

Evaluation and Characterization of Microplastics on Three Sandy Beaches of Lima, Peru

Victor Pretell, MSc¹, Lourdes Pinedo, Ing², Williams Ramos, Ing¹, Elmer Benites, Dr²

¹Universidad Nacional de Ingeniería, Grupo de Procesos Termoquímicos, Perú, vpretell@fip.uni.edu.pe, wramos@fip.uni.edu.pe

²Universidad Cesar Vallejo, Perú, lpv1912@gmail.com, ebenitesa@ucv.edu.pe

Abstract– Microplastics are a potential threat to the environment and human health because of their presence at all levels of the trophic chain. In September 2019, the presence of microplastics was evaluated and characterized in three sandy beaches of the province of Lima, the D'Onofrio, Pescadores and Pucusana beaches. These were selected for being tourist, recreational use and for having docks for artisanal fishing; typical situation of most of the Peruvian coast. The sampling was done on a 100 m transect with six equidistant quadrants, each quadrant was 0.5 m by 0.5 m with 5 cm depth, this resulted in six samples per beach, of which the microplastics were separated by sieving and after by difference of density in a saline solution at the laboratory. It was obtained that at D'Onofrio beach there are 394 ± 42.93 items.m⁻² (19.11 ± 2.89 g.m⁻²), at Pescadores beach 173.33 ± 11.62 items.m⁻² (5.14 ± 0.71 g.m⁻²) and in the Pucusana beach 136 ± 32.56 items.m⁻² (3.95 ± 1.06 g.m⁻²). The classification of the microplastics was carried out according to the particle size, in ranges of: less than 850 µm, between 850 µm and 1000 µm, between 1000 µm and 2000 µm and more than 2000 µm. The most abundant fraction were microplastics between 1000 µm and 2000 µm, followed by those with more than 2000 µm. For the FTIR and thermogravimetry characterization, the microplastics were reclassified by color and shape, and the fraction of microplastics between 1000 µm and 2000 µm was taken for the analysis, it was obtained that most of them were High Density Polyethylene (HDPE).

Keywords– Microplastics, sandy beaches, marine debris, pollution, Peru.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.71>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Evaluación y Caracterización de Microplásticos en Tres Playas Arenosas de Lima, Perú

Victor Pretell, MSc¹, Lourdes Pinedo, Ing², Williams Ramos, Ing¹, Elmer Benites, Dr²

¹Universidad Nacional de Ingeniería, Grupo de Procesos Termoquímicos, Perú, vpretell@fip.uni.edu.pe, wramos@fip.uni.edu.pe

²Universidad Cesar Vallejo, Perú, lpv1912@gmail.com, ebenitesa@ucv.edu.pe

Resumen– Los microplásticos son una potencial amenaza al medio ambiente y a la salud humana por su presencia a todos los niveles de la cadena trófica. En septiembre de 2019, se evaluó la presencia de microplásticos en tres playas arenosas de la provincia de Lima, las playas D'Onofrio, Pescadores y Pucusana. Estas fueron seleccionadas por ser de uso turístico, recreativo y por tener muelles para la pesca artesanal; situación típica de la mayor parte de la costa peruana. El muestreo se realizó en un transecto de 100 m con seis cuadrantes equidistantes, cada cuadrante tenía 0.5 m por 0.5 m con 5 cm de profundidad, esto dio como resultado seis muestras por playa, de las cuales los microplásticos se separaron por tamizado y luego por diferencia de densidad en una solución salina en el laboratorio. Se obtuvo que en la playa D'Onofrio hay 394 ± 42.93 ítems.m⁻² (19.11 ± 2.89 g.m⁻²), en la playa Pescadores 173.33 ± 11.62 ítems.m⁻² (5.14 ± 0.71 g.m⁻²) y en la Playa Pucusana 136 ± 32.56 ítems.m⁻² (3.95 ± 1.06 g.m⁻²). Se clasificaron los microplásticos por tamaño de partícula, en rangos de: menos de 850 µm, entre 850 µm y 1000 µm, entre 1000 µm y 2000 µm y más de 2000 µm. La fracción más abundante fueron los microplásticos entre 1000 µm y 2000 µm, seguidos por los de más de 2000 µm. Para la caracterización por FTIR y termogravimetría, los microplásticos se reclasificaron por color y forma, y la fracción de microplásticos entre 1000 µm y 2000 µm se tomó para el análisis, se obtuvo que la mayoría de ellos eran Polietileno de Alta Densidad (HDPE).

Palabras clave– Microplásticos, playas arenosas, basura marina, contaminación, Perú.

Abstract– Microplastics are a potential threat to the environment and human health because of their presence at all levels of the trophic chain. In September 2019, the presence of microplastics was evaluated and characterized in three sandy beaches of the province of Lima, the D'Onofrio, Pescadores and Pucusana beaches. These were selected for being tourist, recreational use and for having docks for artisanal fishing; typical situation of most of the Peruvian coast. The sampling was done on a 100 m transect with six equidistant quadrants, each quadrant was 0.5 m by 0.5 m with 5 cm depth, this resulted in six samples per beach, of which the microplastics were separated by sieving and after by difference of density in a saline solution at the laboratory. It was obtained that at D'Onofrio beach there are 394 ± 42.93 ítems.m⁻² (19.11 ± 2.89 g.m⁻²), at Pescadores beach 173.33 ± 11.62 ítems.m⁻² (5.14 ± 0.71 g.m⁻²) and in the Pucusana beach 136 ± 32.56 ítems.m⁻² (3.95 ± 1.06 g.m⁻²). The

classification of the microplastics was carried out according to the particle size, in ranges of: less than 850 µm, between 850 µm and 1000 µm, between 1000 µm and 2000 µm and more than 2000 µm. The most abundant fraction were microplastics between 1000 µm and 2000 µm, followed by those with more than 2000 µm. For the FTIR and thermogravimetry characterization, the microplastics were reclassified by color and shape, and the fraction of microplastics between 1000 µm and 2000 µm was taken for the analysis, it was obtained that most of them were High Density Polyethylene (HDPE).

