

Quantification and characterization of atmospheric microplastics in a coastal urban area of the city of Lima, Perú

Jhomara Palomino López, Bachelor in Environmental Engineering¹, Irene Pasquel Vela, Bachelor in Environmental Engineering², Valeria M. Paz Aparicio, Master in Environmental Sciences³ and Anita Arrascue Lino, Master in Environmental Development⁴

^{1,2,4} Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú,

³ Escuela de Biología, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú

u201824226@upc.edu.pe¹, U201711936@upc.edu.pe², pcbvpaz@upc.edu.pe³ and anita.arrascue@upc.edu.pe⁴

Abstract– Microplastics are currently considered an emerging problem. That are mainly associated with the excessive use and poor disposal of plastic waste, a problem that has worsened worldwide in recent decades. Studies on the presence of microplastics are limited due to the lack of knowledge on their behaviour and incidence in ecosystems, especially in the atmosphere, and on their consequences on human health. We were conducted a study in a coastal urban area of the city of Lima-Peru, with the main of quantifying the presence of atmospheric microplastics and identifying their morphological characteristics such as shape, size and colour. The result obtained was in the presence of 1598 microplastic particles (in 30 days of monitoring), 68% were fragment type, 22% fiber type and 10% sphere type. The predominant colours were blue and green, and the average size found ranged from 2.495 - 216 µm. Meteorological conditions were also considered in relation to contaminant deposition. The study is one of the first carried out in Peru, so it is expected that the information generated will be useful to obtain more knowledge about this new pollutant.

Keywords– Atmospheric microplastic, characterization, atmospheric pollution, deposition

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Cuantificación y caracterización de microplástico atmosférico en una zona urbana costera de la ciudad de Lima, Perú

Jhomara Palomino López, Bachiller en Ingeniería y Gestión Ambiental¹, Irene Pasquel Vela, Bachiller en Ingeniería y Gestión Ambiental², Valeria M. Paz Aparicio, Maestro en Ciencias Ambientales³ and Anita Arrascue Lino, Magister en Desarrollo Ambiental⁴

^{1,2,4} Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú,

³ Escuela de Biología, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú
u201824226@upc.edu.pe¹, U201711936@upc.edu.pe², pcbvpaz@upc.edu.pe³ y anita.arrascue@upc.edu.pe⁴

Resumen— Los microplásticos son considerados en la actualidad como un problema emergente. Se encuentran asociados principalmente al uso excesivo y mala disposición final de los residuos plásticos, problema agudizado a nivel mundial en las últimas décadas. Actualmente el estudio de la presencia de microplásticos es limitado debido a que no existe mayor conocimiento sobre su comportamiento e incidencia en los ecosistemas, especialmente en la atmósfera y sobre cuáles son sus consecuencias en la salud humana. Por ello, realizamos un estudio en una zona urbana costera de la ciudad de Lima-Perú, con el objetivo de cuantificar la presencia de microplástico atmosférico e identificar sus características morfológicas: forma, tamaño y color. La investigación dio como resultado la presencia de 1598 partículas plásticas (en 30 días de monitoreo), donde el 68% fue del tipo fragmento, 22% tipo fibra y 10% tipo esfera. Los colores predominantes encontrados fueron el azul y verde, y el tamaño promedio de microplásticos oscilaba entre los 2.495 - 216 μm . También consideramos las condiciones meteorológicas para relacionarlas con la deposición del contaminante. El estudio es uno de los primeros realizados en el Perú, por lo que se espera que la información generada sea de utilidad para obtener mayor conocimiento sobre este nuevo contaminante.

Palabras clave— microplástico atmosférico, caracterización, contaminación atmosférica, deposición.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso masivo del plástico ha ocasionado un problema creciente de contaminación que amenaza los diversos ecosistemas (suelo, agua, aire) y a la salud humana. A esto se suma que el plástico es un material de descomposición lenta y de largo plazo (se dice que su descomposición puede tardar entre 150 y 1.000 años) lo cual está provocando múltiples daños aún poco conocidos y de reciente cuantificación [1].

Los microplásticos son el resultado de la fragmentación del plástico y que por su tamaño puede llegar a ser menor a 5mm, llegando a convertirse en partículas muy finas de menor densidad como son los nanoplásticos (menores a 1 μm) [2]. Los microplásticos pueden ser categorizados como primarios y secundarios, estos últimos son los más comunes en términos de contaminación por plásticos [3].

