Pollut.*, 2019, 244, 685–692.
- [62]. Zhu, L.; Bai, H.; Chen, B.; Sun, X.; Qu, K.; Xia, B., *Sci. Total Environ.*, 2018, 636, 20–29.
- [63]. Xiong, X.; Wu, C.; Elser, J.J.; Mei, Z.; Hao, Y., *Sci. Total Environ.*, 2019, 659, 66–73.
- [64]. Pan, Z.; Guo, H.; Chen, H.; Wang, S.; Sun, X.; Zou, Q.; Zhang, Y.; Lin, H.; Cai, S.; Huang, J., *Sci. Total Environ.*, 2019, 650, 1913–1922.
- [65]. Di, M.; Wang, J., *Sci. Total Environ.*, 2018, 616–617, 1620–1627.
- [66]. Ghosal, S.; Chen, M.; Wagner, J.; Wang, Z.-M.; Wall, S., *Environ. Pollut.*, 2018, 233, 1113–1124.
- [67]. Xiong, X.; Zhang, K.; Chen, X.; Shi, H.; Luo, Z.; Wu, C., *Environ. Pollut.*, 2018, 235, 899–906.
- [68]. Ballent, A.; Corcoran, P.L.; Madden, O.; Helm, P.A.; Longstaffe, F.J., *Mar. Pollut. Bull.*, 2016, 110, 383–395.
- [69]. Sruthy, S.; Ramasamy, E.V., *Environ. Pollut.*, 2017, 222, 315–322.

- [70]. Crawford, C.B.; Quinn, B. Microplastic identification techniques. *Microplastic Pollutants*, 2016. pp 219-267.
- [71]. Qiu, Q.; Tan, Z.; Wang, J.; Peng, J.; Li, M.; Zhan, Z., *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 2016, 176, 102–109.
- [72]. Rodríguez, M.D.; González Ariza, Á.L.; Henao, P.A.; Díaz Mora, M.E., *Introducción al Análisis Estadístico Multivariado Aplicado: Experiencia y casos en el Caribe colombiano*, Puerto Colombia, Universidad., 2013.
- [73]. Rangel-Buitrago, N.; Gracia, A.; Vélez-Mendoza, A.; Mantilla-Barbosa, E.; Arana, V.A.; Trilleras, J.; Arroyo-Olarte, H., *Mar. Pollut. Bull.*, 2018, 136, 435–447.
- [74]. Renzi, M.; Blašković, A.; Broccoli, A.; Bernardi, G.; Grazioli, E.; Russo, G., *Mar. Pollut. Bull.*, 2020, 152, 110918.
- [75]. Chen, Q.; Gundlach, M.; Yang, S.; Jiang, J.; Velki, M.; Yin, D.; Hollert, H., *Sci. Total Environ.*, 2017, 584–585, 1022–1031.
- [76]. Kanhai, L.D.K.; Officer, R.; Lyashevskaya, O.; Thompson, R.C.; O'Connor, I., *Mar. Pollut. Bull.*, 2017, 115, 307–314.
- [77]. Gallagher, A.; Rees, A.; Rowe, R.; Stevens, J.; Wright, P., *Mar. Pollut. Bull.*, 2016, 102, 243–249.
- [78]. Halstead, J.E.; Smith, J.A.; Carter, E.A.; Lay, P.A.; Johnston, E.L., *Environ. Pollut.*, 2018, 234, 552–561.
- [79]. Acosta-Coley, I.; Olivero-Verbel, J., *Environ. Monit. Assess.*, 2015, 187, 435.
- [80]. Calderon, E.A.; Hansen, P.; Rodríguez, A.; Blettler, M.C.M.; Syberg, K.; Khan, F.R., *Water. Air. Soil Pollut.*, , DOI:10.1007/s11270-019-4313-8.
- [81]. Garcés-Ordóñez, O.; Castillo-Olaya, V.A.; Granados-Briceño, A.F.; Blandón García, L.M.; Espinosa Díaz, L.F., *Mar. Pollut. Bull.*, 2019, 145, 455–462.
- [82]. Mantilla-Barbosa, E. Caracterización de Basura Macroplástica y


