

## Detección y cuantificación de microplásticos en la planta de tratamiento de agua residual “Alseseca-sur” en la ciudad de Puebla-México

## Detection and quantification of microplastics found in water treatment plant of “Alseseca-sur” in Puebla city-México.

B. Vásquez-Rosas, Ma. De L. Ruiz-Peralta , E. Águila-Almanza , H. Hernández-Cocoletzi \*

*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería Química, Av. San Claudio y 18 sur S/N Edificio FIQ7 CU San Manuel, Puebla, 72570, México.*

### Resumen

En la actualidad, el desecho de plástico al mar se estima en 100 millones de toneladas anuales, las cuales no solo permanecen en su forma original, sino que, debido a su exposición a las condiciones ambientales, se fragmentan y degradan, yaciendo en forma de micropartículas denominadas microplásticos (MPs). Las aguas tratadas de las plantas residuales han sido señaladas como una de las principales fuentes de descarga de este tipo de contaminantes; en este sentido, se investigó la presencia de microplásticos en el efluente de la PTAR “Alseseca-sur”, la cual es una de las principales plantas de tratamiento de la ciudad de Puebla. La recolección de las muestras se llevó a cabo con base en lo establecido por la norma NMX-AA-003-1980 Aguas Residuales-Muestreo. Estas fueron observadas en un microscopio óptico y medidas utilizando el software ImageJ; posteriormente fueron contabilizadas y caracterizadas por tamaño, color y forma. Se encontraron 81 partículas plásticas por cada litro, estimándose una descarga diaria de 22,194 millones de MPs, siendo los fragmentos los de mayor incidencia, seguidos de las fibras y los pellets. La mayor cantidad de fragmentos y de pellets tienen tamaño inferior a 45  $\mu\text{m}$ .

*Palabras Clave:* contaminación ambiental, PET, microplásticos.

### Abstract

Currently, plastic waste in the ocean is estimated at 100 million tons per year. which not only remains in its original form but also fragments and degrades due to exposure to environmental conditions, lying in the form of microparticles called microplastics (MPs). Treated wastewater from sewage plants has been identified as one of the main sources of discharge for these pollutants. In this regard, the presence of microplastics in the effluent of the "Alseseca-sur" wastewater treatment plant, one of the main treatment plants in the city of Puebla, was investigated. The samples were collected according to the standard NMX-AA-003-1980 Wastewater-Sampling. The samples were counted and characterized by size, color, and shape. A total of 81 plastic particles per liter were found, with an estimated daily discharge of 22.194 billion MPs. The most prevalent particles were fragments, followed by fibers and pellets. Most fragments and pellets measured less than 45  $\mu\text{m}$  in size.

*Keywords:* environmental pollution, PET, microplastics.

\*Autor para la correspondencia: [heriberto.hernandez@correo.buap.mx](mailto:heriberto.hernandez@correo.buap.mx)

Correo electrónico: [heriberto.hernandez@correo.buap.mx](mailto:heriberto.hernandez@correo.buap.mx) (Heriberto Hernández-Cocoletzi), [lourdes.ruiz@correo.buap.mx](mailto:lourdes.ruiz@correo.buap.mx) (María de Lourdes Ruiz Peralta), [eva.almanza@correo.buap.mx](mailto:eva.almanza@correo.buap.mx) (Eva Águila Almanza) [bren.vqzr1@gmail.com](mailto:bren.vqzr1@gmail.com) (Brenda Vásquez Rosas)

**Historial del manuscrito:** recibido el 14/05/2025, última versión-revisada recibida el 15/11/2025, aceptado el 24/11/2025, en línea (postprint) desde el 10/12/2025, publicado el DD/MM/AAAA. **DOI:** <https://doi.org/10.29057/icbi.v14i27.15175>



## 1. Introducción

La contaminación del agua por plásticos cobró relevancia cuando se descubrió la llamada “Isla de basura” en el Pacífico Norte (1997); se estima que son desechadas 100 millones de toneladas de plásticos anualmente (Plastic Oceans, 2021). Este material es el responsable de la muerte de un millón de organismos marinos, ya sea porque los ingieren o porque son atrapados por ellos (Plastic Oceans, 2021). En un principio solo se señalaba a los grandes fragmentos como los responsables; sin embargo, ahora se sabe que este material puede degradarse en piezas menores a 5 mm, dando lugar a los denominados microplásticos (Arthur, Baker, & Bamford, 2009).

Los microplásticos (MPs) se producen por la fragmentación de piezas más grandes debido a la exposición a la luz UV-Visible (Singh & Sharma, 2008), al choque constante con las corrientes de agua o materia más rígida, al lavado de telas hechas de fibras sintéticas (Browne et al, 2011), o directamente a la producción y/o uso de productos de limpieza e higiene personal (Thompson, Moore, vom Saal, & Swan, 2009). Este contaminante antropogénico termina en aguas superficiales, subterráneas, marítimas y continentales, debido a la ineficiente disposición de los residuos sólidos y a los tratamientos de las aguas residuales (Becerril-Bravo, 2009) (Bayo et al, 2018). La concentración de MPs en los efluentes suele ser mayor en períodos de lluvia, comparados con los de sequía (Bao et al, 2022).

