

Contaminación por microplásticos en agua superficial de la Cuenca del Río Guanajuato

Jahzeel Elizarraraz Cabrera¹, Luis Daniel Juárez Villalobos², Eduardo Manson Arroyo³, Mauricio Felipe Rivera Ortiz⁴, Rosa Karla Olmos Cruz¹, Claudia Ileana Popoca Guzmán¹, Juan Pablo Huchin Mian*¹.

¹Licenciatura en Biología Experimental. Universidad de Guanajuato, Noria Alta S/N, C.P. 36050. Guanajuato, Gto., México.

²Licenciatura en Químico Farmacéutico Biólogo. Universidad de Guanajuato, Noria Alta S/N, C.P. 36050. Guanajuato, Gto., México.

³Licenciatura en Ingeniería en Biotecnología. Universidad de Guanajuato, Av. Ing. Barros Sierra No. 201 Ejido de Santa María del Refugio, C.P. 38140 Celaya, Guanajuato, México.

⁴Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato. Universidad de Guanajuato, Alameda S/N ; Colonia Centro; C.P. 36000; Guanajuato, Gto., México.

jp.huchin@ugto.mx¹

Resumen

La contaminación por plásticos es un problema a nivel mundial que afecta negativamente a los ecosistemas. Una de las consecuencias de esta contaminación radica en la generación de microplásticos (MPs), los cuales se definen como polímeros sintéticos con un tamaño menor a los 5 mm. En este trabajo se analizaron muestras de agua superficial provenientes de la cuenca del Río Guanajuato. La cuenca se dividió en tres zonas dependiendo de la altitud y ubicación a lo largo del río en: cuenca baja (< 1900 m s.n.m.), cuenca media (1900-2200 m s.n.m.), y cuenca alta (2201-2500 m s.n.m.). En las tres cuencas, se aisló un total de 1,370 MPs. La mayor abundancia de MPs (n=624) se encontró en la cuenca media que representó el 45.5% del total aislado, seguida de la cuenca alta con 470 MPs (34.30%), y finalmente, la cuenca baja con 276 MPs (20.15%). No se encontró diferencia significativa en el tamaño de los MPs encontrados en las tres cuencas ($p > 0.05$); tampoco una asociación entre la altitud de la cuenca y la abundancia de MPs ($p > 0.05$). La cuenca del río Guanajuato presenta una alta contaminación por MPs; por lo tanto, es necesario realizar más estudios para conocer el cambio de abundancias a largo plazo y su posible influencia en la biota que se encuentra en este ecosistema riveroño.

Palabras clave: plásticos, agua, basura, presa la Purísima, ingesta.

Introducción

La contaminación por plásticos es un problema a nivel mundial que afecta negativamente a los ecosistemas. Actualmente se estima que se producen más de 6300 millones de toneladas métricas de plástico a nivel mundial (Geyer *et al.*, 2017), de las cuales México contribuye con el 2% de la producción. Además, se estima que cada mexicano consume alrededor de 48 kg de plástico al año (Senado de la República, 2018). La alta demanda de plásticos junto con el mal manejo e inadecuada disposición de estos han contribuido a que la contaminación por estos materiales sea una amenaza en los cuerpos de agua continentales y marinos. Una de las consecuencias de esta contaminación por plásticos radica en la generación de microplásticos (MPs), los cuales se definen como polímeros sintéticos con un tamaño menor a los 5 mm, los cuales son apenas perceptibles a simple vista (Kumar *et al.*, 2021) (Figura 1).



Figura 1. Ejemplo de microplásticos tipo fragmento (The Royal Society, 2019).

Los MPs se clasifican como primarios o secundarios dependiendo de su fuente. Los MPs primarios son aquellos que provienen de productos cosméticos y de limpieza, como productos de higiene personal, pinturas, detergentes, entre otras fuentes. Mientras que los MPs secundarios son aquellos que se obtienen de la degradación de MPs por diferentes procesos como la biodegradación, fotodegradación, degradación termo oxidativa o hidrólisis (Andrady 2011). Los MPs pueden ser transportados a los cuerpos de agua por eventos naturales como las lluvias, las corrientes de los ríos y del aire (Castro-Jiménez *et al.*, 2019). Al llegar a los cuerpos de agua, los MPs presentan diferentes destinos ya que pueden acumularse, transportarse por el agua superficial o depositarse en el sedimento lo cual depende de características físicas como la densidad, forma, tamaño, diámetro, composición y fuerzas de flotación que los MPs pueden llegar a presentar (Zbyszewski *et al.*, 2014; Andrady 2017);

Debido a su fácil transporte y concentración, los MPs puede tener grandes efectos en la diversidad de especies acuáticas ya que, debido a su pequeño tamaño, se ha evidenciado que son ingeridos por distintos organismos ocasionando que estos puedan bioacumularse y biomagnificarse ya que se transfieren entre especies debido a las cadenas alimenticias por lo que pueden ir desde pequeños peces, a peces más grandes y eventualmente a los humanos. (Kumar *et al* 2021). Además, estos pueden presentar un efecto tóxico (Anderson *et al.* 2016) debido a la liberación de los aditivos del plástico y la exposición a contaminantes asociados a ellos (Andrady 2011; Cole *et al.*, 2011; Ross and Morales-Caselles, 2015). Lo anterior puede causar un impacto sobre la biodiversidad en medios acuáticos en todo el mundo (Andrady 2011; Kumar *et al.*, 2021).

