

Trabajo Fin de Máster:

CONTENIDO DE MICROPLÁSTICOS EN AGUAS ENVASADAS

CONTENT OF MICROPLASTICS IN BOTTLED WATER

MARÍA FORNOS LORENTE



**Tutor/a: Dra Cintia Hernández Sánchez
y Ángeles Arias Rodríguez**
Área de conocimiento: Área de Medicina Preventiva y Salud Pública
Departamento: Obstetricia y Ginecología, Pediatría, Medicina
Preventiva y Salud Pública, Toxicología, Medicina Legal y Forense y
Parasitología
Curso 2022/23 (Julio)

ÍNDICE

RESUMEN	4
ABSTRACT	4
1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVOS	9
3. MATERIAL Y MÉTODOS	10
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
6. CONCLUSIONES	21
7. REFERENCIAS	22
ANEXO I	24
ANEXO II	24

RESUMEN

La contaminación por plásticos en el entorno natural, incluyendo el agua, es una preocupación mundial debido a los microplásticos, pequeñas partículas derivadas de la descomposición de desechos plásticos más grandes. Estos microplásticos pueden clasificarse en primarios y secundarios y están hechos principalmente de polietileno (PE), polipropileno (PP), el cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS), poliuretano (PU) y politereftalato de etileno (PET). Las botellas de plástico están compuestas mayormente por PET y rPET, los microplásticos pueden liberarse durante la degradación del plástico y potencialmente ingresar a la cadena alimentaria. En este estudio se analizaron 14 marcas de aguas envasadas en PET y rPET, incluyendo aguas de manantial, aguas minerales y aguas preparadas. La concentración media de microplásticos fue de 15 partículas/L. La mayoría de partículas identificadas fueron fragmentos y fibras de colores transparentes, blancas y amarillas, y la mayoría de estas con un tamaño inferior a 500 μm . Además, se observó que el número de partículas encontradas en el agua mineral natural fue inferior al agua de manantial, y que el promedio de partículas fue similar para las aguas envasadas en PET y en rPET.

PALABRAS CLAVE: microplásticos; agua embotellada; PET; agua mineral natural; agua de manantial

ABSTRACT

Plastic pollution in the natural environment, including water, is a global concern due to microplastics, small particles derived from the decomposition of larger plastic waste. These microplastics can be classified as primary and secondary and are mainly made of polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyvinyl chloride (PVC), polystyrene (PS), polyurethane (PU) and polyethylene terephthalate (PET). Plastic bottles are mostly composed of PET and rPET, microplastics can be released during plastic degradation and potentially enter the food chain. In this study, 14 brands of waters packaged in PET and rPET, including spring waters, mineral waters and prepared waters, were analyzed. The average concentration of microplastics was 15 particles/L. The majority of particles identified were fragments and fibers of transparent, white and yellow colors, and most of

these with a size of less than 500 μm . In addition, it was observed that the number of particles found in natural mineral water was lower than in spring water, and that the average number of particles was similar for waters packaged in PET and rPET.

KEY WORDS: microplastics; bottled water; PET; natural mineral water; spring water.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas, la producción global de plástico, que incluye tanto plástico sintético como natural, ha experimentado un aumento considerable. En 2021 la producción de plásticos a escala mundial aumentó hasta los 390,7 millones de toneladas (PlasticEurope (2022)). Si no se producen cambios significativos en el sector, se estima que esta cifra alcanzará los 710 millones de toneladas para el año 2040 (Sharma et al., 2022). Debido a esta creciente producción se plantean serios problemas de gestión una vez los productos plásticos se convierten en residuos tras finalizar su vida útil. Como consecuencia de métodos inapropiados de desecho, una considerable cantidad de residuos plásticos se introduce en el entorno natural cada año, lo cual plantea múltiples inquietudes acerca de su influencia negativa en la calidad de los recursos naturales y en la salud de los ecosistemas, convirtiéndose por tanto en una preocupación mundial para la salud humana al considerarse a los microplásticos (MP) como contaminantes emergentes.

Los plásticos son los materiales más empleados en la industria debido a su bajo costo de fabricación, ligereza, resistencia, estabilidad y versatilidad (Mason et al., 2018). El crecimiento acelerado en la producción y consumo de plástico, respaldado por modelos económicos que ignoran las consecuencias de los desechos, ha generado una contaminación plástica omnipresente en todo el mundo. Los puntos críticos de contaminación plástica se encuentran en diversos entornos, incluyendo la atmósfera, el suelo y los sedimentos, medios marinos y de agua dulce (ríos, lagos, embalses, aguas subterráneas), así como en la biota (Sharma et al., 2022).

En el entorno natural, los desechos plásticos experimentan un proceso de descomposición tanto biótica (descomposición realizada por microorganismos) como abiótica (descomposición causada por la exposición a la luz ultravioleta o las condiciones climáticas, como la acción de las olas y el viento). Estos procesos dan lugar a la formación de fragmentos de plástico en dimensiones más reducidas, conocidos como microplásticos (Gambino et al., 2022).

Los MP, son definidos como pequeñas fibras o partículas de polímeros derivados del petróleo, cuya longitud no supera los 5 mm. A pesar de no existir ninguna definición formal, el término “microplástico” comprende partículas de mayores de 1 μm , mientras que las aquellas que miden menos de 1 μm se denominan “nanoplásticos” (Koelmans et al., 2019).