Keywords– Microplastics, sandy beaches, marine debris, pollution, Peru.

I. INTRODUCCIÓN

Los microplásticos son cualquier partícula sólida sintética o matriz polimérica, con forma regular o irregular y con un tamaño que varía de 1 µm a 5000 µm, ya sea de origen primario o secundario y que son insolubles en agua [1]. Los microplásticos primarios o de origen primario son aquellos originalmente fabricados como micro perlas de diferentes tamaños que se emplean en los productos de cuidado personal generalmente como exfoliantes, textiles, medicamentos, abrasivos industriales o como polímeros base para la fabricación de productos plásticos [2], [3], [4]. Los microplásticos secundarios, de lejos los más abundantes en el ambiente, se originan por la fragmentación de los desechos plásticos como resultado de la acción de los procesos de termo oxidación, foto oxidación inducida por los rayos UV, biológicos (biodegradación microbiana), oxidación atmosférica, degradación hidrolítica, así como por la degradación mecánica (abrasiones, flexiones, impactos, etc.). Estos microplásticos incluyen los fragmentos de las fibras textiles provenientes del lavado de ropas de material sintético [2], [5]. Una fuente de microplásticos son las mascarillas desechables usadas para protegerse del COVID-19. Estas se fabrican a partir de polipropileno, polietileno, poliéster, etc., donde el filtro está compuesto de micro o nano fibras de los polímeros mencionados [6].

Los microplásticos ingresan al océano por vías marítimas y terrestres, casi el 80 % proviene de fuentes terrestres como los ríos, escorrentía de aguas pluviales, transporte de basura por el viento, turismo y descargas de aguas residuales; las fuentes basadas en el mar, incluyen las

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.71>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

actividades de pesca, carga y descarga de transporte y comercio entre otras [3].

Los microplásticos adsorben contaminantes químicos a nivel de trazas como los metales pesados compuestos aromáticos policíclicos (PAH), bifenilos policlorados (PCB), pesticidas organoclorados y compuestos medicinales los cuales después son transportados a los seres vivos por ingestión o contacto. Asimismo, los microplásticos pueden lixiviar parte de los aditivos industriales que lo componen como los plastificantes, antioxidantes, retardantes y estabilizantes. Debido a su tamaño ingresan fácilmente a la cadena trófica desde el nivel microscópico hasta los mamíferos, es por ello que han devenido en un problema ambiental agudo [4], [7], [8].

Piñón Colín et al. [3] efectuaron una investigación para cuantificar y caracterizar los microplásticos en 21 playas arenosas de Baja California, México, las muestras se obtuvieron aplicando el protocolo establecido por Besley [9] con modificaciones. Los microplásticos fueron separados empleando el método de la densidad, se identificaron usando un espectrofotómetro de infrarrojos por transformadas de Fourier (FTIR) con un accesorio de reflectancia total atenuada (ATR) para la lectura directa de las muestras. La abundancia promedio de los microplásticos en las muestras fue de 135 ± 92 partículas.kg⁻¹, y las fibras fueron el microplástico más abundante, siendo el 95% del total de los microplásticos identificados. Los principales polímeros fueron poliacrílicos, poliacrilamida, tereftalato de polietileno, poliésteres y nylon.

De la Torre et al. [10] determinaron la contaminación por microplásticos en cuatro playas arenosas populares de la costa de Lima, Perú, el muestreo se hizo en las zonas intermareales y supra litorales según la metodología propuesta por McDermid y McMullen [11]. Se registraron la abundancia de los microplásticos, tipo, tamaño, color y distribución. Los resultados indican que todas las muestras contienen microplásticos de un tamaño comprendido entre 1000 a 4750 μm . La concentración de microplásticos fue de 489.7 ± 143.5 partículas.m⁻² (playa sombrillas), 135.0 ± 25.97 partículas.m⁻² (Agua Dulce), 55.0 ± 14.83 partículas.m⁻² (Pescadores) y 16.67 ± 4.26 partículas.m⁻² (Playa Yuyos). El poliestireno (espumas) fue el tipo de microplástico más abundante (78.3%). El análisis por FTIR reveló que los polímeros presentes fueron el Polietileno de alta densidad, Polipropileno y Poliestireno.