En la actualidad se sabe que las descargas de agua residual, tratada o no, son una fuente importante de este microcontaminante (Bayo et al, 2018) (Browne et al, 2011). Se estima que los MPs descargados diariamente superan los miles de millones (Talvitie et al, 2015) (Ziajahromi, Neale, Rintoul, & Leush, 2017). Se han hallado descargas de agua con concentraciones de MPs hasta de 72,000 MP/L, lo cual equivale a 53 mill MPs/s; de ellos, alrededor del 70% corresponden a microfibra de polietileno (Montecinos et al, 2022). Se ha encontrado que en las etapas primarias de los tratamientos de agua se pueden llegar a remover entre el 16.5 y el 98.4% de las partículas plásticas, mientras que, utilizando tratamientos biológicos, es posible remover del 78.1 al 99.9% (Michał-Bodzek et al, 2024). A pesar de los esfuerzos realizados para la cuantificación y cualificación del problema, información respecto a este contaminante es aún escasa.; hasta el año 2022, se habían reportado solamente 121 plantas tratadoras de agua en 17 países, en las que se atendía el problema de los microplásticos, principalmente en Europa, Estados Unidos, Canadá y en Asia (Yaseen et al, 2022). Nuestro país cuenta con un único estudio que estima la cantidad de microplásticos desechados al mar por medio de las descargas finales de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTARs), realizado en la ciudad de Ensenada. Se reportó también que éstos pueden ser arrastrados por las corrientes marinas (Ramírez-Álvarez et al, 2019).

El municipio de Puebla, México, cuenta con 80 PTARs, de las cuales, únicamente 5 tratan aguas de origen doméstico y pluvial de la ciudad. La segunda más grande es la PTAR “Alseseca-Sur”, cuyo tratamiento consiste en un proceso Primario Avanzado. Esta planta tiene una capacidad instalada de 700 L/s y un caudal tratado de 758 L/s (CONAGUA, 2019). El efluente se descarga

en el río Alseseca, el cual desemboca en la Presa Manuel Ávila Camacho. Esta presa fue construida con el fin de colectar agua para el riego agrícola de la región de Tepeaca-Tecamachalco (López-Zamora & Montalvo-Vargas, 2015). Hasta el momento, no se ha reportado la presencia de microplásticos en el efluente de la PTAR “Alseseca-Sur”; en cambio, en el río Atoyac se han encontrado hasta 1,633 partículas plásticas por kilogramo de sedimento (Shruti,-Jonathan, Rodríguez-Espinosa, & Rodríguez-González, 2019). La presencia de este contaminante en el río, así como la relación entre los MPs descargados por las PTARs y los encontrados en los cuerpos receptores, vuelve notoria la importancia de cuantificar, tanto las partículas descargadas como las ya presentes en el cuerpo receptor. Puede asumirse que esto representa tanto un problema de contaminación para cuerpos de agua como para suelos agrícolas y, por lo tanto, un problema de salud pública.

Distintos autores señalan la importancia de hacer más efectivos los tratamientos para la gestión de estas partículas plásticas, así como la urgencia de generar políticas públicas que no solo regulen la calidad de agua con la que son descargadas las aguas tratadas (Bollaín-Pastor & Vicente-Agulló, 2019), sino que también debe haber una regulación sobre la producción de plásticos, con énfasis en los de un solo uso. Por lo que se considera relevante la detección, la cuantificación y la caracterización de microplásticos de la PTAR “Alseseca-Sur” como probable fuente de contaminación por microplásticos, tanto para el río Alseseca donde descargan las aguas tratadas, como para la “Presa Manuel Ávila Camacho”, donde desemboca éste; hasta ahora, no se han dedicado esfuerzos en la detección y cuantificación de microplásticos presentes en esta planta. La obtención de dicha información sentaría un antecedente para el impulso de políticas públicas dentro de nuestro país, en materia de plásticos de primer uso y en el adecuado tratamiento de las aguas residuales, así como para la mejora e innovación de los tratamientos actuales, que consideren a los microplásticos como otro contaminante que debe eliminarse del agua.

## 2. Materiales y métodos

La PTAR “Alseseca-Sur”, se encuentra ubicada en Av. Río Alseseca 16, San Francisco Totimehuacan, 72595 Puebla, Pue. Con coordenadas 18° 57' 16.173" N y 98° 11' 22.856" O. Se obtuvo una muestra de 1 L de agua de la última etapa del tratamiento, la cual fue colectada y almacenada en frascos de vidrio con taparroscas de metal, con el fin de evitar la contaminación cruzada. (Bayo et al, 2018) (López-Castellanos et al, 2020). Esta fue proporcionada por los responsables de la planta, y se colectó de acuerdo con las especificaciones de la norma NMX-AA-003-1980 Aguas Residuales-Muestreo (SEMARNAT); esta norma tiene como objetivo establecer los lineamientos generales y recomendaciones para realizar el muestreo de las descargas de aguas residuales, a fin de determinar sus características físicas y químicas (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1980). Esta norma emplea el método de muestreo compuesto, el cual permite la representación de las variaciones de los contaminantes de las aguas residuales;

además, es posible el muestreo de plásticos con una mayor precisión, ya que dichos contaminantes se pueden distribuir por las columnas de agua en función de su densidad, tamaño, forma, adsorción de otros contaminantes y/o bioincrustaciones, además de por la propia densidad del agua residual (Prata, da Costa et al, 2019).

La PTAR “Alseseca-Sur” purifica el agua residual mediante un Tratamiento Primario Avanzado (TPA) (figura 1); este consiste de un proceso de coagulación-floculación que, mediante el uso de sales metálicas y/o polímeros, remueve los sólidos suspendidos y otros contaminantes del agua residual de origen doméstico, por medio de la posterior sedimentación/precipitación de las partículas o de los coloides.