Los MP pueden clasificarse en primarios (aquellos fabricados para tener un tamaño determinado, y provienen de actividades industriales y domésticas) y secundarios (originados a partir de la fragmentación de plásticos mayores debido a la exposición de la luz UV, bajas temperaturas de océanos, abrasión mecánica) (Gambino et al., 2022; Rubio-Armendáriz et al., 2022). Además, existe otra clasificación de MP basada en tipos y formas, donde se incluyen gránulos, fragmentos, fibras, películas, cuerdas y filamentos, microesferas, esponjas o espumas y caucho, ilustración 1. (Yang et al., 2022).

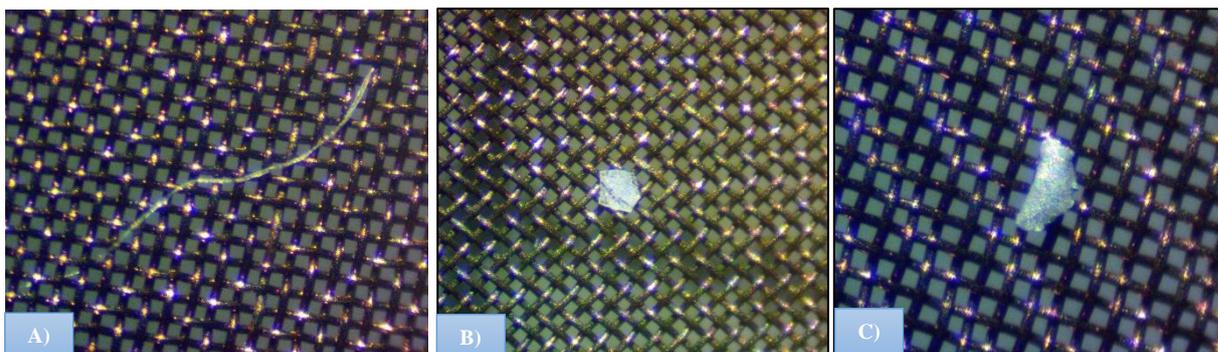


Ilustración 1. Fotografías de microplásticos. A) Fibra; B) Fragmento; C) Film

Los MP más comunes están hechos de polietileno (PE), polipropileno (PP), el cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS), poliuretano (PU) y politereftalato de etileno (PET) (Rubio-Armendáriz et al., 2022).

Según el Informe de Consumo Alimentario en España en 2021 el consumo promedio de aguas embotelladas fue de 65,71 litros/año. Las botellas de agua de plástico de un solo uso compuestas en su mayoría de PET, tardan alrededor de 450 años en descomponerse por completo. La exposición a la luz ultravioleta, el calor, el desgaste mecánico y reacciones químicas pueden debilitar los enlaces químicos en el polímero PET. Como resultado a esto los MP y nanoplásticos se pueden liberar tanto dentro como

fuera de las botellas de plástico a medida que el plástico se degrada y pasar a la cadena alimentaria (Huang et al., 2022; Rubio-Armendáriz et al., 2022).

El interés por los MP en el agua de agua embotellada fue iniciado en el año 2018 con estudios como los de (Mason, Vg, et al., 2018; Oßmann et al., 2018; Schymanski et al., 2018) que reportaban la presencia de estas partículas en las aguas envasadas. Dichos estudios han generado un gran interés en la comunidad científica y en los medios de comunicación, resaltando la preocupación sobre la exposición humana a los MP presentes en las botellas de agua. Esto ha llevado a que las agencias de salud pública de todo el mundo incluyan este problema en su agenda, asegurando un suministro de agua potable seguro y saludable es considerado una prioridad política en el marco del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6. (OMS,2019). Con el fin de crear una mayor conciencia sobre dicha cuestión, se está trabajando en la revisión de la Directiva Europea de Agua Potable, que planea incorporar los MP a la "lista de vigilancia" de sustancias emergentes para el año 2024 (UE, 2020, Gambino et al., 2022; Li et al., 2023).

Por ello, se considera de gran interés conocer el contenido de microplásticos en las aguas envasadas ampliamente distribuidas de nuestro país.

2. OBJETIVOS

Objetivo general

Estudiar la presencia de microplásticos en aguas envasadas.

Objetivos específicos

- 1.** Analizar la presencia y concentración de microplásticos en diferentes marcas y tipos de aguas embotelladas disponibles en el mercado.
- 2.** Caracterizar los diferentes tipos de microplásticos presentes en las muestras estudiadas.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Muestras.

Se compraron 28 muestras de 14 marcas comerciales de aguas envasadas de manantial, aguas minerales, y aguas preparadas que se comercializan ampliamente en los supermercados españoles, incluidas marcas nacionales y extranjeras. Para cada marca se analizaron dos botellas pertenecientes al mismo lote. De estas marcas seleccionadas cinco se envasaron en botellas de PET reciclado, y el resto en PET de un solo uso.

Control de materiales y contaminación.

El material que se utilizó durante todo el proceso fue libre de plásticos. Para prevenir la contaminación de las muestras con microplásticos, todo el material de vidrio no volumétrico se incineró en la mufla Carbolite CWF 11/13a 550°C durante 4h, para ello en primer lugar se cubrió el material con papal de aluminio. Respecto al material de vidrio volumétrico este se limpió con abundante agua Milli-Q. La superficie exterior se lavó con agua y jabón, y seguidamente con agua del grifo. A continuación, se rellenó con disolución Nochromix® de Godax Laboratories (Cabin John, MD) en ácido sulfúrico (95% p/p, VWR International) durante 24 horas y se enjuagó con abundante agua Milli-Q previamente filtrada.