Manrique en su tesis de maestría [12] determinó la concentración de microplásticos en sedimentos fluviales en la desembocadura del río Jequetepeque, departamento de la Libertad, Perú. La zona de estudio forma parte de la cuenca baja del río, aproximadamente los últimos 25 km de recorrido del río hasta su desembocadura. Se tomaron muestras en cuatro estaciones de muestreo de sedimentos (E1, E2, E3 y E4). Se separaron los microplásticos por un protocolo propio que incluyó el tamizado, separación por densidad y oxidación química de la materia orgánica. La identificación de los microplásticos se realizó mediante

espectroscopía Raman y microscopía óptica. Solo los microplásticos identificados por espectroscopía Raman se contabilizaron por microscopía óptica. La cantidad de microplásticos se expresó en ítems.kg⁻¹ de sedimentos secos. La única estación en la que se identificó microplásticos fue la estación E4, donde se encontró un total de 90 ítems.kg⁻¹ de tamaño de 180–500 μm . De acuerdo con la clasificación morfológica, 77.8 % de los microplásticos fueron fragmentos y 22.2 % películas delgadas. De todas las partículas de microplásticos, 50 % fueron Polietileno, 44.4 % Polipropileno y 5.6 % Poliestireno.

Ríos en su trabajo de tesis [13] efectuó la caracterización de los microplásticos en la playa Costa Azul, Callao, Perú, se recolectaron los microplásticos en 9 cuadrantes de 1 m x 1 m x 5 cm de profundidad, distribuidos en una línea de 350 m paralela a la orilla. Las muestras se tamizaron a 106 μm , 850 μm , 2000 μm y mayores a 2000 μm . Los microplásticos se clasificaron por colores y luego se realizó la identificación por análisis espectrofotométrico FTIR. Se obtuvo que la concentración de microplásticos variaba entre 5.7 g.m⁻² a 88.9 g.m⁻² con un valor promedio de 24.05 g.m⁻². El análisis FTIR arrojó que las muestras eran mayoritariamente Polietileno de alta densidad y en menor medida Polipropileno.

Purca y Henostroza [14] determinaron el número y peso por metro cuadrado de fragmentos de microplásticos presentes en cuatro playas arenosas de la costa peruana. Las muestras se tomaron de acuerdo al protocolo del Instituto Tecnológico y Ciencia del Océano de Corea. Cada playa se dividió en dos transectos con tres cuadrantes, para delimitar los cuadrantes se utilizó un marco de 0.5 m por 0.5 m. Las muestras fueron colectadas de la capa superficial con un cucharón y tamizadas usando un tamiz de 1000 μm . Se hallaron fragmentos de plástico duro mayores a 1000 μm que son más del 80 % de cada muestra. La Playa Vesique presentó 40 ítems.m⁻² (0.95 g.m⁻²), la playa Albúfera de Medio Mundo 4.67 ítems.m⁻² (0.50 g.m⁻²), la playa Costa Azul, Ventanilla 463.33 ítems.m⁻² (2.6 g.m⁻²) y la Playa El Chaco presentó 11.33 ítems.m⁻² (0.86 g.m⁻²). Una muestra aleatoria de la playa Costa Azul fue analizada por espectroscopía FTIR, se encontró: 89 % de plástico duro, 7 % de estireno y 2 % pellet negro, 1 % de otras espumas, 1 % polímero, 1 % fibra, y 1 % de láminas transparentes.

En esta investigación se pretende evaluar y caracterizar por espectroscopía FTIR y termogravimetría el microplástico presente en tres playas peruanas, ubicadas en la provincia de Lima, las playas Pescadores (Chorrillos), la playa D'Onofrio (Ancón) y la playa Pucusana (Pucusana), las cuales son de uso turístico, recreativo y de pesca artesanal.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Descripción del área de estudio

1) *Playa D'Onofrio*: Ubicada en la bahía de Ancón en el distrito del mismo nombre, adyacente a un muelle de

pesca artesanal. Está a 24.1 km de la desembocadura del río Chillón y a 35.2 km de la desembocadura del río Rímac, ambas en el litoral del Callao. Entre la salida del río Chillón y el río Rímac, está el colector de Comas, que deposita las aguas servidas de las zonas del Callao y Lima norte. Está localizada a $11^{\circ}46'20.5''S$, $77^{\circ}10'32.2''W$, los vientos predominantes son hacia Noreste (NE) y el sustrato es de arena media.

2) *Playa Pescadores*: Ubicada en el distrito de Chorrillos, esta playa es visitada en varias temporadas del año con fines turísticos y recreativos, cuenta con un muelle para la pesca artesanal, se localiza a $12^{\circ}09'56.3''S$, $77^{\circ}01'48.2''W$, con vientos predominantes en dirección Oeste (W) y sustrato de arena media.

3) *Playa Pucusana*: Ubicada en el distrito de Pucusana, a la altura del km 60 de la Panamericana Sur, es un balneario turístico que cuenta con un muelle para la pesca artesanal, se localiza a $12^{\circ}28'51.6''S$, $76^{\circ}47'56.4''W$, los vientos están en dirección Noreste (NE) y el sustrato es de arena media.

En la Fig. 1 se detalla un mapa con las ubicaciones de todas las playas en las cuales se tomaron muestras.