La presencia de MPs en los cuerpos de agua dulce cercana a las grandes ciudades se debe principalmente a actividades antropogénicas de origen industrial, agrícola o pesquero, así como a los desechos presentes en las aguas residuales, sus plantas de tratamiento, aguas pluviales y la deposición atmosférica (McCormick *et al.*, 2014; Guerranti *et al.*, 2017; Kumar *et al.*, 2020b). La abundancia de MPs en cuerpos de agua dulce en el estado de Guanajuato es desconocido. Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio fue cuantificar y caracterizar los MPs en agua superficial a lo largo de la cuenca del Río Guanajuato que es considerado un cuerpo de agua de importancia ecológica para la ciudad de Guanajuato.

Materiales y métodos

Sitios de muestreo

Los muestreos se realizaron a lo largo de la cuenca del río Guanajuato, la cual se dividió en tres zonas dependiendo de la altitud y ubicación en: cuenca baja (< 1900 m s.n.m.), cuenca media (1900-2200 m s.n.m.), y cuenca alta (2201-2500 m s.n.m.). En la cuenca alta, se realizaron muestreos de agua superficial en Rancho en la Sierra de Santa Rosa y dos sitios en el Área Natural Protegida de Las Palomas; en la cuenca media, se tomaron muestras en la presa de Los Santos, Presa de la Olla y Presa de la Soledad; y para la cuenca baja, se colectaron muestras en cuatro sitios: Molineros, Capulín, Chapin y Trinidad (Figura 2).

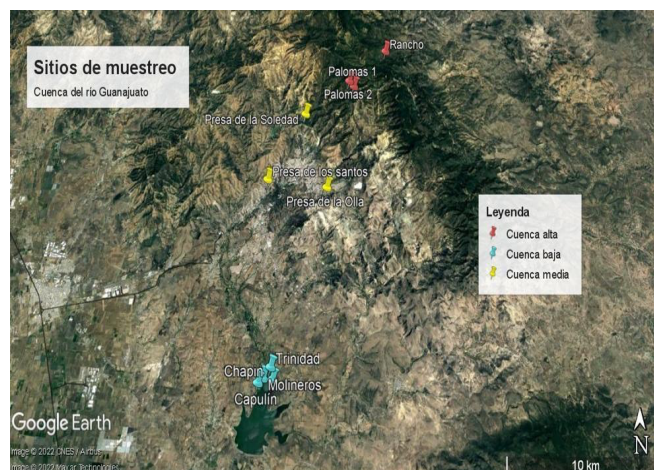


Figura 2. Mapa de sitios de muestreo ubicados en la cuenca del Río Guanajuato, México.

Recolección de muestras

Una vez identificados los sitios de muestreo, se procedió a recolectar muestras de agua superficial mediante recipientes de vidrio (1 L), las botellas fueron previamente lavadas dos veces con agua destilada para retirar posibles MPs en su interior. En casa sitio de muestreo se colectó 1 L de agua superficial por triplicado. En todos los sitios fue utilizada la misma metodología, se recolectó la muestra de agua superficial llenando completamente la botella y posteriormente etiquetándola con el nombre del sitio.

Procesamiento de muestras

Cada litro de agua fue colocado en vasos de precipitado, se agregó 20 ml de peróxido de hidrógeno al 30% (H_2O_2), así como 20 ml de Hierro a 0.05 M. Posteriormente, la muestra fue colocada en una placa de calentamiento y fueron calentados entre 60° y 70°C durante 30 minutos, con agitación constante. Se tuvo cuidado de no sobrecalentar la muestra, en caso de superar la temperatura indicada, utilizando unos guantes protectores, se retiraba el vaso de la placa. Pasado el tiempo de calentamiento, se procedió a dejar enfriar las muestras, durante 45 min aproximadamente, para una mejor manipulación. Luego de esto, las muestras de agua fueron filtradas con la ayuda de una bomba de vacío conectada a un matraz de Kitasato al cual se le colocó un embudo y en él fueron colocados filtros con ayuda de agua destilada para facilitar su adhesión. Una vez hecho esto, se ajustó un vaso de filtración sujetado con abrazaderas, para posteriormente filtrar cada muestra y retirar cada filtro obtenido. Los filtros fueron colocados en cajas petri de vidrio y fueron etiquetadas con el nombre del sitio.

Identificación y caracterización de microplásticos

Finalmente, los filtros obtenidos del procesamiento de las muestras de agua fueron observados en un microscopio estereoscópico (Motic SMZ-171), identificando a los MPs de la materia orgánica con ayuda de agujas de disección: los MPs son resistentes a la presión de las agujas, mientras que la materia orgánica se deshace al tocarlas con las agujas. Una vez identificados los MPs, se cuantificaron y caracterizaron de acuerdo con su forma (filamento, film, esfera, o fragmento) y su color. Además, fueron agrupados una submuestra de aproximadamente 30 MPs de cada réplica para fotografiarlos y posteriormente medirlos con la ayuda del programa "ImageJ →". Las medidas y abundancias de los MPs fueron colocadas en una base de datos de Excel para posteriormente realizar los análisis estadísticos (ANOVA de 1-vía).

Resultados

Se aislaron y caracterizaron un total de 1,370 MPs provenientes de las tres cuencas. La cuenca media fue la que presentó la mayor abundancia de MPs con 624 (45.5%), seguida de la cuenca alta con 470 MPs (34.3%), y finalmente, la cuenca baja con 276 MPs (20.15%). Además, en los sitios de estudio de cada una de las cuencas se observaron diferencias en las abundancias de MPs: el sitio con mayor cantidad de MPs, en la cuenca media, fue la presa de la Soledad con 337 MPs. Por otro lado, en la cuenca Alta fue el sitio Palomas 2, y en la cuenca Baja fue en el sitio denominado como Capulín (Tabla 1).