Los microplásticos primarios son los que desde su inicio se han fabricado en tamaños pequeños y que se encuentran presentes en productos de consumo diario como cremas de exfoliación, ropa sintética, pasta de dientes, envases de tecnopor, entre otros. En cambio, los microplásticos secundarios son el resultado de la fragmentación de diferentes residuos de plástico comunes como bolsas, botellas, tapers, cubiertos, entre otros [4] [5].

Recientemente los microplásticos han sido identificados como nuevos contaminantes (emergentes), ya que su presencia ha venido alterando las funciones ecológicas de los ecosistemas y contaminando, las cadenas alimenticias y finalmente a los seres humanos. Su dispersión y transporte en el ambiente se da tanto por el medio acuático como por la atmósfera, en este último se ve influenciado por la dinámica del viento, las masas de aire más lentas y las precipitaciones (condiciones climáticas), que permiten finalmente su deposición.

Dependiendo de la fuente de emisión, estas partículas son evidenciadas de diferentes formas: fragmentos, fibras, espuma, películas y gránulos y pueden variar de acuerdo con su longitud, diámetro, color y tipo de polímero [6]. Sin embargo, la identificación de las posibles fuentes de emisión es un proceso complejo y con métodos poco conocidos, ya que pueden provenir del parque automotor, la industria textil, la industria del plástico, todo ello debido a la densidad poblacional de un determinado lugar [7]. De igual manera, dependiendo de las condiciones climáticas los microplásticos menores a 10 μm pueden viajar a largas distancias, por ello, diversos estudios han identificado un diferencial de deposición en temporadas de verano, invierno, otoño o primavera [8].

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Por sus características y tamaño, tienen la facilidad de ingresar a los pulmones y, en consecuencia, causar lesiones al sistema respiratorio afectando generalmente a personas vulnerables o alérgicas. Pueden ingresar con facilidad a través de la ingesta y/o inhalación (nariz y/o boca) llegando al sistema respiratorio como cualquier otro contaminante atmosférico. Las personas pueden presentar síntomas de inflamación y toxicidad, y a su vez, enfermedades como afecciones bronquiales, neumonía crónica y alveolitis alérgica [9]. Se ha evidenciado que los microplásticos menores a 10 μm pueden depositarse en la cavidad nasal y garganta y los menores a 2.5 μm pueden depositarse en la tráquea, tubos bronquiales, tejido pulmonar y los alveolos [10].

Evidencias científicas provenientes de diversas regiones del mundo corroboran la presencia de microplásticos en la atmósfera, particularmente en grandes ciudades con alta densidad poblacional. Un estudio realizado en la ciudad de Shanghái, China, en el año 2021, detectó altas concentraciones de microplástico suspendido en la atmósfera (0.93 $^1\text{N/m}^3$) encontrándose partículas menores a 1 mm, cuyas posibles fuentes de emisión podrían estar relacionadas con la incineración incompleta de los residuos sólidos y/o lavado de ropa doméstica [8]. En otra ciudad costera del delta del río Yangtze, China, se detectó una concentración promedio de microplásticos de 47.1 N/m^3 lo que la convierte en la concentración más alta registrada hasta el momento [11]. Para el caso de Latinoamérica y el Caribe, el Perú es uno de los países con peor calidad de aire y con una alta contaminación atmosférica. De acuerdo con el más reciente informe mundial sobre la calidad del aire en el 2022 realizado por la organización IQAir³, el Perú fue clasificado en el puesto 38, el puesto más alto para países latinoamericanos con un nivel de concentración media ponderada por población de $\text{PM}_{2.5}$ de 23.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el caso de la ciudad de Lima se contó con una exposición promedio de contaminación por $\text{PM}_{2.5}$ de 25.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sobrepasando la media que recomienda la OMS de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ media anual y 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ media de 24 horas.

El microplástico atmosférico en el Perú no se encuentra considerado dentro de las normativas ambientales vigentes, ya que los Estándares de Calidad Ambiental del Aire² sólo mide el material particulado con diámetro menor a 10 y 2.5 micras.

Al ser una problemática emergente, y al no contar con una metodología predeterminada para estudiar este contaminante, así como la falta de información y de datos, es pertinente empezar a generar conocimiento y fomentar este tipo de estudios sobre el tema, considerando además que la ciudad de

Lima y sus distritos se encuentran en un estado de contaminación atmosférica constante. Por lo que la presente investigación tiene como objetivo cuantificar y evaluar la presencia del microplástico atmosférico en un distrito costero de la ciudad de Lima-Perú (Chorrillos). Para ello, se calculó la cantidad de microplástico atmosférico con respecto a la presencia de material particulado y se identificó sus características morfológicas: tamaño, forma y color con el método de conteo de partículas en fluorescencia. También se consideraron las condiciones meteorológicas para relacionarlas con la deposición. En consecuencia, conocer sobre la dinámica del microplástico atmosférico ayudará a mejorar las herramientas e instrumentos de gestión ambientales nacionales e internacionales relacionadas a esta temática.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Zona de estudio