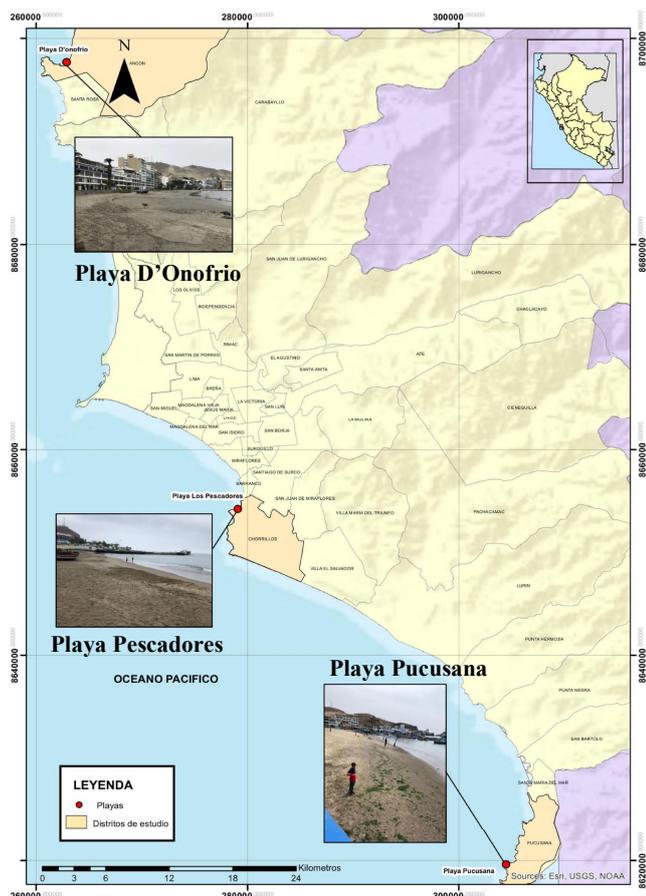


Fig. 1 Ubicación de las playas monitoreadas

B. Toma de muestras

Se siguió la metodología propuesta por Hidalgo Ruz [15], la cual según la revisión bibliográfica es la más empleada, las muestras se obtuvieron del sector supralitoral de las playas, se tomó un transecto de 100 m paralelo a la orilla, específicamente en el área donde se instalan los bañistas y pescadores de la zona, en el cual se ubicaron seis cuadrantes de 0.5 m x 0.5 m separados entre sí por una distancia de 20 m. La toma de muestras en cada playa se realizó en tres sábados seguidos, en setiembre del 2019 a las 10:00 a.m. Las muestras fueron colectadas de la capa superficial con la ayuda de una pala, hasta una profundidad de 5 cm, se tamizaron usando un tamiz de $106 \mu m$, los fragmentos atrapados en el tamiz se guardaron en una bolsa con cierre para un análisis posterior. Se removieron los desechos orgánicos, tapas, colillas de cigarro entre otros, en las Fig. 2, Fig. 3 y Fig. 4 se detalla la ubicación de los puntos de muestreo.



Fig. 2 Ubicación de los puntos de muestreo playa D'Onofrio



Fig. 3 Ubicación de los puntos de muestreo en playa Pescadores

C. Extracción de los microplásticos

En el laboratorio se procedió a tamizar las muestras recolectadas, en cuatro fracciones: menor a 850 μm , entre 850 y 1000 μm , entre 1000 y 2000 μm y mayor a 2000 μm , obteniéndose microplásticos variados, los cuales fueron posteriormente pesados.

Se preparó una solución saturada de NaCl, pesando 120 g en una balanza analítica y disolviéndose en un litro de agua destilada, se agitó y filtró para eliminar la sal no disuelta. Luego se procedió a añadir cada muestra a 200 mL de la solución salina, se agitó y luego se mantuvo en reposo por quince minutos para que la arena sedimentara y los plásticos queden flotando, se filtró el sobrenadante en un filtro de 45 μm . El filtro fue conservado en una placa de Petri para su recuento. Cada filtro fue conservado por separado.



Fig. 4 Ubicación de los puntos de muestreo en playa Pucusana

D. Caracterización de los microplásticos

1) *Concentración*: Se contó la cantidad de ítems y se pesó cada muestra para reportar el contenido de microplásticos en ítems.m^{-2} y g.m^{-2} .

2) *Análisis del espectro infrarrojo por transformadas de Fourier (FTIR)*: Se realizó el análisis del espectro infrarrojo por FTIR con un espectrofotómetro FTIR IR-Affinity de Shimadzu acoplado a un ATR MIRacle de Pike Technologies. Los espectros se realizaron en un rango de número de onda de 500 a 4000 cm^{-1} con una resolución de 4 cm^{-1} y 45 escaneos. Los espectros se compararon con una librería de espectros IR de patrones de trabajo hechas en base a los plásticos polietileno de alta densidad (HDPE), polietileno de baja densidad (LDP), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), tereftalato de polietileno (PET), poliestireno (PS) y policarbonatos de uso comercial local y los patrones propios del software IRsolution de Shimadzu.

3) *Termogravimetría*: El análisis termogravimétrico no isotérmico se efectuó en un analizador TGA 4000 de Perkin Elmer. Se empleó una rampa de calentamiento desde temperatura ambiente a 105 $^{\circ}\text{C}$ con una velocidad de

calentamiento de 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, seguida de una isoterma a 105 $^{\circ}\text{C}$ por 5 minutos para eliminar la humedad residual, luego se llevó de 105 $^{\circ}\text{C}$ a 800 $^{\circ}\text{C}$, para ello se calentó a 20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, cuando se llegó a 800 $^{\circ}\text{C}$ se mantuvo por 2 minutos. Los datos obtenidos en el análisis termogravimétrico fueron procesados con el software Pyris v 13, se realizaron un mínimo de dos réplicas de cada ensayo. Similarmente al caso del FTIR se corrieron previamente una serie de ensayos a plásticos comerciales de uso común para habilitar una librería de trabajo contra la cual se compararon los termogramas de los microplásticos.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Evaluación de los microplásticos