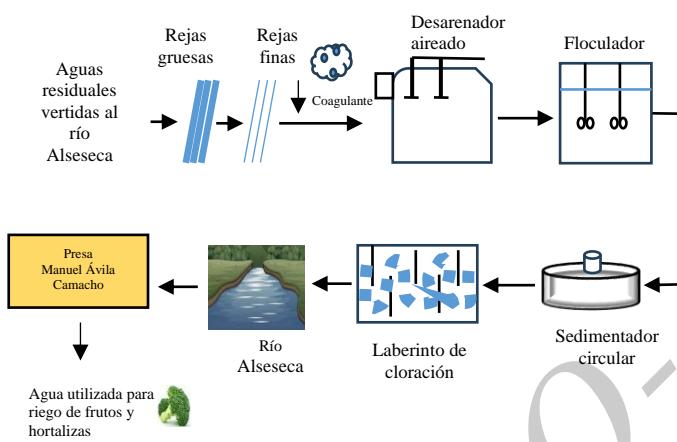


Figura 1. Diagrama de flujo de la PTAR “Alseseca-Sur”.

Durante la realización de todas las etapas del experimento, se utilizó instrumental de vidrio y/o metal, además de bata de laboratorio de algodón, debido a la probable contaminación de fondo, por el común y elevado uso de materiales plásticos en la cotidianidad (Bayo et al, 2018) (López-Castellanos, Olmos-Espinar, & Bayo-Bernal, 2020). Todas las superficies fueron limpiadas con alcohol etílico y toallas de papel, previo a la utilización del espacio (Prata, da Costa, Duarte, & Rocha-Santos, 2019). También se llevó a cabo un cuidadoso procedimiento de lavado del material; éste se colocó en un baño con jabón líquido y se enjuagó con abundante agua de grifo. Se concluyó con un enjuague de alcohol etílico. Finalmente se secó a 100 °C en una mufla y se almacenó en un lugar libre de polvo hasta su procesamiento (Bayo et al, 2018) (Prata, da Costa, Duarte, & Rocha-Santos, 2019).

## 2.1 Preparación de las muestras

Se filtraron volúmenes de 250 mL con filtros de papel; el papel filtro obtenido después de la filtración se colocó en cajas Petri y se secó a 60 °C durante 24 horas (Bayo et al, 2018). El resultante se hizo reaccionar con peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) al 30% con el fin de eliminar la materia orgánica, facilitando así, la cuantificación y la caracterización de los microplásticos

(Liebezeit & Dubaish, 2012) (Nuelle, Dekiff, Remy, & Fries, 2014).

## 2.2 Cuantificación y caracterización de las muestras

Los filtros secos, resultado de la digestión con  $H_2O_2$  se observaron en un microscopio óptico a x10 y x20 aumentos para su cuantificación. Cada partícula encontrada fue clasificada por color y forma (Bayo et al, 2018) (López-Castellanos, Olmos-Espinar, & Bayo-Bernal, 2020). Posteriormente se realizó la medición del tamaño de cada una de ellas haciendo uso del software ImageJ (NIH, USA, 2024). Se clasificaron en fragmentos (trozos, arrastrados generalmente por el viento y las mareas), fibras (utilizadas en la fabricación de textiles y recubrimientos) y pellets (gránulos utilizados en la fabricación de diversos productos). Cabe mencionar que factores como salinidad del agua, temperatura, pH y concentración de oxígeno disuelto, pueden influir en la identificación y remoción de microplásticos, lo cual no ha sido considerado en este trabajo.

## 3. Resultados

### 3.1 Número y tipo de microplásticos

Se hallaron 81 piezas de microplásticos por litro de agua analizada de la PTAR “Alseseca-Sur” (figura 2); 49 corresponden a fragmentos (figura 3a), 23 a fibras (figura 3b) y 8 a pellets (figura 3c). La figura 4 muestra la distribución porcentual de los distintos tipos de plástico encontrados en la planta de tratamiento, en la que se puede observar que más del 60% fueron fragmentos. Considerando que esta planta trata aproximadamente 274 millones de litros por día (ML/día), se estima una descarga al río Alseseca de 22,194 millones de MPs diarios.



Figura 2. Filtro con muestra de micropácticos.

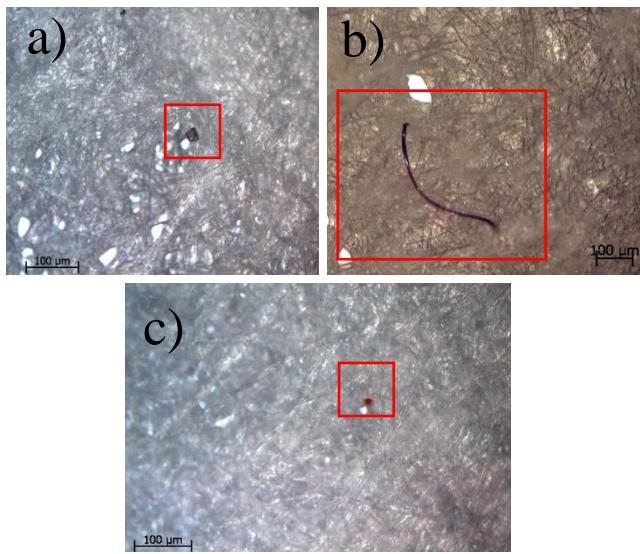


Figura 3. Imágenes de micropácticos obtenidas con un microscopio óptico, a) fragmento, b) fibra y c) pellet.

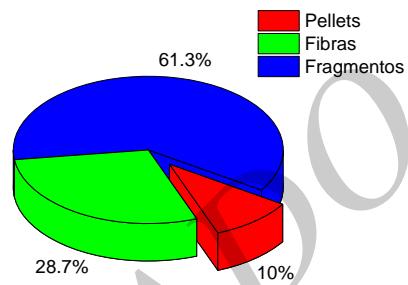


Figura 4. Distribución porcentual de micropácticos hallados en el efluente de la PTAR “Alseseca-Sur” en el estado de Puebla, México.