El estudio se llevó a cabo en el distrito de Chorrillos, departamento de Lima, Perú. Es uno de los 43 distritos de la ciudad de Lima el cual se sitúa en la zona costera. Su superficie es de 38,94 km^2 y su altitud promedio alcanza los 45 msnm. Tiene una población promedio de 373 332 habitantes, y una densidad poblacional de 8 069.88 hab./ km^2 (figura 1).

Para el desarrollo del estudio se utilizaron los datos de precipitación, humedad, temperatura, dirección y velocidad del viento provenientes de la estación meteorológica situada en las instalaciones de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, sede Chorrillos. Para la elaboración de la Rosa de Viento, se empleó el Software WRPlot (figura 7).



Fig. 1. Ubicación Geográfica del distrito de Chorrillos.

B. Muestreo

El punto de muestreo se ubicó en el último piso (piso 3) del pabellón H de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). Este punto se encuentra aproximadamente a 9 metros del suelo. Para llevar a cabo el monitoreo del microplástico se optó por emplear un método activo para la recolección de material particulado con diámetro aerodinámico igual o menor a 10 micras (PM_{10}), para ello se

¹ Newtons por metro cúbico (N/m^3): es el peso específico indicado la cantidad de la sustancia o partícula dividiendo el volumen que ocupa. De acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades, se mide en kilogramos fuerza por metro cúbico.

³ IQAir: empresa de tecnología suiza dedicada a recolectar información sobre la calidad del aire mundial con la finalidad de que, a través de la información y colaboración, las organizaciones, gobiernos e individuos puedan mejorar su calidad de aire.

² De acuerdo con la normativa del Perú, los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) son indicadores de la calidad del aire, los cuales establecen la concentración máxima de diferentes sustancias, que al sobrepasarse pueden afectar significativamente a la salud humana y de los ecosistemas (Decreto Supremo N°003-2017-MINAM)

tomó como base los procedimientos establecidos en el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire (2019). Se utilizó el equipo de alto volumen (HI-VOL) de la marca Thermo Scientific modelo BVBBB. El equipo se mantuvo en funcionamiento por 24 horas durante treinta días y se inició el 1 de setiembre del 2023. Para este proceso se siguió las directrices del Protocolo y del Instruction Manual High Volume PM10 Air Sampler Part Number 100042-00 (figura 2).

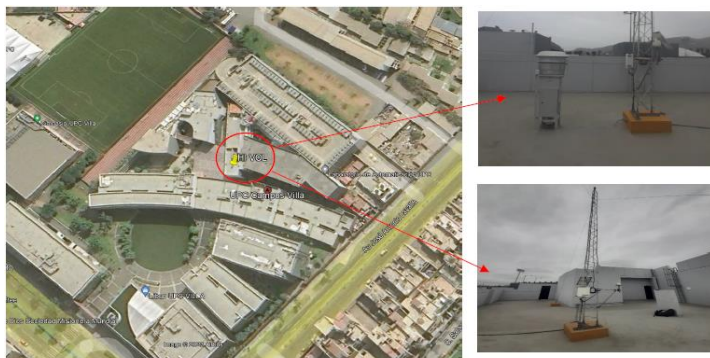


Fig.2. Ubicación del Equipo de Muestreo de Aire (HI-VOL) y Estación Meteorológica

Para la recolección de muestras, se emplearon filtros de cuarzo con dimensiones 8x10 de la marca SAMLEX. Estos filtros fueron cuidadosamente colocados en el portafiltro del equipo HI-VOL utilizando guantes de nitrilo para evitar la contaminación de la muestra. Cabe resaltar que el equipo se apagaba cada 24 horas para proceder con el cambio manual de los filtros durante los 30 días que duró el monitoreo.

Para el cambio de filtros, se procedió a doblar la muestra por la mitad de manera uniforme, evitando en todo momento el contacto directo con la bolsa hermética. Posteriormente, la muestra doblada fue etiquetada de acuerdo con los lineamientos de la cadena de custodia, garantizando así su trazabilidad. Luego, la muestra fue trasladada al laboratorio donde se almacena en un desecador hasta su próxima manipulación.

C. Pretratamiento de muestras

Dada la ubicación costera de la zona de estudio, las muestras se sometieron a un pretratamiento previo al análisis de laboratorio. Este procedimiento tenía como objetivo eliminar la materia orgánica, ya que la presencia de sedimentos de playa en las muestras de filtro podía alterar los resultados del análisis [12].

