

Rigoberto Rosas Luis, Claudia González Salvatierra y Mayra Polett Gurrola

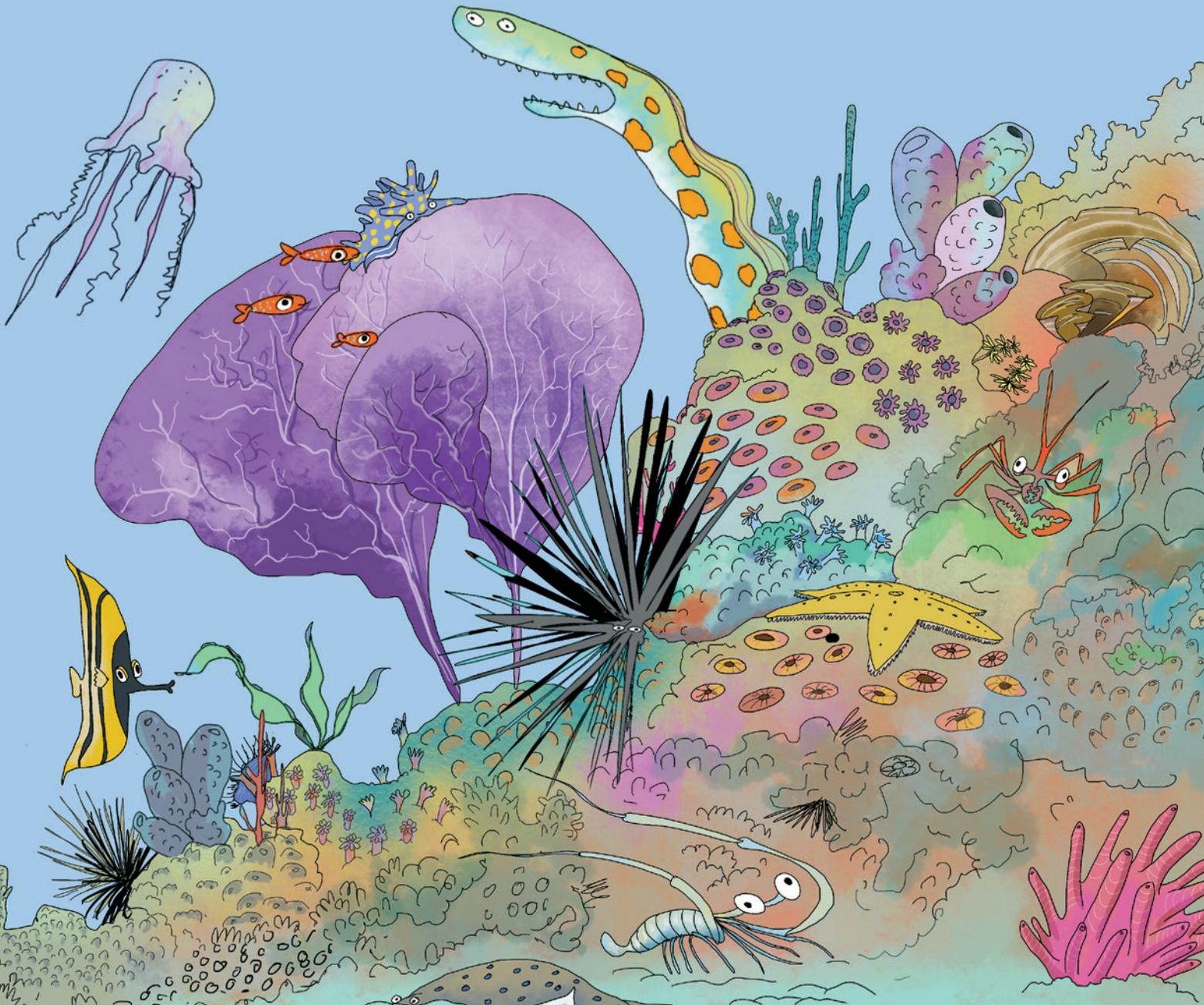
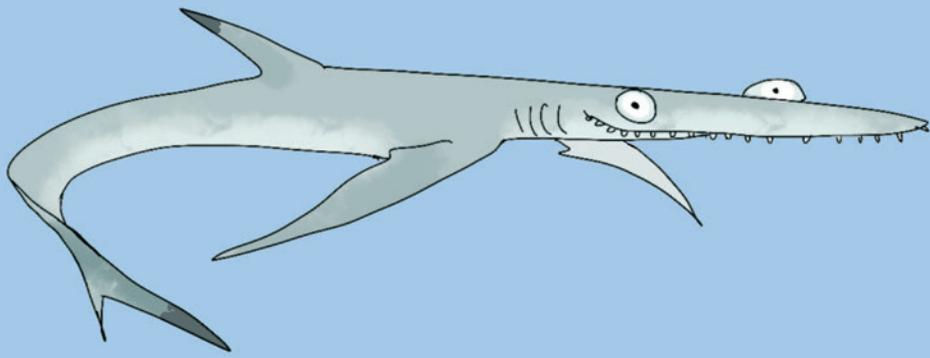
Las dunas del Caribe y su contaminación por plásticos