Para el desarrollo del trabajo en el laboratorio se tuvo una precaución especial para evitar la contaminación por microplásticos aerovagantes, trabajando por tanto en una cámara limpia. Para ello, la manipulación de las muestras y el procedimiento de filtración se realizaron en una *glove box* de metacrilato de fabricación propia que cuenta con dos orificios circulares para introducir las manos de 15 cm de diámetro, y una puerta lateral. Además, el aire del laboratorio se filtró con dos purificadores de aire de la marca Rowenta modelo PU3030 equipado con un filtro HEPA (High Efficiency Particulate Air) (eficiencia de eliminación del 99,97% de las partículas de tamaño $\geq 0,3 \mu\text{m}$), operando en "boost mode" durante el horario de trabajo y en "night mode" durante la noche.

Durante el procesamiento y observación de las muestras se utilizaron batas de color naranja para facilitar la identificación de una posible contaminación de las muestras causada por la ropa de los operadores. Para la observación en lupa se realizó utilizando placas de Petri cerradas y bajo una campana de flujo laminar cerrado para reducir la contaminación del aire.

Además, se realizaron controles de contaminación durante el procesamiento exponiendo los filtros al aire en el interior de la *glove box*.

Procesamiento y observación de las muestras.

1. Preparación de las muestras.

Una vez seleccionadas las diferentes muestras se procedió a enumerar del 1 al 14 las diferentes marcas y sus duplicados. A continuación, se retiró las etiquetas de las muestras y se limpiaron con agua miliQ las botellas.

2. Filtración al vacío

Previo a la filtración y dentro de la *glovebox* se limpió el exterior de la botella con agua mili-Q tres veces. A continuación, se procedió a una doble filtración con filtros de 4,5 cm de diámetros aproximadamente. En primer lugar, se filtró con un filtro de 50 μm , y seguidamente con otro de 25 μm . Finalmente, dichos filtros se guardaron en una placa de Petri de plástico y se dejaron secar para su posterior observación.

3. Observación y medición en lupa.

Los filtros fueron examinados bajo una lupa binocular estereoscópica (NexiusZoom, Euromex) con cámara acoplada (Levenhuk M1400 Plus) y se procedió a observar la presencia de microplásticos. Gracias al software Levenhuk Lite® de análisis de imagen, las partículas observadas se fueron fotografiadas, enumeradas y mecanografiadas con respecto a la morfología (fragmento, fibra, films...). En este trabajo, todos los MP se caracterizaron partícula por partícula en función de sus dos dimensiones representativas proyectadas: longitud y anchura para fragmentos y films, y longitud para fibras, dichos datos están recogidos y representados en el **ANEXO II**. La caracterización y recuento de microplásticos a la lupa se realizó considerando el Sistema estandarizado de clasificación

por tamaño y color (SCS) para los plásticos (Crawford y Quinn, 2017), además de las pautas para la clasificación de microfibras de Prata et al., 2020.

4. Tratamiento de los datos en Excel.

Los resultados obtenidos tras la visualización en lupa, fueron procesados en el programa informático Excel. En dicho programa se procedió al cálculo de la media, desviación estándar y error de las diferentes muestras. Además, se determinan las partículas de menor y mayor tamaño, y se generaron gráficas para las diferentes clasificaciones que se discutirán en el apartado de resultados y discusión.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las 28 botellas analizadas de 1.5L todas mostraron contaminación por microplásticos, lo que indica que el 100% del agua embotellada analizada presenta contaminación por microplásticos. Una vez normalizados los datos a 1L de muestra, se identificaron un total de 211 partículas bajo la lupa binocular entre las 14 marcas de agua analizadas, tras la filtración. La densidad de contaminación por estas partículas es muy variable, dicha variabilidad se observa tanto entre las diferentes marcas seleccionadas como aquellas de la misma marca y lote. Este error resalta la importancia de utilizar muestras de mayor tamaño, para combinar las diversas variaciones y generar una descripción más precisa de la realidad. Como se indicó anteriormente, para controlar la contaminación de microplásticos aerovagantes, se realizó un control de procedimiento dentro de la *glovebox* durante la filtración de las muestras. El número de partículas por análisis de muestras de control fue inferior a 3, siendo en la mayoría de los casos fibras de color naranja (color de las batas de laboratorio) o ausentes.

La tabla 1 muestra el promedio de partículas de microplásticos en las 14 marcas de agua embotellada después de restar la contaminación del control. La tabla ha sido elaborada a partir de los datos recopilados en el **ANEXO I**. Los resultados mostraron que las partículas de microplásticos variaron desde 2 a 31 partículas/L con un promedio de 15 partículas/L. La mayor cantidad de microplásticos se identificó en la muestra correspondiente a la marca *Cabreiróa*, dicha agua es agua mineral natural envasada en botellas PET reutilizable (31 partículas/L). La segunda cantidad más alta se detectó en agua de manantial de la marca *AquaBona*, envasada en botellas PET (26 partículas/L). La menor cantidad de partículas se encontró en la muestra de agua preparada de la marca *BB ECOBOTELLAS*, agua envasada en PET reutilizable (2 partículas/L).