Tabla 1. Abundancia de microplásticos por sitio de muestreo.

Cuenca	Sitio	Total
Cuenca Alta	Rancho Santa Rosa	131
	Palomas 1	139
	Palomas 2	200
Cuenca Media	Presa de la Soledad	337
	Presa de los Santos	123
	Presa de la Olla	164
Cuenca Baja	Molineros	70
	Capulín	84
	Chapín	68
	Trinidad	54
Gran total		1370

Por otro lado, la cantidad de MPs obtenida en cada uno de los sitios se analizó mediante un gráfico Boxplot para visualizar la distribución y variabilidad de las abundancias de MPs a lo largo de la cuenca del Río Guanajuato. Se observó que los sitios de muestreo en la cuenca media presentaron una mayor variabilidad en las abundancias de MPs, mientras que los sitios de muestreo en la cuenca baja fueron los que mostraron una menor variabilidad en las abundancias de MPs (Figura 3).

El análisis estadístico de los datos reveló diferencias significativas en la abundancia de MPs en las tres cuencas ($p=0.0006$, ANOVA-1 vía). La abundancia de MPs fue significativamente mayor en la cuenca media ($\bar{x}= 96.7$ MPs) comparado con la cuenca alta ($\bar{x}= 47.4$ MPs) y baja ($\bar{x} = 22.2$ MPs) del Río Guanajuato.

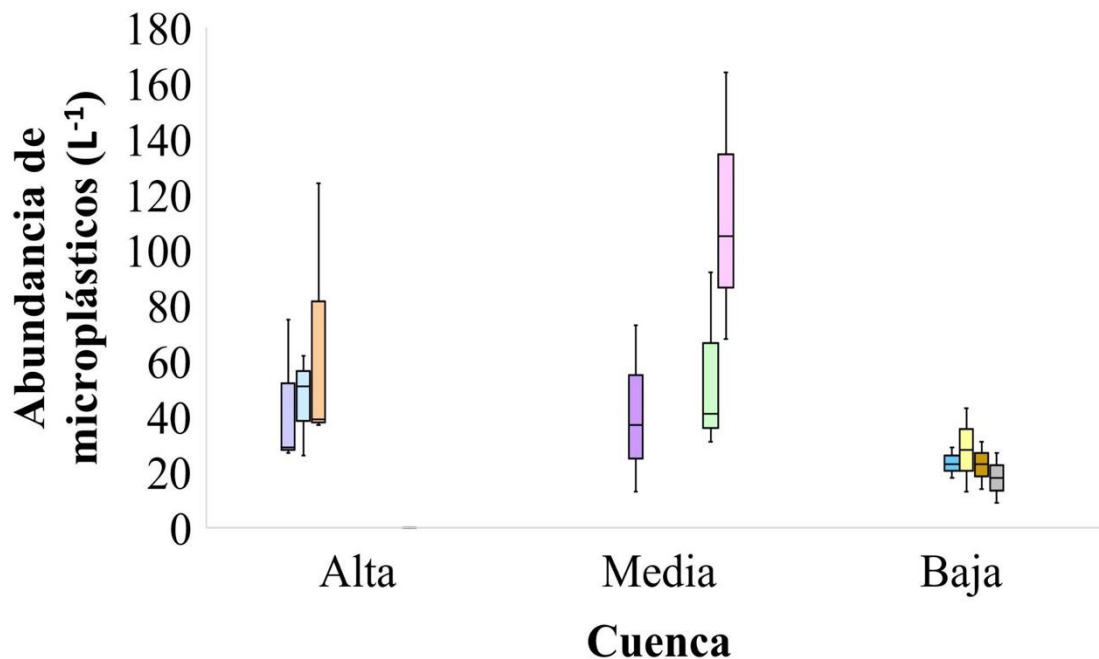


Figura 3. Abundancia de los microplásticos por litro en relación con el sitio de muestreo.

Se encontró tres principales tipos de MPs en los diferentes sitios de muestreo, estos fueron: filamentos, fragmentos y film, los cuales se pueden observar en la Figura 4.

El tipo de MP más común fue el filamento con el 95% del total, el restante 5% estuvo conformado por fragmentos, gránulos y films (Figura 5A). Cuando los datos se analizaron según la zona de la cuenca, se encontró que los filamentos representaban el 91% y el 96% de los MPs provenientes de la cuenca alta y media, respectivamente (Figura 5 B, C); mientras que, en la cuenca baja, el 100% de los MPs aislados fueron de tipo filamento (Figura 5 D).