En la playa D'Onofrio se obtuvieron 394 ± 42.93 ítems.m^{-2} (19.11 ± 2.89 g.m^{-2}), en la playa Pescadores 173.33 ± 11.62 ítems.m^{-2} (5.14 ± 0.71 g.m^{-2}) y en la playa Pucusana 136 ± 32.56 ítems.m^{-2} (3.95 ± 1.06 g.m^{-2}). De la Torre et al. [10] reportaron para la playa Pescadores 55 ± 14.83 ítems.m^{-2} lo que es bastante diferente a lo hallado en esta investigación, ellos realizaron su investigación de marzo a abril del 2018 y la presente investigación se efectuó en setiembre de 2019, las condiciones climáticas son diferentes y las actividades de pesca pueden estar influenciando los resultados. Asimismo, en los meses de verano es más frecuente el servicio de limpieza de las playas, lo que no ocurre los meses de invierno por la poca afluencia de bañistas.

Las investigaciones de Purca [14] y De la Torre [10] muestran que la concentración de microplásticos en las playas arenosas de Perú están entre 4.67 a 463.33 ítems.m^{-2} y 16.67 a 489.7 ítems.m^{-2} respectivamente, los valores hallados en esta investigación se encuentran entre 136 a 394 ítems.m^{-2} , lo que muestra concordancia con los resultados hallados por los investigadores citados. Es interesante señalar que las tres investigaciones realizadas cubren un espacio temporal diferente, los meses de junio del 2014 y mayo del 2015 para la investigación de Purca, los meses de marzo y abril del 2018 para el estudio de De la Torre y el mes de setiembre del 2019 para esta investigación. Los efectos climatológicos son diferentes para cada época del año y pese a ello se registran rangos de valores similares en la concentración de microplásticos. Asimismo, la metodología de muestreo es diferente en los tres casos, Purca no reporta la profundidad de muestreo y menciona que solo se registraron los microplásticos mayores a 1000 μm y menores a 2500 μm , De la Torre muestreó hasta una profundidad de 1 cm y tomó los microplásticos mayores a 1000 μm y menores a 4750 μm . Besley [9] menciona que tanto la profundidad como la ubicación del transecto donde se distribuyen los cuadrantes de muestreo no son variables críticas al momento de cuantificar los microplásticos, pero [16] menciona que la ubicación del transecto influye en la cuantificación de los microplásticos. En la Tabla I se puede apreciar que la fracción más abundante es aquella que

se encuentra en el rango de 1000 a 2000 μm para todas las playas evaluadas.

TABLA I
CLASIFICACIÓN DEL MICROPLÁSTICO POR TAMAÑO DE PARTÍCULA

Tamaño partícula (μm)	D'Onofrio (%)	Pescadores (%)	Pucusana (%)
<850	2.95	2.26	2.72
850 a 1000	26.62	16.11	15.74
1000 a 2000	34.51	50.89	45.11
>2000	35.93	30.74	36.43
Total	100	100	100

B. Análisis FTIR

Para el análisis FTIR se consideró la fracción mayor a 1000 μm por la facilidad de manipulación. Esta fracción es la más abundante según los datos mostrados en la Tabla I. Los microplásticos fueron reclasificados por forma, color (Negro, Celeste, Amarillo, Rojo, Azul, Blanco, Verde), luego se examinaron en el espectrofotómetro FTIR.

En la Tabla II se presentan los resultados del análisis FTIR a las muestras de microplásticos de la playa D'Onofrio. El microplástico más abundante es el HDPE.

TABLA II
CARACTERIZACIÓN FTIR DE LOS MICROPLÁSTICOS DE LA PLAYA D'ONOFRIO

Microplásticos	Forma	Color	Tipo de plástico
DON01	Laminar	Amarillo	HDPE
	Irregular	Amarillo	HDPE
DON02	Laminar	Azul	HDPE
DON03	Laminar	Negro	HDPE
DON04	Laminar	Rojo	PP
	Irregular	Rojo	HDPE
DON05	Laminar	Celeste	HDPE
DON06	Irregular	Blanco	HDPE
	Laminar	Blanco	PP
DON07	Laminar 1	Verde	HDPE
	Laminar 2	Verde	PP

Se aprecia en la Fig. 5 que los espectros de las muestras de la playa D'Onofrio coinciden con el espectro del patrón de HDPE (línea negra) se aprecian claramente tres grupos de bandas, la primera se ubica entre 2800 a 2950 cm^{-1} y corresponde a movimientos de tensión del enlace C-H, la segunda es la banda de 1500 cm^{-1} que es la tensión C-C y finalmente se tiene un movimiento de flexión en la banda de 700 cm^{-1} . Podemos ver que todos los espectros tienen bandas coincidentes en las bandas anteriormente mencionadas. Las bandas no coincidentes se deben probablemente a que los microplásticos al ser sometidos al medio ambiente y por efectos del clima (viento, radiación

solar, etc.) se van degradando y pierden su composición original lo que se refleja en el espectro [5]. Asimismo, se debe considerar que el patrón de HDPE está hecho de plásticos comerciales por lo que también hay variaciones por los aditivos y colorantes propios de cada muestra.