Tabla 1. Resumen de resultados de muestras de agua envasadas.

Marca	Cantidad de microplásticos (partícula/L)	Tamaño partículas (μm)			Tipo de Agua	Composición
		Mínimo	Promedio	Maximo		
Cabreiróa	31	50,34	422,63 \pm 322,84	2184,14	AMN	rPET
Bezoya	5	92,08	605,47 \pm 515,26	1701,12	AMN	rPET
Vitalia	19	11,49	380,79 \pm 354,62	2826,90	AM	PET
Aquavia	9	55,27	999,67 \pm 1217,06	10580,89	AMN	PET
Telero	10	135,56	451,8 \pm 317,73	1109,67	AMN	PET
Sierra de Cazorla	9	116,26	769,73 \pm 519,92	3930,00	AMN	PET
Font Vella	24	64,01	433,54 \pm 333,41	1805,58	AMN	rPET
Nestlé Aquearel	10	58,66	688,93 \pm 643,05	2869,03	AMN	rPET
Fuente Alta	18	40,41	261,74 \pm 162,67	1349,03	AM	PET
Lanjarón	6	51,28	169,8 \pm 120,86	487,73	AMN	PET
Fuenteror	24	41,6	284,81 \pm 237,3	2234,52	AMN	PET
aquaBona	26	56,59	508,38 \pm 529,48	8598,91	AM	PET
Solán de Cabras	22	49,14	292,25 \pm 220,37	1196,15	AM	PET
BB ecobotellas	2	41,38	730,06 \pm 611,625	1378,81	AP	rPET
Media	15					

En la figura 1 se puede observar los porcentajes de tipos de MP obtenidos a través de la media de todas las muestras analizadas. Se observó que las partículas de tipo fibra fueron las más comunes (48%), seguidas de los fragmentos (41%) y films (11%). La mayoría de las fibras identificadas se puede asumir que tienen una naturaleza sintética debido a las características descritas por Prata et al., 2020. Las fibras naturales generalmente, presentan superficies irregulares rugosas, mientras que las sintéticas o semisintéticas presentan superficies regulares (Mason, Vg, et al., 2018; Prata et al., 2020).

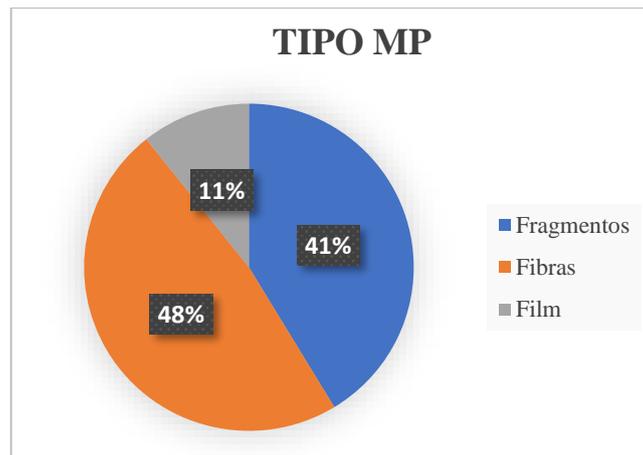


Figura 1. Porcentaje de partículas microplásticas el agua embotellada en función de su forma.

En cuanto a los colores de MP encontrados, la coloración principal de las diferentes partículas fue transparente (59%), seguida del blanco (25%), amarillo (12%) y el resto de colores como el azul, naranja, negro y rojo fue poco significativo, figura 2.

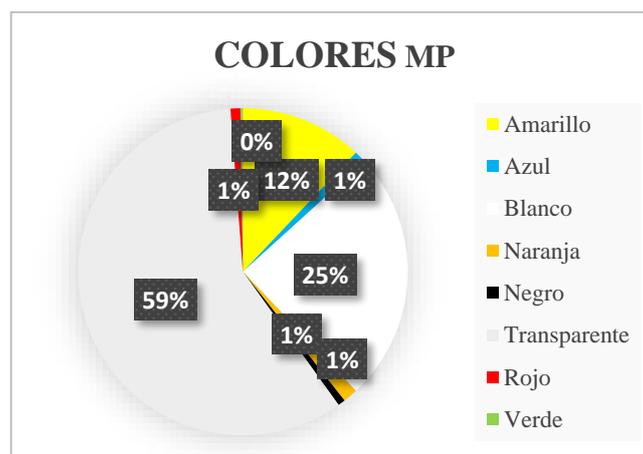


Figura 2. Porcentaje de los de las partículas microplásticas encontradas en el agua embotellada.

La distribución de tamaño de los MP fue similar para las diferentes marcas. El 63% de las partículas de plásticos eran menores de 250 μm , el 14% fueron partículas de entre 251-500 μm , el porcentaje de partículas de entre 501-1000 μm fue del 7%, el resto de partículas de tamaño superior a 1000 μm fue poco significativo, figura 3.