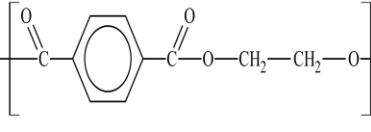

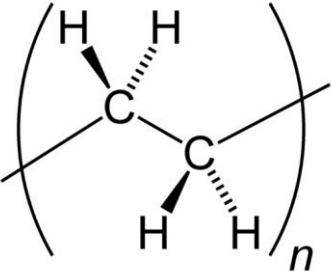

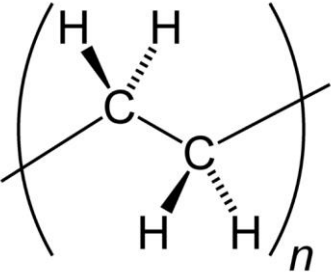

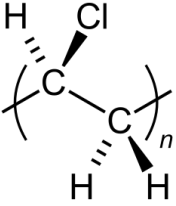
Mesoplástica en la Línea Costera del Departamento del Atlántico. Puerto Colombia, 2019, 72. Tesis de maestría (Mayister en Ciencias Ambientales) Universidad del Atlántico, Facultad de Ciencias Básicas, Convenio SUE Caribe.

- [83]. Arroyo-Olarte, H. Caracterización Física De Microplásticos En Costas Del Departamento Del Atlántico. Puerto Colombia, 2019, 112. Tesis de maestría (Mayister en Ciencias Ambientales) Universidad del Atlántico, Facultad de Ciencias Básicas, Convenio SUE Caribe.
- [84]. OSPAR.; OSPAR Commission, OSPAR Comm., 2010, 1, 84.
- [85]. Besley, A.; Vijver, M.G.; Behrens, P.; Bosker, T., *Mar. Pollut. Bull.*, 2017, 114, 77–83.
- [86]. EA/NALG, 2000, 55.
- [87]. Lenz, R.; Enders, K.; Stedmon, C.A.; MacKenzie, D.M.A.; Nielsen, T.G., *Mar. Pollut. Bull.*, 2015, 100, 82–91.
- [88]. Rangel-Buitrago, N.; Williams, A.; Anfuso, G.; Arias, M.; Gracia, A., *Ocean Coast. Manag.*, 2017, 138, 142–157.
- [89]. Browne, M.A.; Crump, P.; Niven, S.J.; Teuten, E.; Tonkin, A.; Galloway, T.; Thompson, R., *Environ. Sci. Technol.*, 2011, 45, 9175–9179.
- [90]. Anfuso, G.; Rangel-Buitrago, N.; Correa Arango, I.D. Evolution of Sandspits Along the Caribbean Coast of Colombia: Natural and Human Influences. 2015. pp. 1–19.
- [91]. Ortiz-Royero, J.C.; Otero, L.J.; Restrepo, J.C.; Ruiz, J.; Cadena, M., *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2013, 13, 2797–2804.
- [92]. Boletín Mensual|| CIOH.ORG - OCEANOGRAFIA OPERACIONAL, <https://www.cioh.org.co/meteorologia/ResumenClimatologico.php>, (accessed 13 November 2019).
- [93]. Rangel-Buitrago, N.; Castro-Barros, J.D.; Gracia, C.A.; Villadiego, J.D.V.;