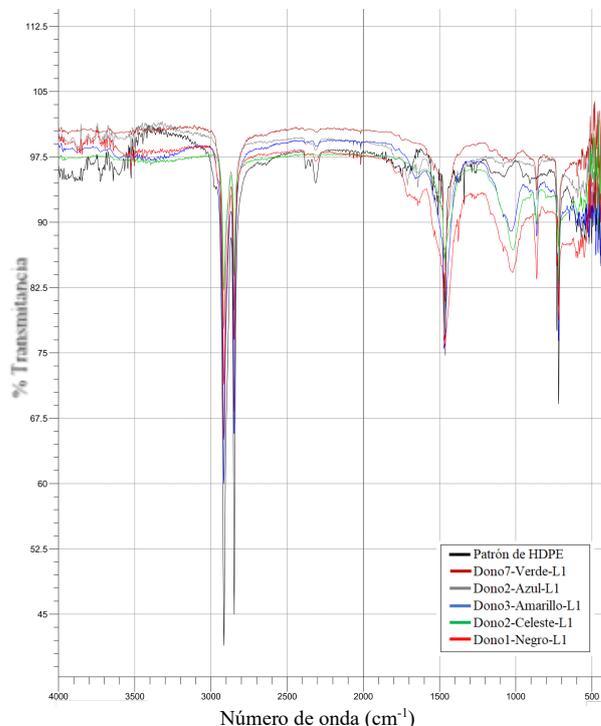


Fig. 5 Espectro FTIR del microplástico de la playa D'Onofrio de forma laminar/irregular de color verde, azul, amarillo, celeste, negro

En la Tabla III se presentan los resultados del análisis FTIR a las muestras de microplásticos de la playa Pescadores, el plástico predominante es el HDPE.

TABLA III
CARACTERIZACIÓN FTIR DE LOS MICROPLÁSTICOS DE LA PLAYA PESCADORES

Microplásticos	Forma	Color	Tipo de plástico
PES01	Laminar	Blanco	PP
PES02	Laminar	Translucido	HDPE
PES03	Laminar 1	Negro	PP
	Laminar 2	Negro	HDPE
PES04	Laminar	Amarillo	HDPE
PES05	Laminar	Verde	HDPE
PES06	Laminar 1	Rojo	PP
	Laminar 2	Rojo	HDPE
PES 07	Laminar	Azul	HDPE

En la Fig. 6 se muestran los espectros FTIR del microplástico de la playa Pescadores referidos al PP,

apreciamos que la señal del patrón (línea azul) es más intensa. Se identifican tres bandas, la primera de las cuales está entre 2900 a 3000 cm^{-1} y que corresponde a los movimientos de tensión de los enlaces C-H a 2900 cm^{-1} , la segunda banda se ubica entre los 1400 a 1500 cm^{-1} y es debida a los movimientos de tensión C-C, la última banda se da entre 1200 a 1000 cm^{-1} y se debe a los movimientos de flexión del $-\text{CH}_3$. Vemos que los microplásticos siguen el mismo patrón, pero con menor intensidad. Esto se debe al intemperismo que altera sus propiedades físicas y químicas [2], [5].

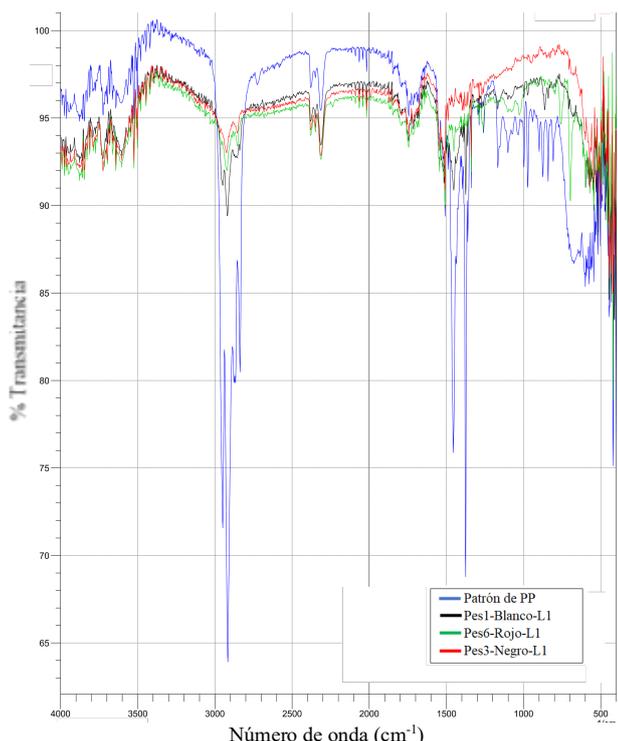


Fig. 6 Espectro FTIR del microplástico de la playa Pescadores de forma laminar/irregular y de color blanco, rojo y negro

En la Tabla IV se muestran los resultados del análisis FTIR a los microplásticos de la playa Pucusana, la mayoría son fragmentos laminares irregulares de HDPE y en menor cuantía de PP. En las tres playas predomina el HDPE.