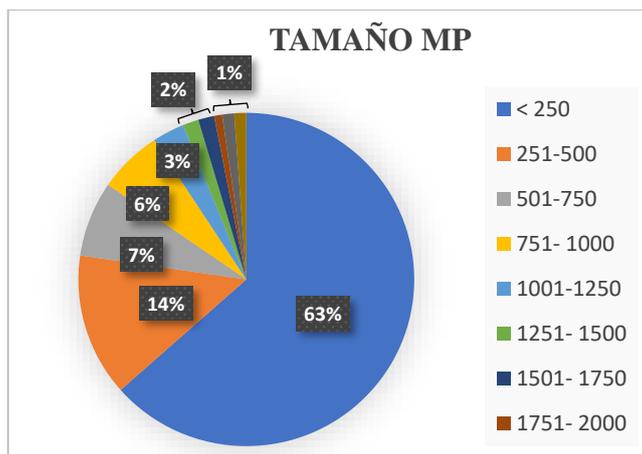


Figura 3. Porcentaje de partículas microplásticas el agua embotellada en función del tamaño.

Además de este estudio general, se realizó un análisis en función de la procedencia del agua, clasificando las marcas en: agua mineral natural (AMN), agua de manantial (AM) y agua preparada (AP). Se encontraron diferencias en el número de partículas encontradas en los distintos tipos de aguas. En el agua mineral natural el promedio de partículas fue de 14 partículas/L, mientras que en el agua de manantial 21 partículas/L.

En cuanto a los tipos de MP, como se puede observar en la figura 4, para el agua de manantial y el agua preparada, el contenido de fibras fue ligeramente superior al de fragmentos, mientras que en el agua de manantial ocurrió al revés, en los tres casos el contenido de films fue apenas significativo.

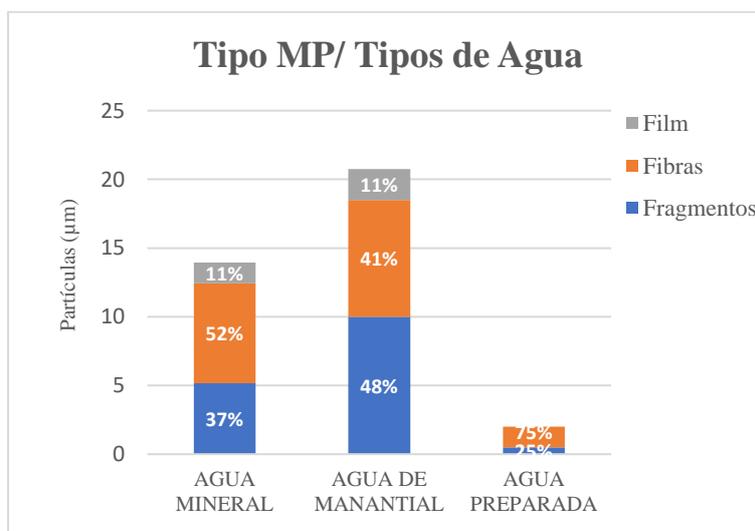


Figura 4. Porcentaje de tipo microplásticos en función del tipo de agua envasada.

Estos resultados fueron diferentes a los estudios previos de agua embotellada realizados por Mason, Vg, et al., 2018; Praveena et al., 2022 donde el contenido de fragmentos fue superior al de fibras. Según estos autores la fragmentación es la vía principal para las diferentes formas de microplásticos que se encuentran en el agua embotellada, además un estudio realizado por Winkler et al., 2019 demostró que estos fragmentos fueron liberados de la tapa, cuello y materiales de envasado de la botella debido al estrés mecánico durante el proceso de embotellado o transporte. Además, el estudio realizado por Kankanige & Babel, 2020 demostraron que el impacto térmico durante el almacenamiento puede fomentar la fragmentación y aumenta la migración de microplásticos desde la tapa, el cuello y el envase hacia el agua.

Respecto a la coloración, en los tres tipos de agua predomina el color transparente (AMN 58%, AM 60% y AP 50%) y amarillo (AMN 58%, AM 60% y AP 50%), además en el agua mineral y agua de manantial también encontramos gran cantidad de partículas blancas (AMN 24% y AM 26%), figura 5. Estos resultados coinciden con los estudios anteriores donde el color predominante en todos esto fue el transparente, este color se atribuye al embotellado de PET.

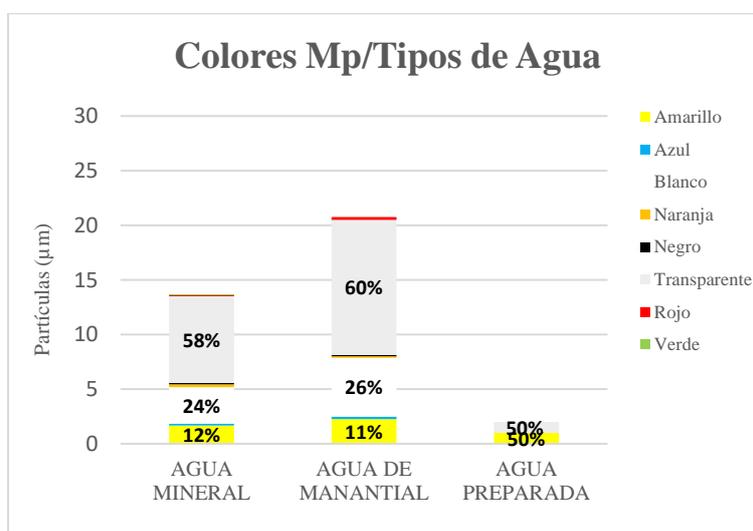


Figura 5. Porcentaje de colores de microplásticos en función del tipo de agua envasada.