Estudiamos la duna costera del Caribe mexicano para conocer la acumulación de macro y microplásticos. El polietileno de alta densidad es el principal macrocontaminante y el polietileno tereftalato es el mayor componente de la contaminación por microplásticos. Ambos contaminantes afectan al ecosistema costero, reducen el tiempo de vida de los organismos y provocan otras reacciones adversas.

Introducción

El término *plástico* se refiere a un amplio grupo de materiales sintéticos o semi-sintéticos conformados por compuestos orgánicos que pueden ser moldeados para obtener una multitud de objetos sólidos. Éstos son típicamente polímeros orgánicos que forman largas cadenas, las cuales pueden estar ramificadas o reticuladas entre sí para conformar una red de alta masa molecular que a menudo contiene otras sustancias. Estos polímeros actualmente son uno de los materiales predominantes en el mundo, ya que están ampliamente integrados al estilo de vida de las personas. Así, los plásticos, como resultado de grandes avances tecnológicos, representan un punto de inflexión en la historia del planeta.

En 2010 la producción mundial de plástico se estimó en alrededor de 348 millones de toneladas. La acumulación de los desechos plásticos en los sitios de disposición final ha provocado altos niveles de contaminación tanto en ambientes terrestres como acuáticos, ya que estos materiales pueden ser desplazados por acción del viento y la lluvia. La presencia de plásticos se ha registrado en todos los hábitats; en el ámbito de los ecosistemas marinos, desde playas, aguas superficiales y la columna de agua, hasta sedimentos y profundidades oceánicas. Se calcula que la basura plástica que termina directamente en las aguas costeras puede pesar alrededor de 10 millones de toneladas; casi 80% del plástico que se encuentra en el océano proviene de vías terrestres y 20% es de vías marinas. La principal puerta de entrada de estos residuos es la línea de costa, lo que se relaciona directamente con la densidad poblacional, la ubicación de industrias y zonas de vertederos y la temporada de vacaciones de verano, cuando la basura marina aumenta hasta 40%



como consecuencia del gran número de turistas. Por ello, la presencia de microplásticos es más aguda en lugares donde la navegación es intensa, hay una amplia oferta turística, así como importantes actividades pesqueras e industriales.

La basura plástica se va fragmentando en pedazos cada vez más pequeños debido a diferentes mecanismos de **intemperismo** que actúan de forma individual o en conjunto, como la fotooxidación por rayos ultravioleta, la hidrólisis, el desgaste por abrasión con la arena, por la fricción en flujos turbulentos de agua o la bioasimilación por microorganismos. Además, los plásticos tienen propiedades hidrofóbicas, por lo que al estar en contacto con el agua pueden absorber o aglomerar otros contaminantes del ambiente y retener sustancias tóxicas, como hidrocarburos aromáticos policíclicos, bifenilos policlorados y pesticidas; esto permite su infiltración en diversos ecosistemas y facilita que sean bioacumulados.

Debido a su pequeño tamaño, los microplásticos pueden ser ingeridos accidentalmente por una amplia gama de organismos marinos, y a partir de ello

se integran a la cadena trófica. También se ha visto que la ingestión de microplásticos provoca graves lesiones fisiológicas que conducen a una nutrición deficiente y finalmente a la muerte de los animales.