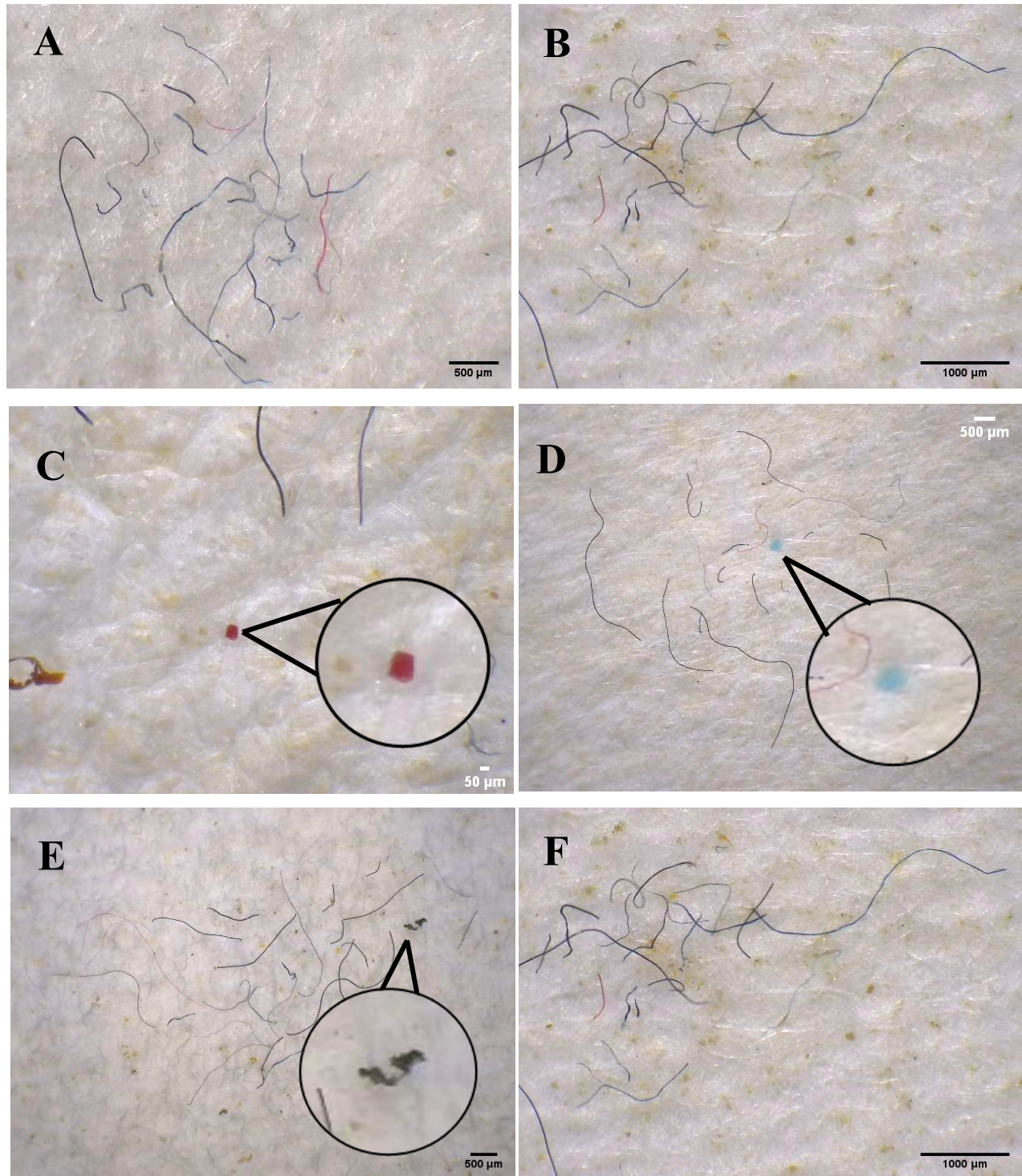


Figura 4. Tipos de microplásticos identificados en cuerpos de agua dulce de la cuenca del Río Guanajuato. A B y F: filamentos, C y D: fragmentos y E: film.