En cuanto al tamaño de MP, encontramos en los tres tipos de agua mayoritariamente partículas inferiores a 250µm, en el AMN representaron el 52%, en el AM 63% y en el AP el 50%, dichos datos son similares a los encontrados en el estudio de Kankanige & Babel, 2020; Zhou et al., 2021. Además, tanto en el AMN como en el

AM las partícuas de entre 201-500 μm representaron el 20% y 13% respectivamente, figura 6.

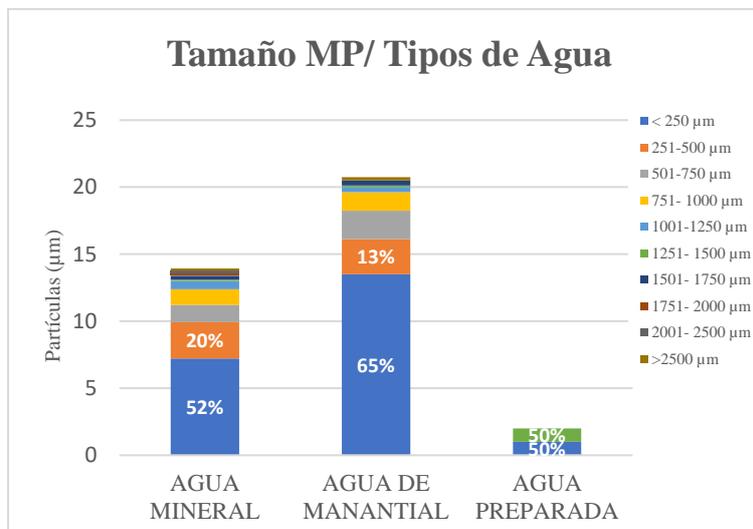


Figura 6. Porcentaje de tamaño de microplásticos en función del tipo de agua envasada

Por último, se realizó el mismo estudio separando las muestras en función del material del envase de las botellas analizadas. De las 14 marcas analizadas 9 estaban fabricadas con PET y 5 con rPET. El contenido promedio de partículas fue de 15 partículas/L en aguas envasadas en PET, y 14 partículas/L en aguas envasadas en rPET. A diferencia de nuestro estudio, la investigación realizada por Schymanski et al., 2018 concluyeron que el contenido de microplásticos en agua embotellada en PET reutilizable fue superior al encontrado en botellas PET de un solo uso, justificando dichos datos debido a que la reutilización aumenta la tasa de abrasión de la superficie interna, lo que liberaría más partículas a la superficie interna de la botella.

Como podemos observar en la figura 7a, en las botellas fabricadas con PET se encontraron mayor porcentaje de fragmentos (45%) y fibras (43%) que contenido de films (12%). Mientras que en la figura 7b, botellas envasadas en rPET, se encontraron mayores diferencias entre el contenido de fibras que fue

mayoritario (57%) en comparación con el de fragmentos (34%), mientras que el contenido de film solo representaba el 9%.

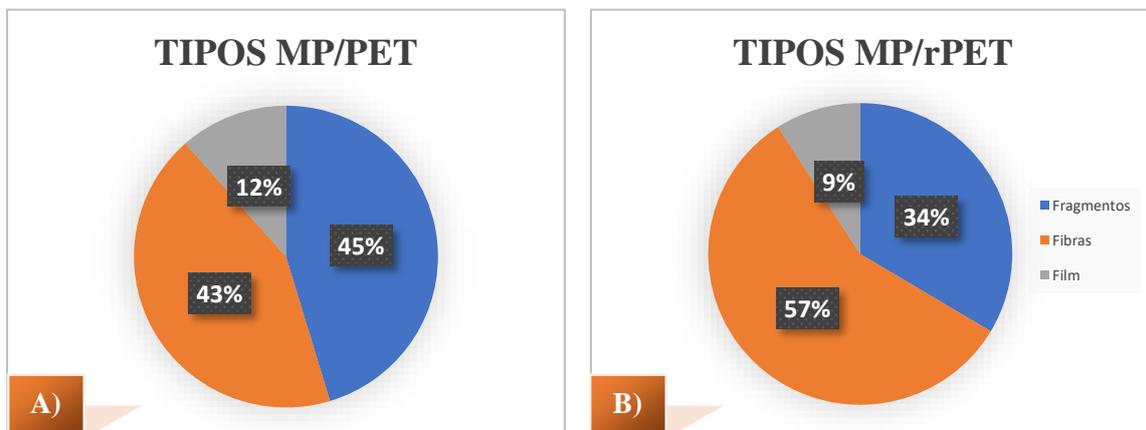


Figura 7. A) tipo de MP en aguas envasadas en PET. B) tipo MP en aguas envasadas en rPET.

Respecto a la coloración, en aguas envasadas en PET, las partículas encontradas eran en su mayoría transparentes (63%), seguidas de blancas (22%) y amarillas (10%), figura 8A. Mientras que en aguas envasadas con rPET el porcentaje de transparentes (49%) y blancos (30%) fue más equitativo, y el porcentaje de partículas amarillas (16%) fue mayor, figura 8B.