Las muestras fueron lavadas exhaustivamente con agua destilada a una proporción menor a 150 ml por muestra. Después, se procedió al tratamiento de digestión, el cual consistió en agregar 30 ml de Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2) al 30% a cada muestra. La muestra se mantuvo en agitación constante mediante un agitador magnético a una temperatura de 70 °C durante 30 minutos, esto con la finalidad de eliminar completamente la materia orgánica (figura 3) [13].



Fig.3. Tratamiento de digestión y filtración de muestras

Luego de transcurrido el periodo de agitación y de que las soluciones alcanzasen la temperatura ambiente, se inició el proceso de filtración. Este proceso consistió en colocar los filtros de membrana PTFE sin doblarlos sobre un embudo, de manera que cubrieran completamente su superficie, utilizando para ello pinzas esterilizadas. Esta disposición aseguraba una buena estabilidad durante el proceso. La filtración se prolongó durante un periodo aproximado de 1 hora (figura 3).

Finalizada la filtración, los filtros húmedos se transfirieron a las placas Petri las cuales se introdujeron en un horno de secado a una temperatura de 40 °C durante 30 minutos aproximadamente. Una vez secos, los filtros se almacenaron en un desecador para su posterior análisis. (figura 4)



Fig.4. Tratamiento de secado y almacenamiento de muestras

D. Análisis de laboratorio

Con el objetivo de cuantificar los microplásticos para cada día de muestreo, se empleó la metodología de cuadrícula aleatoria. Para ello, se colocó sobre cada filtro una plantilla cuadrada compuesta por 74 cuadrados de 3.1 mm x 3.1 mm de dimensión. Después, se seleccionaron aleatoriamente 60 cuadrados en cada filtro. Para facilitar la visualización de los cuadrados bajo el microscopio, se delimitaron utilizando rotuladores de colores. Estos rotuladores fluorescentes permitían la observación de los cuadrados bajo un microscopio de fluorescencia con una ampliación de 40x empleando luz ultravioleta (UV). La superficie iluminada por

la luz UV correspondía a un único cuadrado de la plantilla (figura 5).

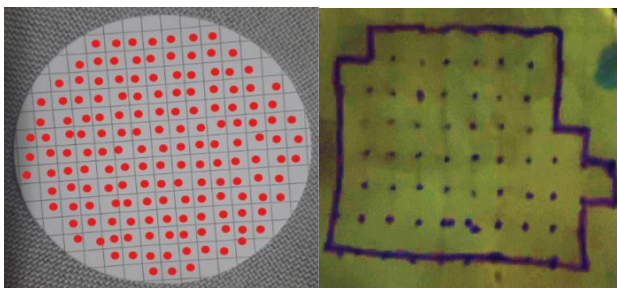


Fig.5. Tamaño de muestra en filtros

El conteo de microplástico se realizó empleando un microscopio de fluorescencia de modelo Axiolab 208 color equipado con iluminación ultravioleta (UV) (figura 6). Este microscopio permitió observar y cuantificar las partículas de microplástico con una ampliación de 40x a 1000x. La iluminación UV facilitó la visualización de los microplásticos, mejorando la definición y nitidez de su forma y tamaño. De esta manera, se logró una mayor representatividad de la muestra en un rango de 100 a 200 μm [13].

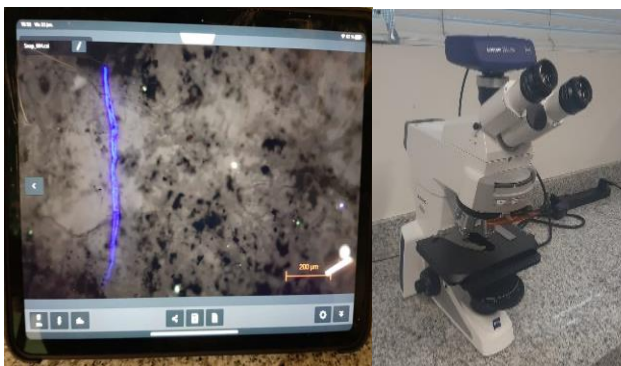


Fig.6. Microscopio de fluorescencia y aplicación Labscope

La aplicación Labscope permitió visualizar y documentar las partículas plásticas mediante imágenes y fotografías. Estas imágenes se obtuvieron por la fluorescencia que emitían las partículas bajo la iluminación con rayos ultravioleta (UV). La aplicación Labscope facilitó la captura de imágenes de diversas formas y colores de microplásticos. A partir de estas imágenes, se pudieron determinar las escalas de estas y, en efecto, las dimensiones de las partículas en micrómetros.