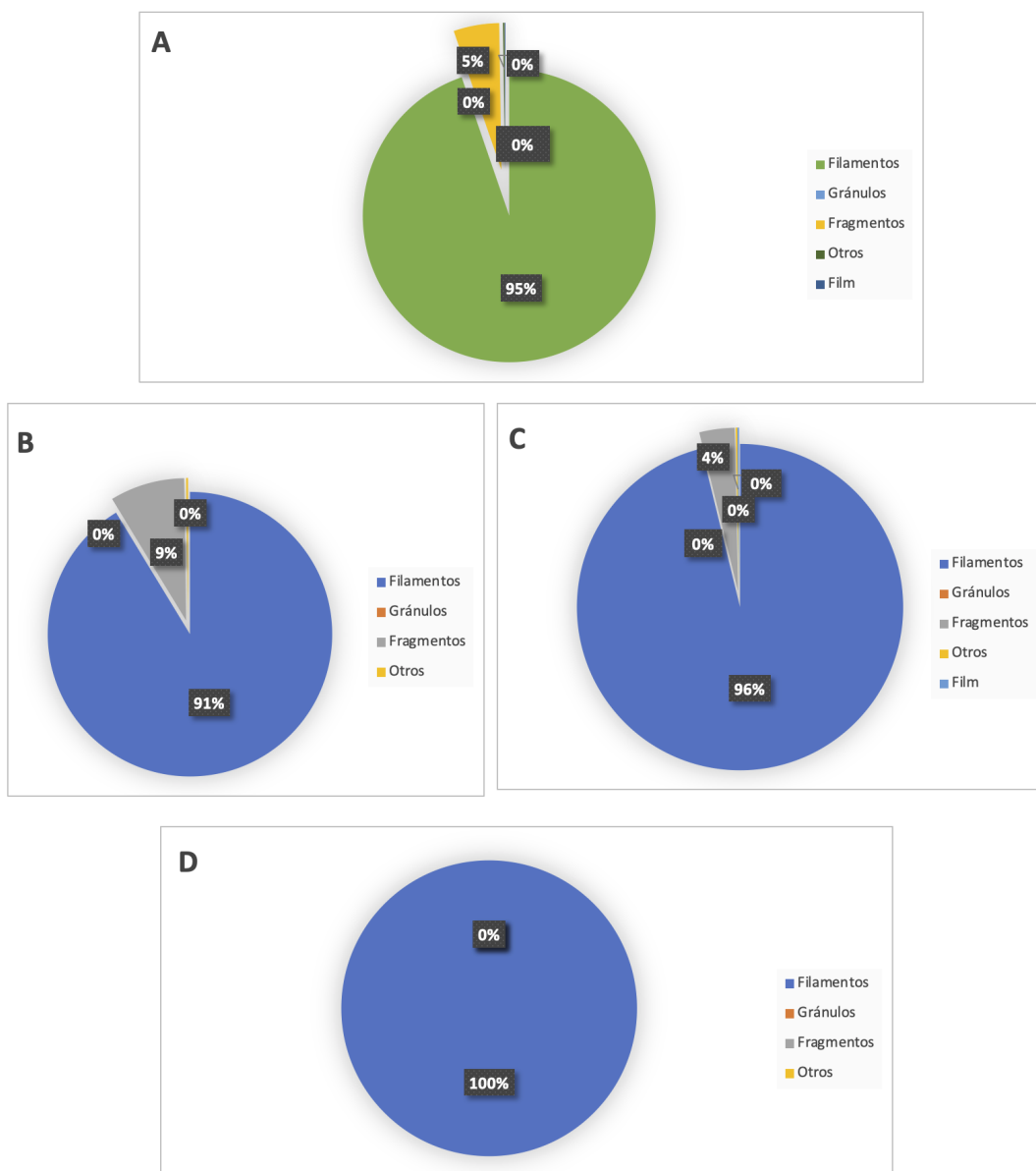


Figura 5. Porcentajes de microplásticos de acuerdo con su forma. A: Microplásticos totales, B: Cuenca Alta, C: Cuenca Media y D: Cuenca Baja.

Además, los MPs fueron clasificados según el color. Se encontraron diferencias en los porcentajes de colores de los MPs según la cuenca (Figura 6). En la cuenca alta y en la cuenca media se encontró un mayor porcentaje de MPs de color negro con el 61% y el 47%, respectivamente (Figura 6 A, B). Este color fue seguido del azul que representó un poco más del 30% en ambas cuencas. Cabe resaltar que se presentaron otros colores como el rojo y los transparentes, pero estos conformaron menos del 10% del total. En la cuenca media se reportó la existencia de MPs de color verde, aunque representaron sólo el 1%. Con respecto a la cuenca baja, el 49% de los MPs fueron azules, seguido del negro con 46%, y en menor porcentaje los MPs transparentes y los de color rojo (Figura 6 C).

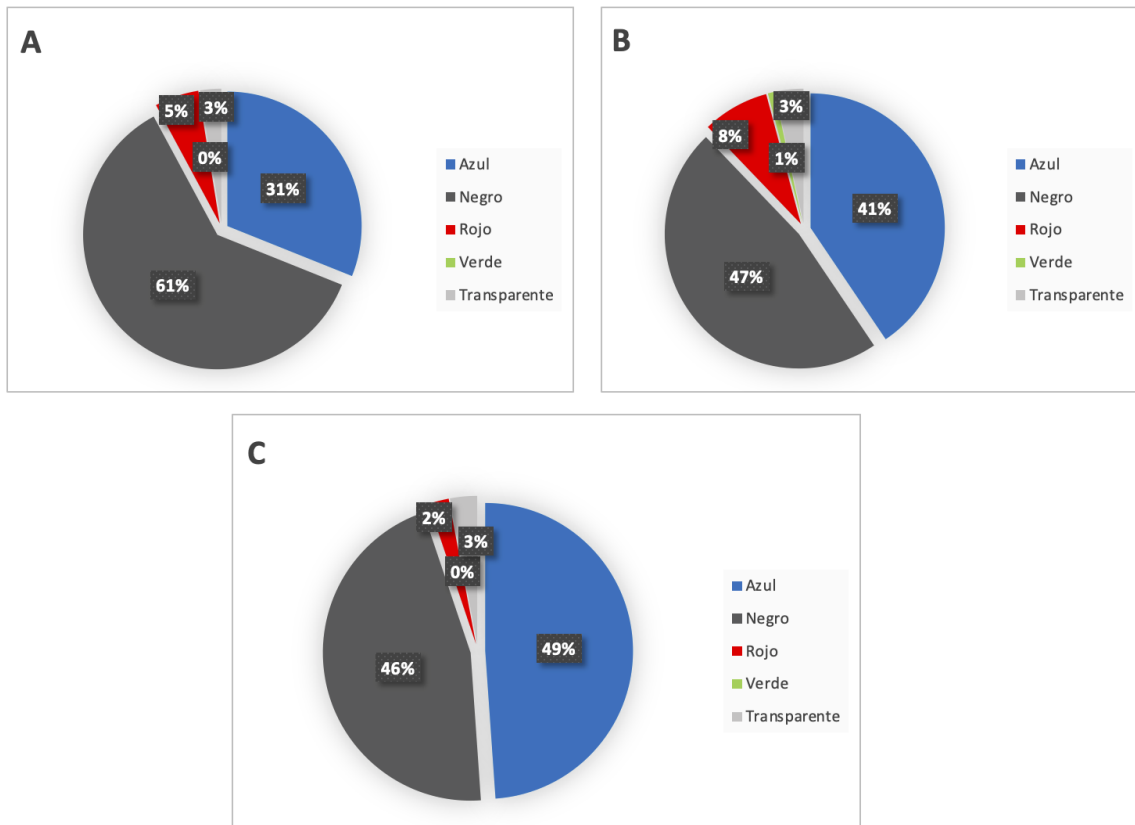


Figura 6. Porcentajes de microplásticos de acuerdo con su color. A: Cuenca Alta, B: Cuenca Media y C: Cuenca Baja