### 3.2 Distribución del tamaño de micropácticos

El tamaño de las partículas plásticas puede dar indicios del nivel de degradación del plástico originario, ya que una menor longitud implicará mayor intemperismo. La longitud de 25 de los fragmentos encontrados en la PTAR “Alseseca-Sur”, varió entre 3 y 19.99  $\mu\text{m}$ , 10 se encontraron entre 20 y 36.99  $\mu\text{m}$ ; 6 de ellos midieron entre 37 y 56.99  $\mu\text{m}$ , mientras que únicamente 8 superaron los 70  $\mu\text{m}$  (figura 5). La longitud de las fibras halladas en la PTAR Alseseca Sur varía entre 41 y 479  $\mu\text{m}$  (figura 6), encontrándose una mayor frecuencia de tamaños entre 90 y 150  $\mu\text{m}$ . En menor cantidad se hallaron fibras con longitud de entre 210 y 270  $\mu\text{m}$ ; en los muestreos, solo una fibra superó los 450  $\mu\text{m}$ . Por último, el 75% de los pellets hallados midieron entre 14 y 22  $\mu\text{m}$ , mientras que únicamente el 12.5% se encontraron por debajo de los 10  $\mu\text{m}$  (figura 7).

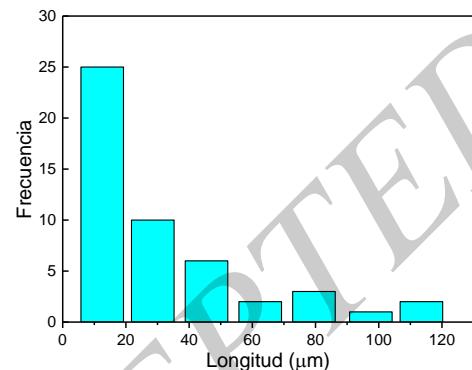


Figura 5. Histograma de frecuencias de la longitud de los fragmentos encontrados en el efluente del PTAR “Alseseca-Sur”.

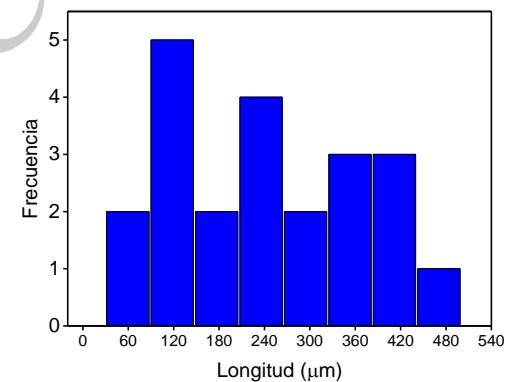


Figura 6. Histograma de frecuencias de la longitud de fibras encontradas en el efluente PTAR “Alseseca-sur”.

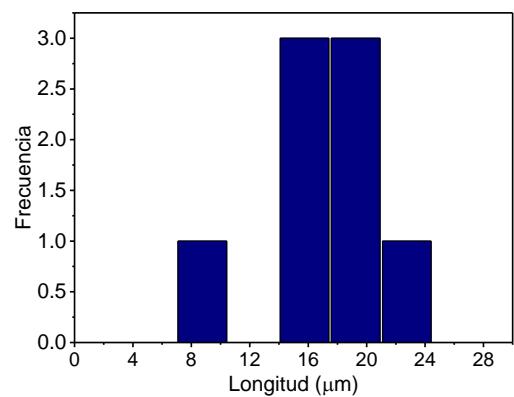


Figura 7. Histograma de frecuencias de la longitud de pellets encontradas en el efluente de la PTAR “Alseseca-Sur”.

### 3.3 Identificación de colores en los microplásticos

En cuanto al color se refiere, 14 de los fragmentos encontrados son transparentes, 12 negros, 5 azules, 4 amarillos, 3 rojos y 3 naranjas; los 8 restantes fueron de otro color o tenían más de un color (figura 8). Por otra parte, 14 de las fibras fueron de color transparente, 5 de color azul, 2 negras, 1 roja y 1 de más de un color (figura 9). Concerniente a los pellets, 3 fueron transparentes, 2 negros, 1 naranja, 1 rojo y el restante fue de más de un color (figura 10).

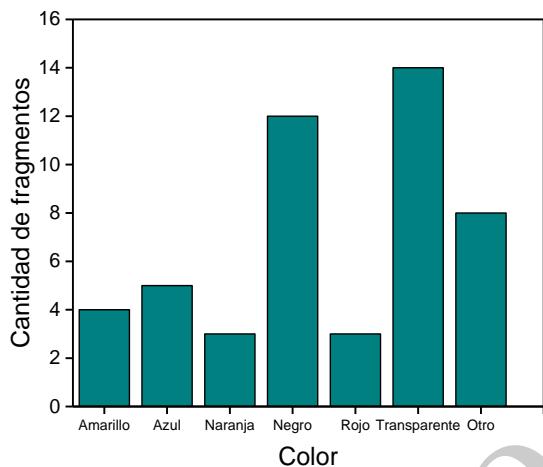


Figura 8. Distribución de colores de fragmentos encontrados en el efluente de la PTAR "Alseseca-Sur".

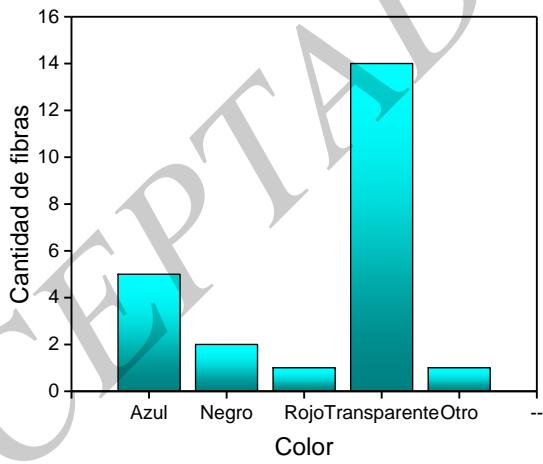


Figura 9. Distribución de colores de las fibras encontradas después de la separación de la muestra tomada del efluente de la PTAR "Alseseca-Sur".