E. Análisis estadístico

Con el objetivo de evaluar la normalidad de los datos y detectar la presencia de valores atípicos, se emplearon pruebas de dispersión con gráficos matriciales y la prueba de normalidad de Anderson-Darling. Para aquellas variables cuyos datos no se ajustaban a una distribución normal, se

aplicó la transformación de Box-Cox hasta lograr la normalidad. Finalmente, se utilizó la prueba de correlación de Pearson para analizar la relación entre las variables. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software Minitab Statistical (versión 21.1.) con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia del 5%.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Concentración de PM10 y concentración de microplástico atmosférico

La concentración media de PM10 durante los treinta días de monitoreo fue de 42.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lo que demostró que los niveles de contaminación por material particulado se encuentran dentro del rango del Estándar de Calidad Ambiental para Aire en el lugar del Estudio. Considerando los índices de calidad del aire según la Metodología de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), la zona de estudio presenta una calidad de aire BUENA al permanecer en el índice de 0-50. Sin embargo, se resalta que la población aledaña a la zona se encuentra altamente expuesta a la inhalación e ingesta por microplásticos atmosféricos debido a que se pudo comprobar la presencia y existencia de este en todas las muestras.

La cantidad de microplástico atmosférico respecto al material particulado encontrado durante el tiempo de monitoreo fue de 1598 partículas totales con un promedio de 53.267 partículas y una desviación estándar de 105.77 ± 2.65 , cifra que para el tiempo de monitoreo es alta, ya que, en otros casos de estudios en Latinoamérica, por ejemplo, en Ciudad de México se identificaron 845 partículas de microplásticos durante 6 meses de monitoreo recolectando 215 muestras de PM10 y PM2.5 [15].

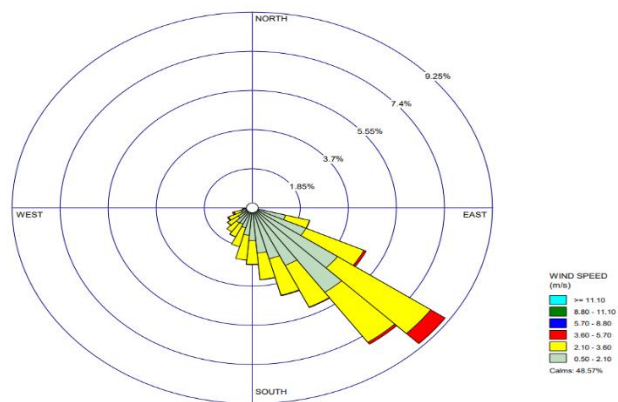


Fig.7. Rosa de Viento - Periodo Anual

Por ejemplo, en Sao Paulo, con 20 muestras se obtuvieron 123.20 ± 47.09 MPs/m²/día [16]. Las megaciudades de Ciudad de México y Sao Paulo son conocidas por presentar altos niveles de contaminación atmosférica producto del parque automotor y por contar con dimensiones poblacionales considerables, lo que las relaciona con el contexto de la capital

limeña y sus distritos. De la misma manera, se resalta que, para encontrar microplástico en ciudades grandes, se deben emplear muestreadores de partículas con entradas de corte configuradas para PM10 y PM2.5.

La técnica de recolección de muestras es la más importante para determinar la cantidad de microplástico atmosférico, además de la correlación con las condiciones meteorológicas. De acuerdo con la disponibilidad de los instrumentos y equipos con los que se contaba, se adaptaron los métodos de identificación y de pre-tratamiento [14], en este estudio solo se usó el método para la identificación del PM10, lo que finalmente permitió que las tecnologías funcionen exitosamente. Por otro lado, se atribuye que las diferencias de las cantidades promedio de microplásticos encontrados en los diferentes estudios se debe a la ubicación del monitoreo, tamaño de la población, las distintas posibles fuentes de contaminación y emisión, así como de las diversas condiciones meteorológicas que influyen en la distribución de las partículas.

B. Características morfológicas

Empleando el método de conteo de partículas y usando el microscopio de fluorescencia se identificó que las formas que tienen mayor predominancia son los del tipo fragmento (68%) de las cuales el 71% son de color azul, el tipo fibra representa el 22%, también con predominancia de color azul (96%), y el tipo esfera representa tan solo el 10%, donde un 52% de partículas plásticas fueron del color verde (figura 8).