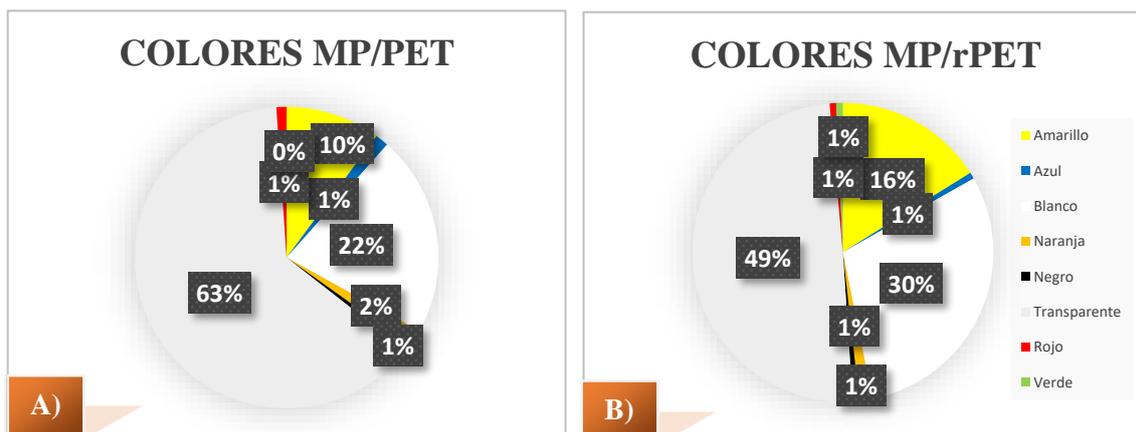


Figura 8. A) Colores de MP en aguas envasadas en PET. B) Colores de MP en aguas envasadas en rPET.

La tabla 2 presenta una comparación de los tamaños de MP encontrados en el estudio actual y estudios anteriores de aguas embotelladas, así como las diferentes

metodologías utilizadas en el análisis e identificación de los mismos. En general, es difícil realizar una comparación de los resultados entre los diferentes estudios pues la metodología y análisis de los estudios fueron diferentes. En general, estos estudios han indicado que la contaminación por microplásticos en el agua envasada está asociado a la tapa y superficie interna de la botella. Además, se ha identificado que las botellas envasadas en rPET presentan más partículas que las envasadas en PET de un solo uso, puesto que la primera sufre más estrés debido a la reutilización.

Tabla 2. Comparación de microplásticos actuales y anteriores en estudios de agua embotellada junto con la metodología respectiva.

País	Tipo de agua embotellada	Número de microplásticos (partículas/L)	Tamaño de los microplásticos	Metodología	Referencias
España	Botella de plástico PET y rPET	15; 14	0,4-500µm	Filtrado al vacío a través de filtros con un diámetro de 50 y 25 µm, visualizados con lupa binocular, imágenes realizadas mediante software de imagen	Estudio actual
Malasia	Botellas de plástico PET	11,7 ± 4,6	0,100–0,300 mm	Filtrado a través de papel de filtro Whatman (tamaño de poro de 0,45 µm), filtros secos visualizados mediante análisis de estereomicroscopio, imágenes analizadas mediante un software de imagen y FTIR para la identificación de polímeros.	Praveena et al., 2022
Tailandia	Botellas de PET de un solo uso	140 ± 19	6,5–20 µm	Filtrado a través de un filtro de membrana de 0,45 µm con posterior tinción con Rojo Nilo. Papel de filtro observado a través del microscopio óptico y analizado usando FTIR.	Kankanige & Babel, 2020
Nueve países (Indonesia, Estados Unidos, India, México, Reino Unido, Francia, Alemania, Brasil, Líbano, Italia, China)	-	325	6,5–100 µm	Teñido con rojo del Nilo. Agua embotellada filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio (tamaño de poro de 1,5 µm). Los filtros fueron examinados bajo un microscopio óptico. Analizado usando FTIR para confirmar la identidad polimérica.	Mason, Vg, et al., 2018
Alemania	Botella de plástico PET y rPET	14 ± 14; 118 ± 88	5 y 10 µm	Filtrado a través de un filtro de policarbonato recubierto de oro (tamaño de poro 3.0 µm) e identificación de microplásticos mediante espectroscopia Raman.	Schymanski et al., 2018

6. CONCLUSIONES

1. La totalidad de las muestras de aguas envasadas analizadas presentaron contaminación por microplásticos. La densidad de la contaminación encontrada fue muy variable, observándose esta variabilidad entre las diferentes marcas y dentro de los lotes de una misma marca.
2. El número de partículas de microplásticos en las muestras variaron desde 2 a 31 partículas/L con un promedio de 15 partículas/L, encontrándose la mayor cantidad de MP una agua mineral natural y la menor en una agua potable preparada, en ambos casos envasadas en PET reciclado.
3. Se observó que las partículas de tipo fibra fueron las más comunes seguidas de los fragmentos y films. La mayoría de las fibras identificadas se puede asumir que tienen una naturaleza sintética, ya que presentaron superficies irregulares rugosas.
4. En cuanto a los colores de los MP encontrados, la coloración principal de las diferentes partículas fue transparente, seguido del blanco, amarillo y el resto de colores fue poco significativo.
5. La distribución de tamaño de los MP fue similar para las diferentes marcas, predominando las partículas de plástico de inferior tamaño (menores de 250 μm).
6. Se encontraron diferencias en el número de partículas encontradas en los distintos tipos de aguas, siendo mayor en las muestras de aguas de manantial estudiadas con respecto a las minerales naturales. En el agua de manantial y el agua preparada, el contenido de fibras fue ligeramente superior al de fragmentos, mientras que en el agua de manantial predominaron los fragmentos.
7. Al comparar el número de MP según el tipo de envase, se encontraron un número de partículas de MP similar en los dos tipos de envase, encontrando en las muestras procedentes de envase con PET un porcentaje de fragmentos y fibras similar, sin embargo en las envasadas con rPET predominaron las fibras.
8. Sería conveniente ampliar el estudio a distintas marcas y a un mayor número de muestras y sobre todo conocer la composición de los MP encontrados, para así poder conocer la procedencia de esta contaminación en las aguas envasadas.