Por otra parte, para determinar si existe una relación entre abundancia de MPs y la altitud de cada uno de los sitios de muestreo se realizó una regresión lineal (Figura 7), en la cual se encontró una baja asociación entre la abundancia de MPs y la altitud del sitio de muestreo ($R^2 = 0.35$); por lo tanto, indica que existen otros factores que van a determinar la cantidad de MPs presente en cada sitio.

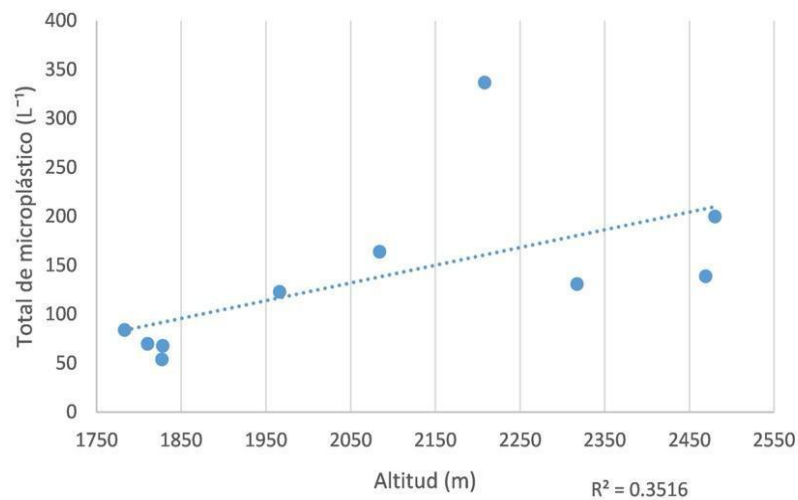


Figura 7. Regresión lineal entre altitud de los sitios de muestreo y la abundancia de microplásticos.

Finalmente, con el propósito de determinar si la zona de la cuenca influía en el tamaño de los MPs aislados, se realizó un Boxplot. En la figura 8 se puede apreciar que en todos los sitios de muestreo el tamaño de los MPs difiere mucho entre ellos, esto es muy notorio tanto en el tamaño de las cajas, así como la diferencia entre los valores máximos y mínimos, y sobre todo por la presencia de valores atípicos en la mayoría de los sitios de muestreo. El tamaño promedio de los MPs fue de 1204.4 μm (cuenca alta), 1135.6 μm (cuenca media), y 1061.4 μm (cuenca baja); sin embargo, el análisis estadístico reveló que no existe diferencia significativa en el tamaño promedio de los MPs entre las diferentes cuencas (ANOVA-1 vía, $p=0.63$).

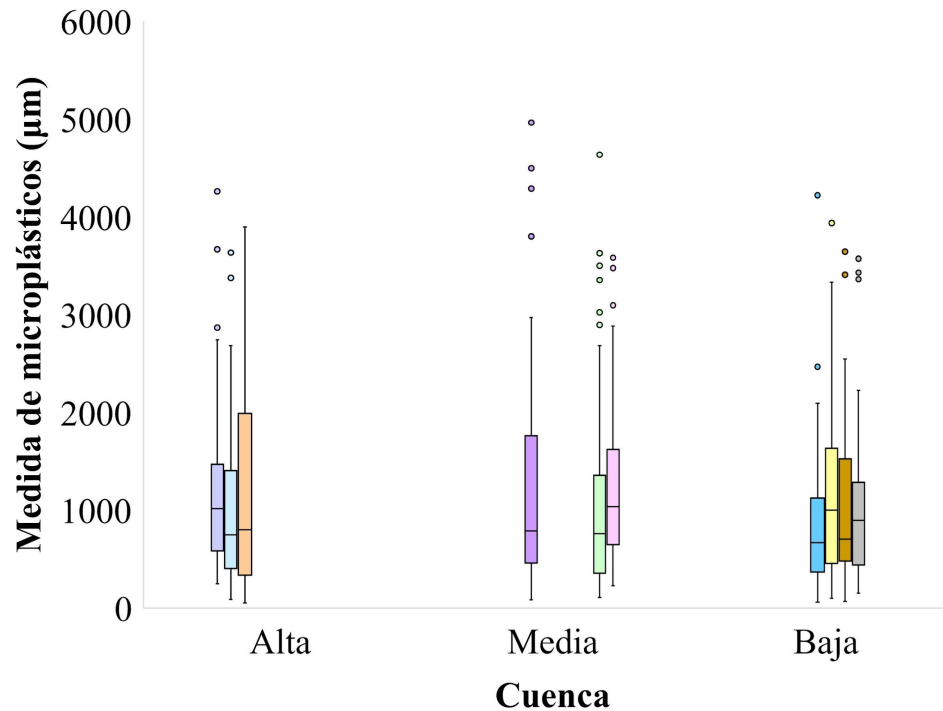


Figura 8. Tamaño de los microplásticos aislados según el sitio de muestreo.