La mayoría de las investigaciones mencionan que los tipos de microplásticos más comunes que se identifican son los de tipo fibra y fragmento, esto coincide con los resultados obtenidos. Los microplásticos fibrosos en zonas urbanas provienen de diversas fuentes, como ropa, vehículos, cuerdas, alfombras y ropa sucia entre ellos, lavar y secar la ropa es considerada la fuente más frecuente de esta forma de partícula. En el caso de los tipos fragmentos, el principal factor en su formación, son la actividad industrial y los lugares densamente poblados y generalmente son el resultado de la degradación macroplástica debido a colisiones y rayos ultravioleta (UV) [17] y los gránulos son un tipo de microplástico primario utilizado en las industrias [18].

En otros estudios realizados en Hamburgo-Alemania predominan los de tipo fragmento 95%, y en Assaleyuh-Irán el 74% tipo gránulos [19] [20]. Además, los microplásticos tipo fibra fueron encontrados comúnmente en zonas urbanas de París-Francia (45%), Dongguan-China (90.11%), Surabaya-Indonesia (97.46%), Londres-Reino Unido (97.7%), Yantai-China (> 60%), and Victoria-Australia (45.7–100%) [21] [22] [23] [24] [25]. La diferencia en las formas indica las diferentes fuentes de emisión.

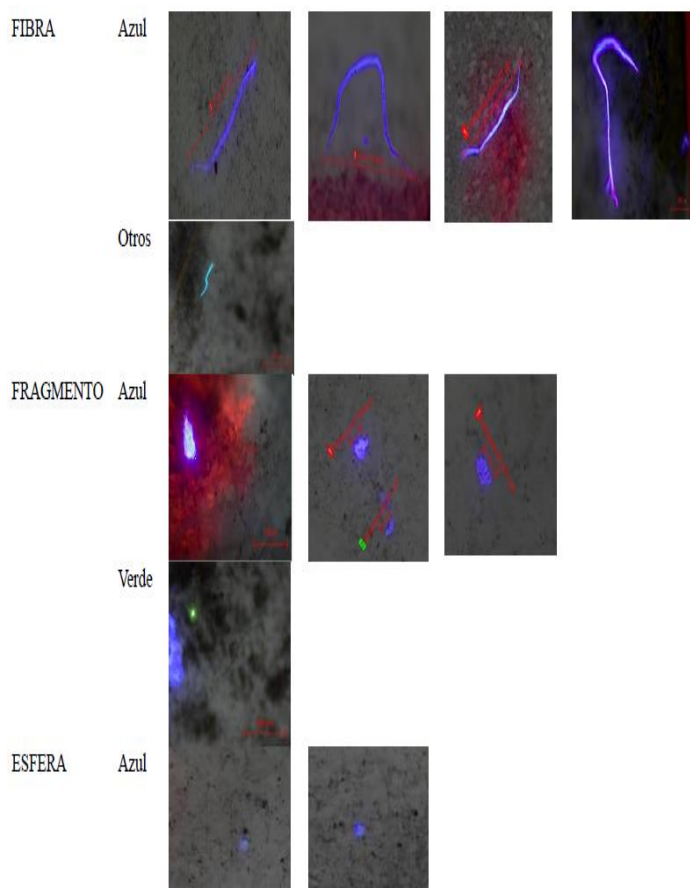


Fig.8. Tipos de microplásticos según forma y color

Respecto al tamaño, encontramos que el 60% de las partículas plásticas identificadas tienen un tamaño promedio de 2.495 – 216 micrómetros, siendo estas mayormente de tipo fragmento y esferas. La referencia [26] indica que utilizó un papel de filtro de 5 µm donde se encontró el predominio de microplásticos de tamaño < 63 µm, y que se sospechaba que el tamaño de los poros del papel de filtro afectaba la tasa de deposición observada [27]. También encontramos en este estudio que las partículas con mayor proporción son las de tipo fibra, las cuales tuvieron como tamaño predominante 1072 a 1171.115 micras, pero que no presentan un riesgo para el ser humano debido a la magnitud de su dimensión comparado con las partículas encontradas menores a 10 micras que son inhalables para el ser humano y que ahora evidencian un posible peligro para la salud de la población que se encuentra dentro de la zona de estudio.

IV. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se puede afirmar que existe la presencia de microplástico atmosférico en el distrito de Chorrillos, Lima – Perú (sede UPC Villa) durante el tiempo de monitoreo (30 días) realizado durante el mes de setiembre del 2023.