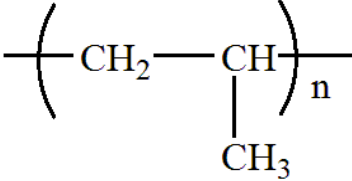

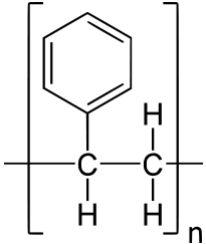

- Williams, A.T., *Mar. Pollut. Bull.*, 2019, 137, 35–44.
- [94]. Ramesh, R.; Karthik, R.; Pruvaja, R.; Ganguly, D.; I.Anandavelu.; Mugilarasan, M.; Ramesh, R., *Sci. Total Environ.*, , DOI:10.1016/j.scitotenv.2019.134947.
- [95]. Critchell, K.; Grech, A.; Schlaefer, J.; Andutta, F.P.; Lambrechts, J.; Wolanski, E.; Hamann, M., *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 2015, 167, 414–426.
- [96]. Williams, A.T.; Randerson, P.; Di Giacomo, C.; Anfuso, G.; Macias, A.; Perales, J.A., *Mar. Pollut. Bull.*, 2016, 107, 77–87.
- [97]. Williams, A.T.; Randerson, P.; Allen, C.; Cooper, J.A.G., *Mar. Pollut. Bull.*, 2017, 122, 47–64.
- [98]. Xu, J.-L.; Thomas, K. V.; Luo, Z.; Gowen, A.A., *TrAC Trends Anal. Chem.*, 2019, 119, 115629.
- [99]. Brandon, J.; Goldstein, M.; Ohman, M.D., *Mar. Pollut. Bull.*, 2016, 110, 299–308.
- [100]. Rajakumar, K.; Sarasvathy, V.; Thamarai Chelvan, A.; Chitra, R.; Vijayakumar, C.T., *J. Polym. Environ.*, 2009, 17, 191–202.
- [101]. Moldovan, A.; Patachia, S.; Buican, R.; Tiorean, M.H., *Ser. I Eng. Sci.*, 2012, 5, 65–72.
- [102]. Syakti, A.D.; Hidayati, N.V.; Jaya, Y.V.; Siregar, S.H.; Yude, R.; Suhendy.; Asia, L.; Wong-Wah-Chung, P.; Doumenq, P., *Mar. Pollut. Bull.*, 2018, 137, 593–600.
- [103]. Jung, M.R.; Horgen, F.D.; Orski, S. V.; Rodriguez C., V.; Beers, K.L.; Balazs, G.H.; Jones, T.T.; Work, T.M.; Brignac, K.C.; Royer, S.J.; Hyrenbach, K.D.; Jensen, B.A.; Lynch, J.M., *Mar. Pollut. Bull.*, 2018, 127, 704–716.

## ANEXOS

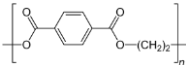
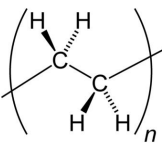
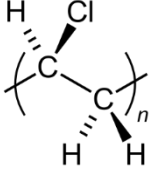

**Anexo A.** Código de identificación de materiales plásticos más comunes utilizados en la industria, características y estructura química de la unidad repetitiva ([www.acoplasticos.org](http://www.acoplasticos.org))

PLÁSTICO	CARACTERÍSTICAS	ESTRUCTURA DEL MONÓMERO
 <p><b>PET</b> Tereftalato de polietileno</p>	<p>Se produce a través del Ácido Tereftálico y el Etilenglicol por policondensación. Existen dos tipos: grado textil y botella. Para el segundo se lo debe post condensar, existiendo diversos colores para estos usos.</p>	
 <p><b>PE-HD</b> Polietileno de alta densidad</p>	<p>Es un termoplástico fabricado a partir del Etileno (elaborado a partir del Etano, uno de los componentes del gas natural). Es muy versátil y se lo puede transformar de diferentes maneras.</p>	
 <p><b>PE-LD</b> Polietileno de baja densidad</p>	<p>Se produce a partir del gas natural. Es de gran versatilidad y se procesa de diversas formas. Su transparencia, flexibilidad y economía hacen que esté presente en una diversidad de envases, sólo o en conjunto con otros materiales y en variadas aplicaciones.</p>	
 <p><b>PVC</b> Cloruro de polivinilo</p>	<p>Se produce a partir de dos materias primas naturales: 43% gas y 57% sal común. Para su procesado son necesarios aditivos especiales. Se obtienen productos rígidos a totalmente flexibles.</p>	