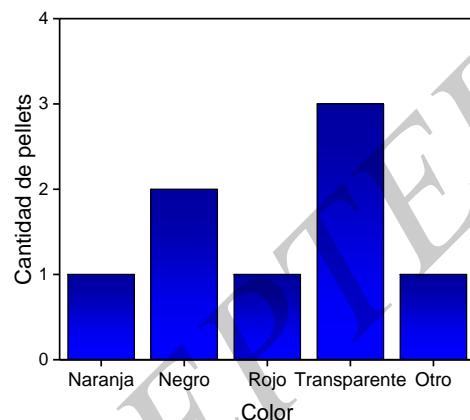


Figura 10. En la gráfica de barras se muestra la distribución de los colores de los pellets encontrados en el efluente de la PTAR "Alseseca-Sur".

### 4. Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos del número y tipo de microplásticos encontrados en la PTAR Alseseca-Sur (figura 4) se observan diferentes resultados con los reportados por diversos autores; en este sentido, los micropásticos que suele desechar una PTAR depende de las etapas de tratamiento, inclusive del país. En estudios realizados en 2017, en la ciudad de Sidney, Australia, se reportó la presencia de 1.5 MPs por litro de agua tratada en una PTAR que cuenta únicamente con un tratamiento primario; se hallaron principalmente fibras de Tereftalato de polietileno (PET) y en menor cantidad fragmentos de polietileno (PE). El agua residual que llega a la planta pasa por una operación de filtración con malla de 3 a 5 mm, para continuar con una eliminación de arenas y terminar con una operación de sedimentación. Esta planta trata 308 ML/día aproximadamente, por lo que en promedio descarga 462 millones de partículas plásticas al mar diariamente. En plantas con tratamiento terciario (ultrafiltración, ósmosis reversa y descarbonización) es posible remover más del 90% de los MPs que permanecieron tras el tratamiento primario (Ziajahromi et al, 2017). En la PTAR de Viikiinmaki (Golfo de Finlandia), se encontraron 180 partículas de fibras textiles y 430 partículas sintéticas por litro de agua ingresada a la planta; tras un tratamiento primario de sedimentación, la concentración disminuyó a un promedio de 14.2 ( $\pm 0.7$ ) fibras y 290.7 ( $\pm 28.2$ ) partículas; en total se descargan 4.9 ( $\pm 1.4$ ) fibras y 8.6 ( $\pm 2.5$ ) partículas por litro al Mar Báltico (Talvitie et al, 2015). El problema de los MPS se extiende a todos los continentes; por ejemplo, en plantas de tratamiento en Corea del Sur (2019) se han hallado hasta 11,880 pellets, 564 fragmentos y 280 fibras por litro; en estas, los tratamientos primarios son capaces de eliminar hasta el 64.4% de los MPs, mientras que con tratamientos terciarios de coagulación y ozono fue posible remover hasta un 99.2% de las partículas que ingresaron a la planta (Hidayaturrahman & Lee, 2019).

En este sentido, en plantas localizadas en la ciudad de Ensenada, BC, México (Ramírez-Álvarez et al, 2019) también se han hallado en promedio 0.49 ( $\pm 0.47$ ) MPs/L, las cuales

descargan entre 200 y 500 L diariamente al océano pacífico. La variación en la cantidad y el tipo de microplásticos encontrados en la PTAR Alseseca-Sur se puede explicar por el tipo y densidad de población, así como por las actividades socioeconómicas existentes en cada una de las ciudades a las que atienden dichas plantas (Browne et al, 2011). Es claro también, que las plantas de tratamiento de agua residual son un mecanismo de ingreso de microplásticos al ambiente. La alta cantidad de fibras halladas en el efluente de la PTAR “Alseseca-sur”, puede explicarse con el aumento del uso de telas sintéticas y por su desgaste durante los ciclos de lavado (Browne et al, 2011) (Bayo et al, 2016); se estima que la generación de fibras sintéticas producidas por los ciclos de lavado asciende a  $1.3 \times 10^7$  MPs, tan solo en el primer lavado de una prenda (Magni et al, 2019). Por otra parte, los fragmentos pueden asociarse a piezas más grandes de plástico desgastadas por los embistes del agua (Bayo et al, 2016) (Ziajahromi et al, 2017). Los altos índices de remoción en los tratamientos primarios pueden explicarse mediante la relación entre la densidad de los distintos polímeros y la acción de esta dentro de la sedimentación, ya que la densidad puede variar según el tipo y forma de plástico; la densidad también puede ser afectada por las incrustaciones de microorganismos generados por la naturaleza hidrofóbica de los plásticos (Zettler, Mincer, & Amaral-Zettler, 2013); además, otras sustancias pueden adherirse al polímero por su exposición a los distintos factores ambientales (Magni et al, 2019). Así, una partícula que tenga mayor injerencia de otros organismos y sustancias aumentará su densidad y con esto la probabilidad de sedimentarse (Murphy et al, 2016).