TABLA IV
CARACTERIZACIÓN FTIR DE LOS MICROPLÁSTICOS DE LA PLAYA PUCUSANA

Microplásticos	Forma	Color	Tipo de plástico
PUC01	Laminar	Negro	HDPE
PUC02	Laminar	Amarillo	PP
PUC03	Laminar	Azul	HDPE
PUC04	Laminar	Blanco	HDPE
PUC05	Laminar	Verde	HDPE
PUC06	Laminar	Rojo	PP

C. Análisis termogravimétrico

El análisis termogravimétrico es una técnica que nos permite determinar si el microplástico analizado deriva de algún polímero en específico, si las curvas son similares o la temperatura de mayor descomposición es parecida entonces se trataría del mismo material. En la Fig. 7 se muestra la curva para el TG del patrón de trabajo del HDPE (en rojo) que grafica la pérdida de peso versus la temperatura y la curva (en negro) del microplástico, podemos apreciar que ambas curvas corren paralelas hasta los 300 °C aproximadamente, y a partir de esa temperatura divergen ligeramente hasta los 486 °C donde se superponen hasta los 500 °C y a partir de allí van paralelas, luego se ve que alrededor de los 530 °C ambas curvas van paralelas descomponiéndose más el patrón (1.2 %) que el microplástico (8.2 %).

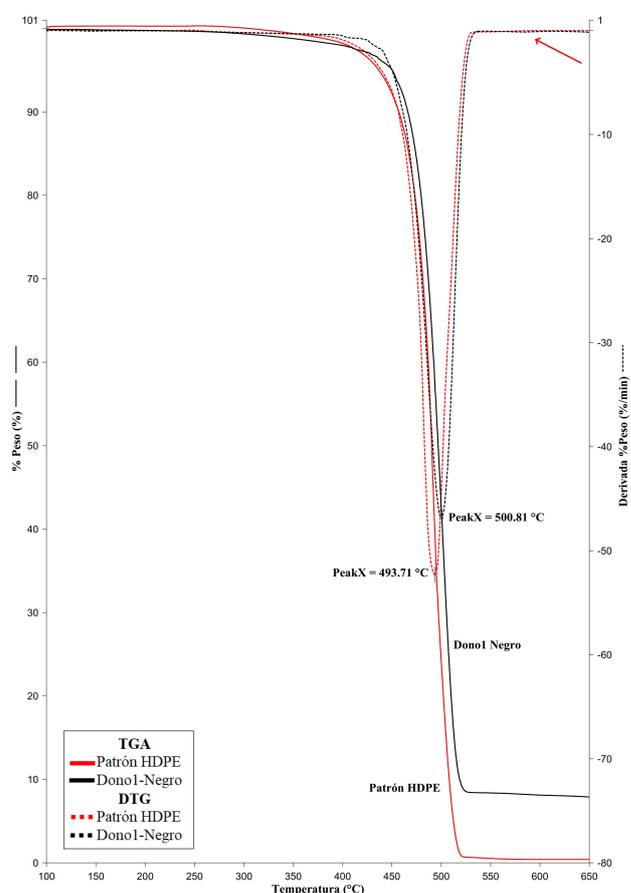


Fig. 7 Curvas TG y DTG del microplástico de la playa D'Onofrio versus el patrón de HDPE

La curva DTG (derivada de la TG) muestra un solo pico a los 493.71 °C para el patrón y a 500.81 °C para el microplástico, este comportamiento indica claramente que el microplástico deriva de un tipo de HDPE y que las degradaciones sufridas han alterado parcialmente su comportamiento térmico, investigaciones previas [17] han

demostrado que los microplásticos expuestos al ambiente pueden lixiviar parte de sus componentes, eso explicaría la ligera variación en la temperatura de máxima descomposición.

En la Fig. 8 se muestran las curvas DTG de una muestra de microplástico de la playa Pescadores (fragmento de color rojo que presenta una mala señal IR) y la comparación con los patrones de trabajo (PS, PP, LDPE y HDPE). Claramente se aprecia que la señal del microplástico puede ser LDPE o HDPE, una vez que se cuantifica el pico se aprecia que es más cercano al HDPE.

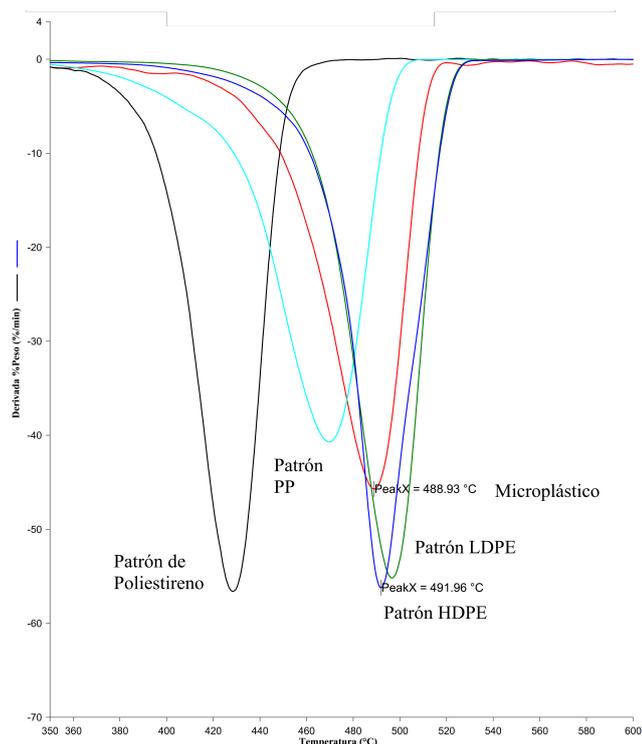


Fig. 8 Curvas DTG de patrones de trabajo y microplástico de la playa Pescadores

IV. CONCLUSIONES

Se evaluó el contenido de microplásticos en tres playas arenosas de la ciudad de Lima, Perú. En la playa D'Onofrio, se determinaron concentraciones de microplásticos de 394 ± 42.93 ítems. m^{-2} (19.11 ± 2.89 g. m^{-2}), en la playa Pescadores 173.33 ± 11.62 ítems. m^{-2} (5.14 ± 0.71 g. m^{-2}) y en la playa Pucusana 136 ± 32.56 ítems. m^{-2} (3.95 ± 1.06 g. m^{-2}).