REFERENCIAS

La predominancia de las partículas plásticas del tipo fibra y fragmento indicarían que las posibles fuentes de emisión del tipo fibra provienen de la industria textil de manera directa o indirecta. No se descarta una posible contaminación de las muestras al momento de manipularlas para realizar los procedimientos necesarios para la identificación del microplástico.

Con la finalidad de mejorar la relevancia de los resultados, es necesario que las siguientes investigaciones incluyan la caracterización química de las partículas para identificar el tipo de polímero y con ello analizar posibles fuentes de emisión y puntos críticos de contaminación.

La correlación entre las condiciones meteorológicas con la cantidad promedio de microplásticos indica que la humedad relativa tiene una correlación negativa baja, y las precipitaciones con la velocidad de viento presentan una correlación positiva baja, lo que indicaría que los factores ambientales analizados no demuestran resultados significativos a la presencia de microplásticos en la atmósfera en la zona de estudio. Sin embargo, en comparación con otros estudios que sí lograron identificar una relación directa de la deposición de estas partículas con parámetros como lluvia (deposición húmeda) y velocidad de viento (deposición seca), se resalta que la información meteorológica con la que se cuenta, no permite asumir que los factores ambientales provocan con exactitud la deposición y el transporte de estas micropartículas en el ambiente. Además, se considera que durante el tiempo de estudio las estaciones climáticas en la ciudad de Lima se vieron afectadas por el paso del Fenómeno El Niño (FEN), lo que puede haber influenciado en los resultados obtenidos.

En la región, los únicos países que han realizado este tipo de investigación [15][16] mencionan que es de crucial importancia la recaudación de nuevos datos para el establecimiento de una metodología para la identificación de microplástico atmosférico y así fortalecer normativas ambientales, manejo de decisiones, estándares y protocolos, siempre y cuando se consideren estas partículas como un nuevo contaminante atmosférico.

Es de conocimiento que las partículas con dimensiones menores a PM10 y PM2.5 generan efectos negativos en la salud de las personas. Por consiguiente, es imprescindible investigar y comprender el eventual rol de los microplásticos en la salud relacionados con las partículas en suspensión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la UPC y al docente Jimmy Jara por brindarnos la información de los datos meteorológicos, por disponer de su equipo de alto volumen, de la disponibilidad del Laboratorio de Aguas y Energías Renovables de la Carrera de Ingeniería Ambiental y del Laboratorio Multifuncional Húmedo de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