Tanto la bioincrustación como la adherencia de sustancias tóxicas, son factores de suma importancia al hablar de contaminación por microplásticos; aunque no se descargan directamente al agua, al sedimentarse terminan formando parte de los lodos de las plantas de tratamiento, muchos de los cuales, son utilizados como fertilizantes de suelos agrícolas. Esto significa que las PTARs no sólo estarían depositando microplásticos directamente al agua, sino también en los suelos y cultivos; estos a su vez se vuelven una fuente de partículas plásticas dentro de la alimentación y, de manera indirecta hacia el agua. Si bien en este trabajo de investigación no se determinó la densidad de las partículas halladas, es posible inferir que éstas tienen mayor probabilidad de estar compuestas por algún polímero de baja densidad, lo cual propicia que se sedimenten con mayor dificultad. En la PTAR “Alseseca-Sur”, el Tratamiento Primario Avanzado (TPA) hace uso de la floculación como parte del tratamiento; a su vez, la coagulación-floculación está asociada a la remoción de microplásticos. Diversas sustancias logran adherirse a los MPs alterando su carga eléctrica, de tal forma que suelen adquirir una carga negativa. Esto origina la coagulación de las partículas y su posterior floculación, dando como resultado su sedimentación (Murphy et al, 2016). Es aún necesario hacer pruebas que permitan determinar el nivel de efectividad de la coagulación-floculación en la remoción de microplásticos, así como los mecanismos mediante los cuales esto sucede (Wolff et al, 2019). A pesar de que los tratamientos primarios son los que mayor cantidad de

MPs remueven (50-90%), su descarga final sigue siendo de miles de millones, ya que al día se tratan miles de millones de litros de agua, lo que implica una gran cantidad de microplásticos descargados a los cuerpos de agua diariamente. La disminución de los plásticos de un solo uso y la producción de plásticos en general, así como un adecuado tratamiento de los residuos que se generan diariamente, pueden ayudar a disminuir el impacto de este problema. Se ha demostrado que los tratamientos secundarios, terciarios y especializados, pueden mejorar los porcentajes de remoción de los tratamientos primarios hasta casi el 100%. Por ejemplo, se estima que con un tratamiento terciario que incluya coagulación y ozonólisis, se logra una remoción hasta del 99.2% (Hidayaturrahman & Lee, 2019); tratamientos avanzados como la ósmosis inversa, pueden retirar más del 90% de las partículas residuales de un tratamiento primario (Ziajahromi et al, 2017). Una alternativa de tratamiento es el ultrasonido; a 300 W y a 45 °C, en solo 20 minutos se logra la degradación de hasta un 90% de partículas plásticas contenidas en un efluente. En 30 minutos las microburbujas generadas por el ultrasonido degradan casi al 100% las cadenas poliméricas; un resultado similar se logra al utilizar ozonólisis durante 30 minutos, solo que implica un alto costo en comparación con otros métodos (Chen et al, 2018). Finalmente, es importante señalar que no hay una metodología estandarizada para recuperar microplásticos; esto podría explicar la diferencia en el número de partículas halladas alrededor del mundo. Por tanto, es necesario establecer una metodología universal con el fin de obtener datos más certeros.

Respecto a la distribución de tamaño de los microplásticos; en la figura 5 se puede observar que más del 50% de la población midió menos de 20 µm; esto se puede deber a que mayor tamaño de partícula puede implicar mayor área, lo cual propiciará mayor coagulación. En consecuencia, los fragmentos de mayor longitud serán más propensos a coagularse-flocularse para, posteriormente, sedimentarse durante la primera etapa del tratamiento, mientras que los más pequeños lograrán permanecer en el agua hasta la descarga final (Murphy et al, 2016) (Magni et al, 2019). Durante un estudio realizado en Sidney, Australia, se encontró que el 20% de los fragmentos oscilaban entre 25 y 500 µm, tras un tratamiento primario; un tratamiento terciario permitió que las longitudes descendieran a un máximo de 100 µm (Ziajahromi et al, 2017). Con otros tratamientos primarios, como el realizado en Rüsselsheim, Alemania, fue posible reducir el tamaño del 95% de los fragmentos encontrados a entre 10 y 100 µm (Wolff et al, 2019).

Alrededor del mundo, los estudios realizados no muestran una tendencia de longitudes de fibras. En Australia se han reportado fibras de tamaño superior a los 100 µm, después de un tratamiento primario; con un tratamiento terciario y de ósmosis inversa, el tamaño osciló entre 100 y 190 µm (Ziajahromi et al, 2017). En contraste, en una PTAR de Alemania, el tamaño del 80% de las fibras midieron entre 100 y 1000 µm, tras un tratamiento primario (Wolff et al, 2019). Finalmente, en el norte de Italia, se han hallado fibras con tamaño entre 0.5 y 0.1 mm (Magni et al, 2019), siendo las de menor tamaño hasta ahora

encontradas en una PTAR. La variación en la longitud de las fibras (figura 6) se puede explicar por el uso de la instrumentación para recuperarlas; en algunos casos suelen utilizarse redes y/o filtros con distinto tamaño de poro, que va de 25 a 500  $\mu\text{m}$  (Ziajahromi et al, 2017). En otros casos se utilizan filtros con poros de  $5 \times 10^3$ ,  $2 \times 10^3$  y  $0.063 \mu\text{m}$  (Magni et al, 2019). Esta diferencia da como resultado que las fibras, al ser más angostas que los fragmentos y pellets, pueden atravesar los poros más pequeños (Ziajahromi et al, 2017), lo que también explica la mayor presencia de fibras en la mayoría de las investigaciones. En el caso de las fibras encontradas en PTAR Alseseca Sur, éstas variaron en un intervalo mayor en comparación con la literatura encontrada, lo que puede deberse a que se utilizó un único tamaño de poro. La variación de tamaño y la longitud del diámetro de los pellets fue mínima, lo cual puede deberse al tamaño de la muestra y a la estandarización de los pellets por parte de las industrias manufactureras; aunado a eso, se infiere que son las microesferas de menor densidad las que logran salir en la descarga final (Murphy et al, 2016) (Magni et al, 2019).