7. REFERENCIAS

- Directiva (UE) 2020/2184 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2020, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano (versión refundida) (Texto pertinente a efectos del EEE) DO L, 435 (2020), pp. 1-62 23.12.2020
- Gambino, I., Bagordo, F., Grassi, T., Panico, A., & De Donno, A. (2022). Occurrence of Microplastics in Tap and Bottled Water: Current Knowledge. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(9), 5283. <https://doi.org/10.3390/IJERPH19095283>
- Huang, Y., Wong, K. K., Li, W., Zhao, H., Wang, T., Stanescu, S., Boulton, S., van Dongen, B., Mativenga, P., & Li, L. (2022). Characteristics of nano-plastics in bottled drinking water. *Journal of Hazardous Materials*, 424, 127404. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2021.127404>
- Kankanige, D., & Babel, S. (2020). Smaller-sized micro-plastics (MPs) contamination in single-use PET-bottled water in Thailand. *Science of The Total Environment*, 717, 137232. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.137232>
- Koelmans, A. A., Mohamed Nor, N. H., Hermsen, E., Kooi, M., Mintenig, S. M., & De France, J. (2019). Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water Research*, 155, 410. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2019.02.054>
- L, H., ZHU, L., MA, M., WU, H., AN, L., & YANG, Z. (2023). Occurrence of microplastics in commercially sold bottled water. *Science of The Total Environment*, 867, 161553. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.161553>
- Mason, S. A., Vg, W., & Neratko, J. (2018). Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water. *Front. Chem*, 6, 407. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00407>
- Mason, S. A., Welch, V. G., & Neratko, J. (2018). Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water. *Frontiers in Chemistry*, 6, 407. <https://doi.org/10.3389/FCHEM.2018.00407>
- Oßmann, B. E., Sarau, G., Holtmannspötter, H., Pischetsrieder, M., Christiansen, S. H., & Dicke, W. (2018). Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water. *Water Research*, 141, 307–316. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2018.05.027>
- PlasticEurope. (2022). Plastics—the facts 2022. PlasticEurope, 1, 1–81. https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2023/03/PE-PLASTICS-THE-FACTS_FINAL_DIGITAL-1.pdf
- Prata, J. C., Castro, J. L., da Costa, J. P., Duarte, A. C., Cerqueira, M., & Rocha-Santos, T. (2020). An easy method for processing and identification of natural and synthetic

- microfibers and microplastics in indoor and outdoor air. *MethodsX*, 7, 1. <https://doi.org/10.1016/J.MEX.2019.11.032>
- Praveena, S. M., Shamsul Ariffin, N. I., & Nafisyah, A. L. (2022). Microplastics in Malaysian bottled water brands: Occurrence and potential human exposure. *Environmental Pollution*, 315, 120494. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2022.120494>
- Rubio-Armendáriz, C., Alejandro-Vega, S., Paz-Montelongo, S., Gutiérrez-Fernández, Á. J., Carrascosa-Iruzubieta, C. J., & Hardisson-de la Torre, A. (2022). Microplastics as Emerging Food Contaminants: A Challenge for Food Safety. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3). <https://doi.org/10.3390/IJERPH19031174>
- Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H. U., & Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research*, 129, 154–162. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2017.11.011>
- Sharma, S., Sharma, B., & Dey Sadhu, S. (2022). Microplastic profusion in food and drinking water: are microplastics becoming a macroproblem? *Environmental Science. Processes & Impacts*, 24(7), 992–1009. <https://doi.org/10.1039/D1EM00553G>
- Winkler, A., Santo, N., Ortenzi, M. A., Bolzoni, E., Bacchetta, R., & Tremolada, P. (2019). Does mechanical stress cause microplastic release from plastic water bottles? *Water Research*, 166, 115082. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2019.115082>
- World Health Organization (2019). *Microplastics in drinking-water*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/326499/9789241516198-eng.pdf>
- Yang, X., Man, Y. B., Wong, M. H., Owen, R. B., & Chow, K. L. (2022). Environmental health impacts of microplastics exposure on structural organization levels in the human body. *Science of The Total Environment*, 825, 154025. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.154025>
- Zhou, X., Wang, J., Li, H., Zhang, H., Hua-Jiang, & Zhang, D. L. (2021). Microplastic pollution of bottled water in China. *Journal of Water Process Engineering*, 40, 101884. <https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2020.101884>

ANEXO I

Este anexo recoge los datos recopilados tras el estudio en lupa de las diferentes muestras.

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1VjxuqpItdhCHpw7swumcSjTZHeu7MHIG/edit?usp=sharing&ouid=108413800165512594092&rtpof=true&sd=true>

ANEXO II

En el presente anexo se adjuntan las fotografías tomadas a lo largo del experimento. Cada una de las carpetas corresponde a las diferentes muestras analizadas.

https://drive.google.com/drive/folders/1zUJIn-KvTc_DMRg1HCgEG3RlS4ErzrjE?usp=sharing