- [1] V. Oporto, I. Escóbar, M. Luján, & P. d'Abzac. (2021). Evaluación de la contaminación del aire por microplásticos suspendidos en la zona de La Maica (Cochabamba, Bolivia). *Acta Nova*, 10(2), 190-221.
- [2] G. Castañeda, A. Gutierrez, F. Nacaratte & C. Manzano (2020). Microplásticos: Un Contaminante Que Crece En Todas Las Esferas Ambientales, Sus Características Y Posibles Riesgos Para La Salud Pública Por Exposición. *Redalyc*, 37(3), 160-175.
- [3] G. GESAMP. Fuente, destino y los efectos de los microplásticos en el medio marino: segunda parte de la evaluación mundial. (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). *Rep. Stud. GESAMP No. 93*, 220.
- [4] A. I. S. Purwiyanto, T. Prartono, E. Riani, Y. Naulita, M.R. Cordova, A.F. Koropitan. "The deposition of atmospheric microplastics in Jakarta-Indonesia: The coastal urban area". *Marine Pollution Bulletin*, 174. January, 2022.
- [5] V. C. Shruti, G. Kutralam-Muniasamy, F. Pérez-Guevara, P.D. Roy, I.E. Martínez. "Occurrence and characteristics of atmospheric microplastics in Mexico City". *Science of the Total Environment*, 847. November, 2022.
- [6] V. Godoy. (2021). Origen, caracterización e impacto de los microplásticos presents en el medioambiente aplicacion a la Provincia de Granada. España. Universidad de Granada.
- [7] S. Kernchen, M. Löder, F. Fischer, D. Fischer, S. Moses, C. Georgi, A. Nölscher, A. Held, C. Laforsch. "Airborne microplastic concentrations and deposition across the Weser River catchment". In *Science of the Total Environment*, 818, 151812. April, 2022.
- [8] H. Çobanoğlu, M. Belivermiş, E. Sikkokur, Ö. Kılıç, A. Çayır. "Genotoxic and cytotoxic effects of polyethylene microplastics on human peripheral blood lymphocytes". In *The Chemosphere*, 272, 129805. June, 2021.
- [9] Y. Zhang, S. Kang, S. Allen, D. Allen, T. Gao, M. Sillanpää. "Micro Plástico Atmosférico: Una revisión del estado actual y las perspectivas". En *Earth-Science Reviews* (Vol. 203). Elsevier B.V. April, 2020. M. King, B. Zhu, and S. Tang, "Optimal path planning," *Mobile Robots*, vol. 8, no. 2, pp. 520-531, March 2001.
- [10] C. Liu, J. Li, Y. Zhang, L. Wang, J. Deng, Y. Gao, L. Yu, J. Zhang, H. Sun. "Widespread distribution of PET and PC microplastics in dust in urban China and their estimated human exposure". *Environment International*, 128, 116-124. July, 2019.
- [11] P. Liu, L. Shao, Z. Guo, Y. Zhang, Y. Cao, X. Ma & L. Morawska (2025). Physicochemical characteristics of airborne microplastics of a typical coastal city in the Yangtze River Delta Region, China. In *Science Direct*, 602-613.
- [12] K. Chandrakanthan, M. Fraser & P. Herckes (2023). Airborne microplastics in a suburban location in the desert southwest: Occurrence and identification challenges. In *Atmospheric Environment*, 298, 119617.
- [13] Z. Liao, X. Ji, Y. Ma, B. Lv, W. Huang, X. Zhu, M. Fang, Q. Wang, X. Wang, R. Dahlgren, X. Shang. "Airborne microplastics in indoor and outdoor environments of a coastal city in Eastern China". In *Hazardous Materials*, 417, 126007. September, 2021.
- [14] Luo, X., Wang, Z., Yang, L., Gao, T. & Zhang, Y. (2022). A review of analytical methods and models used in atmospheric microplastic research. In *Science of The Total Environment*, 828, 154487.
- [15] V. C. Shruti, G. Kutralam-Muniasamy, F. Pérez-Guevara, P.D. Roy, I.E. Martínez. "Occurrence and characteristics of atmospheric microplastics in Mexico City". *Science of the Total Environment*, 847. November, 2022.
- [16] L. Amato-Lourenco, L. Santos, H. Wiebeck, R. Caralho-Oliveira, T. Mauad. " Atmospheric microplastic fallout in outdoor and indoor environments in São Paulo megacity". In *Science of the Total Environment*, 821, 153450. May, 2022.
- [17] A. Torres, A. Karanasiou, T. Moreno, S. Lacorte. "Airborne microplastic particle concentrations and characterization in indoor urban microenvironments". In *Environmental Pollution*, 308, 119707. September, 2022.
- [18] B. Simpson, et al. "Title of paper goes here if known," unpublished.
- [19] S. Abbasi, B. Keshavarzi, F. Moore, A. Turner, F. Kelly, A. Dominguez, N. Jaafarzadeh, "Distribution and potential health impacts of

- microplastics and microrubbers in air and street dusts from Asaluyeh County, Iran " En *Environmental Pollution*, 244, 153–164. October, 2019.
- [20]M. Klein, E. Fischer. Microplastic abundance in atmospheric deposition within the Metropolitan area of Hamburg, Germany. In *Science of the Total Environment*, 685, 96-103. October, 2019.
- [21]R. Dris, J. Gasperi, V. Rocher, M. Saad, N. Renault, B. Tassin. "Microplastic contamination in an urban area: A case study in Greater Paris. *Environmental Chemistry*, 12(5), 592–599. July, 2015.
- [22]J. Sun, Z. Peng, Z.R. Zhu, W. Fu, X. Dai, B.J. Ni. The atmospheric microplastics deposition contributes to microplastic pollution in urban waters. *Water Research*, 119116. October, 2022.
- [23]P. R. Syafina, A.P. Yudison, E. Sembiring, M. Irsyad, H.S. Tomo. "Identification of fibrous suspended atmospheric microplastics in Bandung Metropolitan Area, Indonesia". *Chemosphere*, 136194. December, 2022.
- [24]S. L. Wright, J. Ulke, A. Font, K.L.A. Chan, F.J. Kelly. "Deposición de micro plástico atmosférico en el entorno urbano y una evaluación del sector transporte". En *Environment International*, 136. March, 2020.
- [25]A. Garnica, A. Castañeda, J. Romero. Comparación de las coloraciones Nile-Red y Sudán III para lípidos en *Caenorhabditis elegans*. Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud, 2021.
- [26]B. Welsh, J. Aherne, A. Paterson, H. Yao, C. McConnell. "Atmospheric deposition of anthropogenic particles and microplastics in south-central Ontario, Canadá". In *Science of the Total Environment*, 835,155426. August, 2022.
- [27]C. Crawford, B. Quinn. *Microplastic Pollutants*. Edition 1. Elsevier B.V.