En el caso de los ecosistemas terrestres relacionados con ambientes marinos, como las playas y dunas costeras, la acumulación de residuos plásticos puede reducir la entrada de luz; esto afecta la supervivencia de las plantas nativas y en el sedimento se producen zonas anóxicas (sin oxígeno), donde los organismos, principalmente artrópodos, son sofocados. Por otro lado, para las personas, la presencia de contaminantes de origen plástico puede afectar la salud cuando los ingerimos indirectamente por el consumo de alimentos que provienen del mar y también por la contaminación del entorno, que además da una mala imagen a los sitios turísticos. El Caribe mexicano, por su belleza natural e importancia para la vida marina, es un sitio prioritario de atención e investigación respecto a los efectos de la contaminación por desechos plásticos, por lo que el propósito de este trabajo fue identificar y cuantificar la presencia de macro y microplásticos, además de caracterizar los componentes acumulados en la playa entre Mahahual y Xahuayxol, al sur del Caribe mexicano.

Intemperismo

Acción de desgaste de los materiales al estar expuestos a los factores ambientales.

Transecto

Método de estudio que implica el seguimiento de una línea para la colecta de muestras.



¿Cómo se investigaron los macro y microplásticos en la duna del Caribe?

El área de estudio escogida se localiza en el estado de Quintana Roo, con un litoral que comprende 865.2 km en el mar Caribe. En la zona, el clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano. La playa entre Mahahual y Xahuayxol es angosta y tiene humedales con manglares, además de arrecifes coralinos cercanos a la costa (a 300 m, aproximadamente); la laguna arrecifal es somera (1-2 m de profundidad) con abundantes pastos marinos y extensas zonas arenosas donde se pueden encontrar varios arrecifes parche (véase la Figura 1).

Para el estudio, se instaló un **transecto** de 15 m perpendicular a la línea de costa y se colectaron muestras de sedimento (aproximadamente 300 g) en cada metro desde el metro 1 y a no más de 5 cm de profundidad. Las muestras fueron trasladadas al