**Anexo A. (Continuación)**

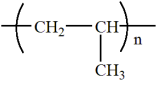
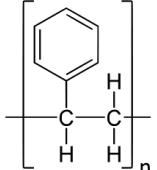
PLÁSTICO	CARACTERÍSTICAS	ESTRUCTURA DEL MONÓMERO
 <p><b>Polipropileno</b></p>	<p>Es un termoplástico que se obtiene por polimerización del propileno. Los copolímeros se forman agregando Etileno durante el proceso. Es rígido, de alta cristalinidad y elevado punto de fusión, alta resistencia química y el de más baja densidad (Tabla 1). Al adicionarle distintas cargas se potencian sus propiedades para la ingeniería.</p>	
 <p><b>Poliestireno</b></p>	<p>PS Cristal: es un polímero de estireno monómero derivado del petróleo, cristalino y de alto brillo. Ambos PS son fácilmente moldeables.</p>	
 <p><b>Otros</b></p>	<p>Otros plásticos, incluye: acrílico, policarbonato, fibras polilácticas (poliéster alifático termoplástico), nylon, etc.</p>	

**Anexo B.** Lista de modos de vibración importantes y asignaciones de modos para los espectros ATR FT-IR. Las bandas de absorción enumeradas son representativas de las vibraciones críticas para la identificación del polímero [103]

POLÍMERO	ESTRUCTURA QUÍMICA	BANDAS DE ABSORCIÓN (cm <sup>-1</sup> ) UTILIZADAS PARA LA IDENTIFICACIÓN	ASIGNACIÓN
<b>Tereftalato de polietileno (PETE)</b>		1713	C=O estiramiento
		1241	C -O estiramiento
		1094	C-O estiramiento
		720	Curva aromática CH fuera del plano
<b>Polietileno de alta densidad (HDPE)</b>		2915	C -H estiramiento
		2845	C -H estiramiento
		1472	Curva de CH <sub>2</sub>
		1462	Curva de CH <sub>2</sub>
		730	Balanceo CH <sub>2</sub>
		717	Balanceo CH <sub>2</sub>
<b>Cloruro de polivinilo (PVC)</b>		1427	Curva de CH <sub>2</sub>
		1331	Curva CH
		1255	Curva CH
		1099	C -C estiramiento
		966	Balanceo CH <sub>2</sub>
		616	C -Cl estiramiento
<b>Polietileno de baja densidad (LDPE) o LDPE lineal (LLDPE)</b>	 R = H o alquilo (LLDPE), PE (LDPE)	2915 y 2845	C -H estiramiento
		1467 y 1462	Curva de CH <sub>2</sub>
		1377	CH <sub>3</sub> curva
		730	Balanceo CH <sub>2</sub>
		717	Balanceo CH <sub>2</sub>



**Anexo B. (Continuación).**

POLÍMERO	ESTRUCTURA QUÍMICA	BANDAS DE ABSORCIÓN (CM - 1) UTILIZADAS PARA LA IDENTIFICACIÓN	ASIGNACIÓN
<b>Polipropileno (PP)</b>		2950	C -H estiramiento
		2915	C -H estiramiento
		2838	C -H estiramiento
		1455	Curva de CH <sub>2</sub>
		1377	CH <sub>3</sub> curva
		1166	Curva CH, Balanceo CH <sub>3</sub> , estiramiento C-C
		997	CH <sub>3</sub> balanceo , curva CH <sub>3</sub>
		972	Balanceo CH <sub>3</sub> estiramiento C-C
		840	CH <sub>2</sub> Balanceo, C-CH <sub>3</sub> tramo
		808	Balanceo CH <sub>2</sub> , estiramiento C-C, estiramiento C -CH
<b>Poliestireno (PS)</b>		3024	Estiramiento aromático C-H
		2847	C - H estiramiento
		1601	Estiramiento de anillo aromático
		1492	Estiramiento de anillo aromático
		1451	Curva de CH <sub>2</sub>
		1027	Curva aromática CH
		694	Curva aromática CH fuera del plano
		537	Curva de anillo aromático fuera del plano