Discusión

La presencia de MPs en distintos cuerpos de agua dulce es una problemática emergente y real, con este estudio se ha comprobado su existencia en la cuenca del Río Guanajuato; además, es de interés debido a los grandes impactos ecológicos y a la salud con los que se relaciona la exposición a MPs, la cual se debe principalmente al uso que se le da al agua dulce como la que se encuentra en las presas que son parte del río Guanajuato. Las presas tienen un volumen importante de agua que abastecen a la ciudad de Guanajuato en un 40% (Ochoa, 2019). Por lo tanto, representa una amenaza para la población, ya que el agua contaminada es utilizada para realizar actividades cotidianas como el lavado de alimentos y para uso personal, sin mencionar el riego para la agricultura (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2019). Aunado a esto, las presas y ríos de Guanajuato son hábitat de un gran número de especies, incluyendo especies endémicas de la región, tal es el caso de la Presa la Purísima, la cual alberga 215 especies de fauna de las cuales 43 son endémicas (Cauce Bajío, 2021). Estas especies pueden consumir los MPs y estar expuestos a los posibles efectos tóxicos que pueden provocar daños a órganos e incluso la muerte (Kumar *et al.*, 2021).

Una reducción en la biodiversidad biológica puede generarse un impacto económico en lugares cercanos y a su vez problemas alimenticios derivados de la pérdida y reducción de la fauna acuática (Song, 2018). También, tienen efectos sobre las zonas urbanas ya que su acumulación a largo plazo provoca daños en los sistemas de drenaje lo que puede causar inundaciones.

Por otra parte, la abundancia de MPs fue diferente en cada una de las cuencas estudiadas. Las cuencas alta y baja fueron las que presentaron menor porcentaje de MPs esto puede deberse a las diferentes condiciones

en las que se encuentran los sitios tanto en altitud, urbanización o a la precipitación de lluvias. Contrario a lo que se esperaba, la cuenca alta que se encuentra alejada de zonas urbanas encontramos MPs, la existencia de estos puede deberse a la deposición atmosférica de los MPs, la cual se ha reportado como una de las causas principales de presencia de MPs en zonas alejadas de la urbanización (Leahy, 2019). Es importante mencionar que se ha comenzado a considerar a los MPs como un nuevo contaminante atmosférico ya que partículas muy pequeñas son capaces de viajar por el aire y depositarse en zonas no habitadas o poco habitadas como estas cuencas (Kumar *et al.*, 2020a).

Por otro lado, la cuenca media obtuvo una mayor cantidad de MPs, en esta zona se encuentra ubicada la ciudad de Guanajuato, lo que sugiere que esta alta abundancia de MPs se debe a la actividad urbana en comparación con la cuenca alta y la cuenca baja, por lo que era de esperarse que los valores de MPs fueran mayores debido a distintos factores ya mencionados como la mala disposición de residuos plásticos en zonas aledañas a los sitios de muestreo por parte de sus habitantes, los cuales por medio de la fragmentación y la degradación que sufren por actividades humanas pueden llegar a ser la principal fuente de transporte de los MPs a zonas como ríos, lagos, lagunas, y presas (Andrady 2011).

También, se sospecha que la deposición atmosférica juega un papel importante en la abundancia de los MPs de la cuenca media pues debido a la época del año en la que se realizaron los muestreos la lluvia y el viento pudieran ser un factor significativo en el transporte de MPs que por su tamaño son fácilmente transportados, siendo que este hecho explicaría la abundancia de MPs en la Presa de la Soledad, la cual se encuentra ubicada en una zona un tanto apartada de la ciudad.

Por otro lado, de acuerdo con el tamaño de los MPs, se encontró que este no difirió mucho entre los diferentes sitios, lo que sugiere que las fuentes de estos contaminantes son los mismos. Además, posiblemente estos MPs son de reciente deposición, pero cabe la posibilidad de que con el tiempo los MPs de mayor tamaño puedan fragmentarse de forma mecánica por fricción o turbulencia del río en temporadas de alta precipitación cuando el río alcanza un mayor cauce (Kumar *et al.*, 2020b).

Además, como ya se mencionó con anterioridad, la aparición de filamentos en las cuencas estudiadas fue de un 95%. Las diferencias en la forma de los MPs encontrados en el agua puede deberse a las actividades de cada región (Acosta *et al.*, 2022). Particularmente estos filamentos pueden originarse a partir de efluentes domésticos, como el lavado de ropa elaborada con fibras sintéticas, además de la utilización de productos de cuidado personal como pasta de dientes, exfoliantes corporales y productos de maquillaje tales como las sombras para ojos, iluminadores y rubores faciales (Andrady 2011; Laskar and Kumar, 2019; Kumar *et al.*, 2020a). Además, otro posible origen de estos filamentos puede ser la degradación de materiales utilizados para la pesca, como la rotura de redes y líneas de pesca (Acosta *et al.*, 2022), esto especialmente en la presa La Purísima, donde cabe mencionar se realiza esta actividad para el comercio y de manera recreativa.

Finalmente, debido a la falta de estudios e información respecto a la relación entre la altitud y la cantidad de MPs presentes, se propone realizar investigaciones posteriores a mayores alturas. Asimismo, se recomienda realizar un estudio más a fondo en los sitios analizados con el fin de lograr determinar el tipo de polímero del cual provienen los MPs identificados en las cuencas del río Guanajuato, para a su vez ser capaces de inferir el origen principal de la contaminación por MPs en los cuerpos de agua del estado y con esto, poder tomar acciones preventivas y de rehabilitación.