Las fibras son el tipo de MP que mayor variación de tamaño tienen, mientras que los pellets y los fragmentos se concentran en un menor intervalo de tamaños, lo que indica una mayor uniformidad en su longitud. Esto se puede explicar por la densidad de los distintos plásticos, como se ha comentado anteriormente. Según la literatura, tanto fragmentos como pellets tienden a ser de plásticos más densos (PET 1.38  $\text{g}/\text{m}^3$ ; PS 1.06  $\text{g}/\text{m}^3$ ), por lo que las piezas más grandes tenderán a sedimentarse o a ser removidas durante la coagulación-flocculación; en cambio, las fibras, al ser de polímeros de menor densidad como la poliamida (1.14  $\text{g}/\text{m}^3$ ) o el poliéster (1.1  $\text{g}/\text{m}^3$ ), aunado una menor área de contacto, tendrán menos probabilidad de sedimentarse y/o a coagularse, por lo que las fibras de mayor tamaño logran avanzar por el tren de tratamiento. Respecto a los colores de los microplásticos (figura 8), se ha encontrado en otros lugares del mundo hallazgos diferentes. En la PTAR de un tratamiento primario en Sidney Australia, 20% de los MPs encontrados corresponden a fragmentos azules, mientras que las fibras halladas son blancas y transparentes, con algunas verdes brillantes. En la PTAR con tratamiento secundario se encontraron mayoritariamente fibras negras y azules; en menor cantidad fragmentos rojos y azules, además de pellets rojos y azules. Además, en la PTAR con tratamiento terciario y osmosis inversa, se hallaron fragmentos blancos y azules, y algunas fibras negras (Ziajahromi et al, 2017). Finalmente, dentro de la planta de Glasgow, Escocia, fueron hallados MPs color rojo en un 26.7%, color azul en un 25.4% y verde en 19.1% (Murphy et al, 2016). La mayoría de microplásticos encontrados en la PTAR “Alseseca sur” son transparentes, lo cual se puede explicar por el efecto del peróxido al que fueron sometidas las muestras, el cual pudo provocar su decoloración (Nuelle et al, 2014).

Los colores observados corresponden a los hallados en otros estudios; sin embargo, su determinación es inusualmente determinado en las investigaciones realizadas en PTAR's, ya que se opta por determinar con precisión el tipo de plástico. Para ello se utilizan métodos espectrofotométricos como la espectroscopía

de infrarrojo (FT-IR) (Hidayaturrahman & Lee, 2019) (Ziajahromi et al, 2017) o Raman (Cabernard et al, 2018) (Wolff et al, 2019).

## 5. Conclusiones

En este trabajo se identificó la presencia de microplásticos en el efluente de la PTAR “Alseseca-Sur”. Las muestras de agua estudiadas corresponden a la descarga final de la planta.

Se hallaron un total de 81 partículas plásticas por cada litro de agua, las cuales se clasificaron como fragmentos, fibras y pellets; estos últimos son los más abundantes y con distribución de tamaño más uniforme.

Los microplásticos transparentes fueron los de mayor frecuencia en fragmentos, fibras y pellets; en menor cantidad se hallaron los de color negro y azul.

Finalmente, debido a que se han hallado microplásticos en animales marinos, plantas, sal comercial, agua de consumo humano, inclusive en algunas placetas humanas, se han implementado estrategias para reducir su presencia; estas incluyen la prohibición de productos que contengan microesferas plásticas presentes en productos de exfoliación, limpieza y/o enjuague.

## 6. Referencias

Arthur, C., Baker, J., & Bamford, H. (2009). Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30 [en línea]. <https://marinedebris.noaa.gov/> 9/09/2008

Bayo, J., Olmos, S., López-Castellanos, J., & Alcolea, A. (2016). Microplastics and microfibers in the sludge of a municipal wastewater treatment plant. International Journal of Sustainable Development and Planning, 11(5), 812-821. doi:10.2495/SDP-V11-N5-812-821

Bayo, J., Olmos, S., López-Castellanos, J., & Rojo, M. D. (2018). Emisión de microplásticos desde estaciones depuradoras de aguas residuales: ¿son los polímeros más demandados los más encontrados en nuestros efluentes? Obtenido de CONAMA 2018 [en línea]

Bao, R., Wang, Z., Qi, H., Mahmood, T., Cai, M., Zhang, Y., Yang, R., Peng, L. & Liu, F. (2022). Occurrence and distribution of microplastics in wastewater treatment plant in a tropical region of China. Journal of Cleaner Production, 349, 131454. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131454>.

Bodzek, M., Pohl, A. & Rosik-Dulewska, C. (2024). Microplastics in Wastewater Treatment Plants: Characteristics, Occurrence and Removal Technologies. Water, 16, 3574. <https://doi.org/10.3390/w16243574>.

<http://www.conama2018.org/web/generico.php?idpaginas=&lang=es&menu=438&idnavegacion=&tipoq=&op=&busqueda=S&q=&autor=javier+bayo&institucion=&tipoacto=&actividad=&tipodocumento=&comunicacion=&dirigida=&x=34&y=11&jornada=>

Becerril-Bravo, J. E. (2009). Contaminantes Emergentes en el Agua. Revista Digital Universitaria, 10(8), 1-7 [en línea] <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num8/art54/art54.pdf>

Bollaín-Pastor, C., Vicente-Agulló, D. (2019). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. Revista Española de Salud Pública, 93,1-10. [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1135-57272019000100012](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272019000100012)

Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. *Environmental Science & Technology*, 45, 9175-9179. doi:dx.doi.org/10.1021/es201811s

Browne, M., Dissanayake, A., Galloway, T., Lowe, D., & Thompson, R. (2008). Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental Science & Technology*, 42 (13), 5026-5031. <https://doi.org/10.1021/es800249a>