Los microplásticos más abundantes son los de que se encuentran en el rango de $1000 \mu m$ y $2000 \mu m$, seguidos por los de más de $2000 \mu m$.

La caracterización FTIR y termogravimétrica de los microplásticos se realizó a la subfracción más abundante que fue la ubicada entre 1000 a $2000 \mu m$, la mayor parte fueron identificados como Polietileno de alta densidad

(HDPE), aunque se registró la presencia minoritaria de polietileno de baja densidad (LDPE) y Polipropileno (PP).

Los trabajos futuros están enfocados en extender esta investigación a las playas del norte peruano donde se desarrollan actividades de extracción de petróleo y realizar muestreos periódicos en diferentes épocas del año para evaluar el efecto de la estacionalidad en la concentración de los microplásticos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica y al Grupo de Investigación en Procesos Termoquímicos de la UNI por el apoyo prestado para la realización de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] J. P. G. L. Frias and R. Nash, "Microplastics: Finding a consensus on the definition," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 138, no. September 2018, pp. 145–147, 2019, doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.11.022.
- [2] A. L. Andrad, "The plastic in microplastics: A review," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 119, no. 1, pp. 12–22, 2017, doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.01.082.
- [3] T. de J. Piñon-Colin, R. Rodriguez-Jimenez, M. A. Pastrana-Corral, E. Rogel-Hernandez, and F. T. Wakida, "Microplastics on sandy beaches of the Baja California Peninsula, Mexico," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 131, no. March, pp. 63–71, 2018, doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.03.055.
- [4] H. Aslam, T. Ali, M. M. Mortula, and A. G. Attaelmanan, "Evaluation of microplastics in beach sediments along the coast of Dubai, UAE," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 150, no. November 2019, 2020, doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.110739.
- [5] M. González-Hernández, C. Hernández-Sánchez, J. González-Sálamo, J. López-Darías, and J. Hernández-Borges, "Monitoring of meso and microplastic debris in Playa Grande beach (Tenerife, Canary Islands, Spain) during a moon cycle," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 150, no. November 2019, 2020, doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.110757.
- [6] O. O. Fadare and E. D. Okoffo, "Covid-19 face masks : A potential source of microplastic fibers in the environment," *Sci. Total Environ.*, vol. 737, p. 140279, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140279.
- [7] G. E. De-la-Torre, "Microplastics: an emerging threat to food security and human health," *J. Food Sci. Technol.*, 2019, doi: 10.1007/s13197-019-04138-1.
- [8] G. E. De-la-Torre, D. C. Dioses-Salinas, B. L. Pérez-Baca, and L. Santillán, "Microplastic abundance in three commercial fish from the coast of Lima, Peru," *Brazilian J. Nat. Sci.*, vol. 2, no. 3, p. 171, 2019, doi: 10.31415/bjns.v2i3.67.
- [9] A. Besley, M. G. Vijver, P. Behrens, and T. Bosker, "A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 114, no. 1, pp. 77–83, 2017, doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.08.055.
- [10] G. E. De-la-Torre *et al.*, "Abundance and distribution of microplastics on sandy beaches of Lima, Peru," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 151, no. January, p. 110877, 2020, doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.110877.
- [11] K. J. McDermid and T. L. McMullen, "Quantitative analysis of small-plastic debris on beaches in the Hawaiian archipelago," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 48, no. 7–8, pp. 790–794, 2004, doi: 10.1016/j.marpolbul.2003.10.017.
- [12] R. Manrique, "Microplásticos en sedimentos fluviales de la cuenca baja y desembocadura del río Jequetepeque, Perú," Pontificia Universidad Católica del Perú, 2019.
- [13] D. Rios Vela, "Caracterización de los microplásticos e identificación

de su origen, en el balneario Costa Azul, Ventanilla – Callao 2017,” Universidad Cesar Vallejo, 2017.

- [14] S. Purca and A. Henostroza, “Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Peru,” *Rev. Peru. Biol.*, vol. 24, no. 1, pp. 101–106, 2017, doi: 10.15381/rpb.v24i1.12724.
- [15] V. Hidalgo-Ruz, L. Gutow, R. C. Thompson, and M. Thiel, “Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 46, no. 6, pp. 3060–3075, 2012, doi: 10.1021/es2031505.
- [16] J. C. Prata, J. P. da Costa, A. C. Duarte, and T. Rocha-Santos, “Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review,” *TrAC - Trends Anal. Chem.*, vol. 110, pp. 150–159, 2019, doi: 10.1016/j.trac.2018.10.029.
- [17] J. Wang, Z. Tan, J. Peng, Q. Qiu, and M. Li, “The behaviors of microplastics in the marine environment,” *Mar. Environ. Res.*, vol. 113, pp. 7–17, 2016, doi: 10.1016/j.marenvres.2015.10.014.