Conclusiones

En el presente trabajo se encontró una mayor cantidad de MPs en la cuenca media del Río Guanajuato, atribuyendo los resultados principalmente al entorno urbano, mientras que los MPs hallados en la cuenca alta pudieron haber llegado por deposición atmosférica. Así mismo no se reveló diferencia significativa en el tamaño de los MPs encontrados en las diferentes cuencas y no hay evidencia de una relación entre la altitud y la abundancia de MPs. Se recomienda continuar con otras investigaciones relacionadas con la abundancia, caracterización y efectos causados a la biota por los MPs en el ecosistema de la cuenca del río Guanajuato para conocer los impactos que tiene esta contaminación emergente en este importante cuerpo de agua.

Agradecimientos

A la Universidad de Guanajuato por la beca otorgada, a través del XXVII Verano de la Ciencia, a los estudiantes JEC, LDJV, EMA, MFRO, RKOC, CIPG. También agradecemos el financiamiento de la Convocatoria Institucional de Investigación Científica (CIIC-2022) de la Universidad de Guanajuato por el financiamiento del proyecto “Abundancia y transferencia trófica de microplásticos en el Área Natural Protegida Presa La Purísima, Guanajuato (206/2022)” a cargo del Dr. Juan Pablo Huchin Mian.

Referencias

- Acosta, G., Carrillo, D. y Caballero, J. (2022). Microplásticos en agua y en organismos. *Revista Ciencia*, 73 (2), 14-21.
- Almroth, B.M.C. et al. (2018). Quantifying shedding of synthetic fibers from textiles; a source of microplastics released into the environment. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25, 1191–1199.
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 62(8), 1596-1605.
- Anderson, J. C.Park, B. J., & Palace, V. P. (2016). Microplastics in aquatic environments: implications for Canadian ecosystems. *Environmental Pollution*, 218, 269-280.
- Browne, M.A., et al. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environ. Sci. Technol.* 45, 9175–9179.
- Castro-Jiménez, J., et al. (2019). Macro-litter in surface waters from the Rhone River: plastic pollution and loading to the NW Mediterranean Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 146, 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.067>
- Cauce Bajío. (2021). Las cuencas de agua que dan vida a Guanajuato. Fecha consulta: 07/07/22. Recuperado de: <https://caucebajio.com/los-cuerpos-de-agua-que-dan-vida-a-guanajuato/>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2019). ¿Sabes cuál es la función de las presas? Gobierno de México. Fecha de consulta: 07/07/22. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/sabes-cuales-la-funcion-de-las-presas#:~:text=Las%20presas%20son%20estructuras%20hidr%C3%A1ulicas,de%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica%2C%20entre%20otras.>
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T.S., (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 2588e2597.
- Geyer, R., et al. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.* 3, e1700782.
- Guerranti, C., et al. (2017). Plastic litter in aquatic environments of Maremma Regional Park (Tyrrhenian Sea, Italy): contribution by the Ombrone river and levels in marine sediments. *Mar. Pollut. Bull.* 117, 366–370.
- He, D., Luo, Y., Lu, S., Liu, M., Song, Y., Lei, L. (2018). Microplastics in soils: analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *Trends Anal. Chem.* 109,163–172. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.006>.
- Kumar, R., Sharma, P., Manna, C., & Jain, M. (2021). Abundance, interaction, ingestion, ecological concerns, and mitigation policies of microplastic pollution in riverine ecosystem: A review. *Science of The Total Environment*, 782, 146695.
- Kumar, M. et al., (2020a). Current research trends on micro-and nano-plastics as an emerging threat to global environment: a review. *J. Hazard. Mater.* 409, 124967.
- Kumar, M. (2020b). Microplastics as pollutants in agricultural soils. *Environ. Pollut.* 265, 114980.
- Laskar, N., Kumar, U. (2019). Plastics and microplastics: a threat to environment. *Environ. Technol. Innov.* 14, 100352.
- McCormick, A., Hoellein, T.J., Mason, S.A., Schlupe, J., Kelly, J.J. (2014). Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river. *Environ. Sci. Technol.* 48, 11863–11871.
- Ochoa, A. (2019). La presa de la Soledad a un nivel muy bajo de almacenamiento. Fecha de consulta: 05/07/2022. Recuperado de: <https://zonafranca.mx/politica-sociedad/urbanismo/la-presa-de-la-soledad-a-un-nivel-muy-bajo-de-almacenamiento/>
- Ross, P.S., Morales-Caselles, C. (2015). Out of sight, but no longer out of mind: microplastics as a global pollutant. *Integr. Environ. Assess. Manag.* 11 (4), 719e728
- Rehse, S., Kloas, W., Zarfl, C. (2016). Short-term exposure with high concentrations of pristine microplastic particles leads to immobilisation of *Daphnia magna*. *Chemosphere* 153, 91–99.
- Senado de la república. (2018). Boletín. México gran consumidor y productor de plásticos, urgen reglamento (282). <http://comunicacion.senado.gob.mx/index.php/informacion/boletines/41959-mexico-gran-consumidor-y-productor-de-plasticos-urgen-reglamento.html>
- The Royal Society. (2019). Microplastic in freshwater and soil. Figura. Recuperado de: <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/microplastics-in-freshwater-and-soils/>
- Zbyszewski, M. (2014). Comparison of the distribution and degradation of plastic debris along shorelines of the Great Lakes. *North America. J. Great Lakes Res.* 40, 288–299.