CONAGUA. (2019). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. 170. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/611037/Inventario\\_2019.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/611037/Inventario_2019.pdf)

Hidayaturrahman, H., & Lee, T.G. (2019). A study on characteristics of microplastics in wastewater of South Korea: Identification, quantification, and fate of microplastics during treatment process. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 696-702. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.071>

Liebezeit, G., & Dubaish, F. (2012). Microplastics in Beaches of the East Frisian Islands Spiekeroog and Kachelotplate. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 89, 213-217. doi:10.1007/s00128-012-0642-7

López-Zamora, R. J., & Montalvo-Vargas, R. (2015). Expansión urbana, agua potable y saneamiento en la zona metropolitana Puebla Tlaxcala (ZMPT). *Observatorio Iberoamericano del Desarrollo Local y la Economía Social* 18,1-16 [en línea] [http://www.agua.unam.mx/padhpot/assets/cdh/generales/Art\\_OIDLES\\_Diciembre15.pdf](http://www.agua.unam.mx/padhpot/assets/cdh/generales/Art_OIDLES_Diciembre15.pdf)

López-Castellanos, J., Olmos-Espinar, S., & Bayo-Bernal, J. (2020). Emergentes y ubicuos: microplásticos en aguas residuales y EDAR. Monitorización de cuatro EDAR en el régión de Murcia. *TECNO-AQUA*(45), 60-70 [en línea]

<https://www.tecnoaqua.es/articulos/20210813/articulo-tecnico-microplasticos-aguas-residuales-monitorizacion-estacion-depuradora-aguas-residuales-murcia>

Magni, S., Binelli, A., Pittura, L., Avio, C. G., Della Torre, C., Parenti, C. C., Gorbi, S., & Regoli, F. (2019). The fate of microplastics in an Italian Wastewater Treatment Plant. *Science of the Total Environment*, 652, 602-610. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.269>.

Montecinos, S., Gil, M., Tognana, S., Salgueiro, W. & Amalvy, J. (2022). Distribution of microplastics present in a stream that receives discharge from wastewater treatment plants. *Environmental Pollution*, 314, 120299. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120299>.

Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., & Quinn, B. (2016). Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment. *Environmental Science & Technology*, 50 (11) 5800-5808. doi:10.1021/acs.est.5b05416

Nuelle, M.T., Dekiff, J., Remy, D., & Fries, E. (2014). A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. *Environmental Pollution* (184), 161-169, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.07.027>

Plastic Oceans. (2021). Plastic Oceans - The Facts [en línea] <https://plasticoceans.org/the-facts/>

Prata, J., da Costa, J., Duarte, A., & Rocha-Santos, T. (2019). Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review. *Trends in Analytical Chemistry*, 110, 150-159, <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.029>

Ramírez-Álvarez, N., Mendoza, L., Macías-Zamora, J. V., Oregel-Vázquez, L., Alvarez-Aguilar, A., Hernández-Guzmán, F. A., Sánchez Osorio J.L., Mooree C. J., Silva-Jiménez H., & Navarro-Olache, L. F. (2019). Microplastics: Sources and Distribution in Surface Waters and Sediments of Todos Santos Bay, Mexico. *Science of the Total Environment* 703, 1-10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134838>

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (11 de Febrero de 1980). NMX-AA-003-1980 Aguas residuales.-Muestreo. 8. Distrito Federal, México.

SEMARNAT (2019) Norma Oficial Mexicana NMX-AA-003-SCFI-2019. Análisis de agua-muestreo de aguas residuales y residuales tratadas.

Shruti, V. C., Jonathan, M. P., Rodríguez-Espinosa, P. F., & Rodríguez-González, F. (2019). Microplastics in freshwater sediments of Atoyac River basin, Puebla City, Mexico. *Science of The Total Environment*, 654, 154-163. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.11.054

Singh, B., & Sharma, N. (2008). Mechanistic implications of plastic degradation. *Polymer Degradation and Stability*, 93, 561-584. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2007.11.008

Talvitie, J., Heinonen, M., Pääkkönen, J.P., Vahtera, E., Mikola, A., Setälä, O., & Vahala, R. (2015). Do wastewater treatment plants act as a potential point source of microplastics? Preliminary study in the coastal Gulf of Finland, Baltic Sea. *Water Science & Technology*, 2015;72(9):1495-504. doi: 10.2166/wst.2015.360.

Thompson, R. C., Moore, C. J., vom Saal, F. S., & Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of The Royal Society*, 364, 2153-2166. doi:10.1098/rstb.2009.0053

Wolff, S., Kerpen, J., Prediger, J., Barkmann, L., & Müller, L. (2019). Determination of the microplastics emission in the effluent of a municipal waste water treatment plant using Raman microspectroscopy. *Water Research X. Water Science & Technology* 72(9), 1495-1504. doi:https://doi.org/10.1016/j.wroa.2018.100014.

Yaseen, A., Assad, I., Sofi, M.S., Hashmi, M.Z., & Bhat, S.U. (2022). A global review of microplastics in wastewater treatment plants: Understanding their occurrence, fate and impact. *Environmental Research*, 212(Pt B):113258. doi: 10.1016/j.envres.2022.113258.

Zettler, E. R., Mincer, T. J., & Amaral-Zettler, L. A. (2013). Life in the "Plastisphere": Microbial Communities on Plastic Marine Debris. *Environmental Science & Technology*, 47 (13) 7137–7146. doi:dx.doi.org/10.1021/es401288x

Ziajahromi, S., Neale, P. A., Rintoul, L., & Leush, F. (2017). Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: development of a new approach to sample wastewater-based microplastics. *Water Research*. 112, 93-99. doi:10.1016/j.watres.2017.01.042

### **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido parcialmente apoyado por la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (00489-PV/2024)

ACEPTADO-ACCEPTED