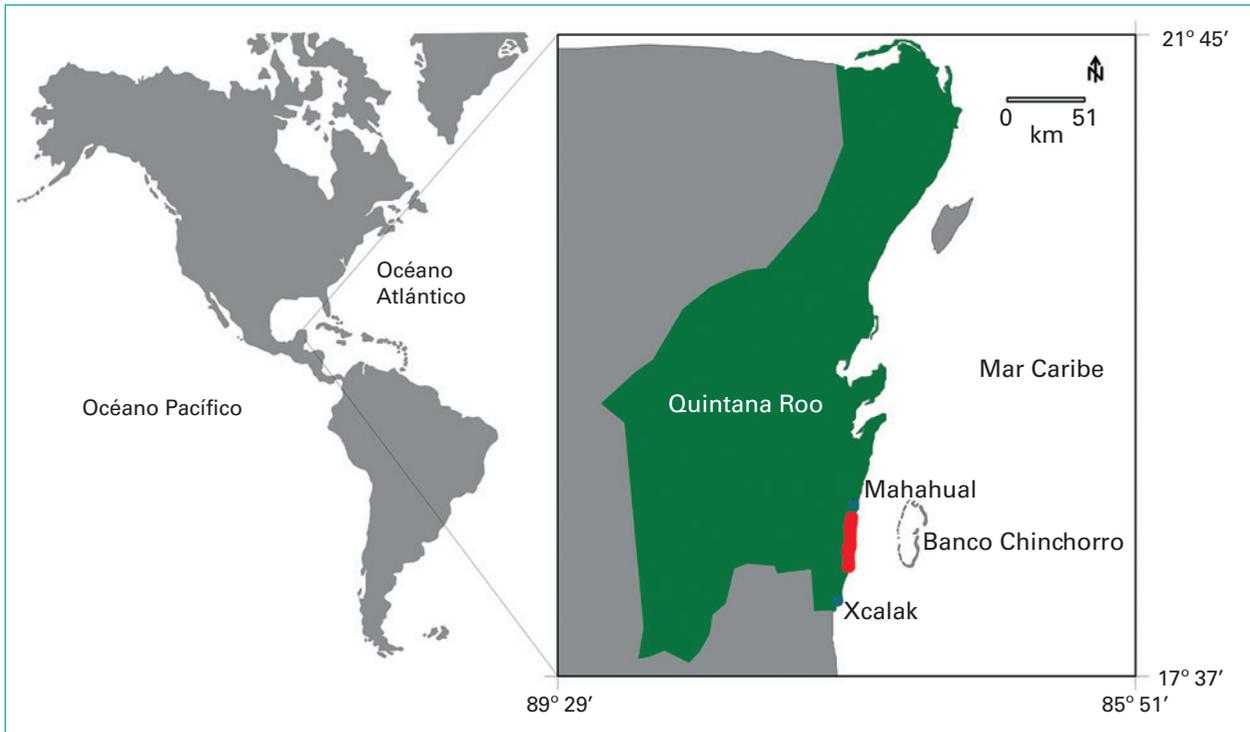


Figura 1. Mapa de la ubicación de las localidades al sur del Caribe mexicano; en rojo se marca la zona de estudio elegida. Elaboración propia.

Laboratorio de Microplásticos del Instituto Tecnológico de Chetumal para su análisis.

Para identificar y cuantificar los macroplásticos se realizó un barrido en cinco transectos de 15×1 m perpendiculares a la línea de costa. Se fueron recolectando todos los desechos inorgánicos (basura), se clasificaron y separaron por tipo: polietileno tereftalato, polietileno de alta densidad, policloruro de vinilo, polietileno de baja densidad, polipropileno y poliestireno, además de vidrio y metal. Por último, se cuantificaron y pesaron los residuos.

Para la separación de microplásticos, en total se analizaron 15 muestras de 100 g de sedimento secadas por 48 horas a una temperatura de 60°C . Se realizó un **tamizado** con malla de 5 mm de luz (la distancia o espacio interior entre los alambres). El resultado se colocó en un matraz previamente preparado con 200 ml de una solución salina filtrada (358.9 g de NaCl en 1 litro de agua desmineralizada; densidad = $9\,043\text{ kg/m}^3$ a 20°C) para separar los microplásticos. La mezcla se agitó manualmente por 2 minutos y se dejó sedimentar. Después de 8 horas, el sobrenadante se filtró con una bomba de vacío y papel filtro de $0.45\ \mu\text{m}$. El papel filtro con el material

filtrado se colocó en una placa de Petri y se dejó a temperatura ambiente hasta obtener un secado total. Posteriormente, se colocó bajo un microscopio estereoscópico con $40\times$ de aumento para cuantificar los microplásticos con tamaños que van de 0.3 a 5 mm. Se anotó la forma (fibra, película, partícula, esponja) de cada microplástico y se agruparon por color (azul, rojo, transparente y anaranjado).

Composición de los microplásticos

Para obtener información sobre la composición de los microplásticos se empleó la técnica de **espectroscopia Raman** en el Laboratorio Nacional de Micro y Nanofluídica, del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica en Santiago de Querétaro, México (LABMyN-CIDETEC). Este método de análisis estudia la interacción de la luz con la materia para proporcionar información acerca de las propiedades de los materiales; a partir de las vibraciones intra e intermoleculares se produce una marca molecular que permitirá su identificación. Las muestras se analizaron en el espectro Raman en un rango de frecuencias de 50 cm^{-1} a $3\,400\text{ cm}^{-1}$;

Espectroscopia Raman

Método de análisis basado en frecuencias de la luz para identificar componentes.

Tamizado

Método de separación de partículas.



Figura 2. Macrocontaminantes encontrados en el sur del Caribe mexicano: a) plásticos duros, b) vidrio, c) redes y espumas, d) botellas de plástico y redes. Elaboración propia.

sin embargo, para lograr una mejor identificación, se hizo un acercamiento del espectro Raman en un rango de frecuencias de 2 800 cm^{-1} a 3 400 cm^{-1} .

Resultados del muestreo

Los resultados de la colecta de desechos en la playa indican que el plástico es el principal contaminante, con 7 950 residuos contabilizados en total (1 590 residuos por m^2 de costa) y con un peso de 22.467 kg

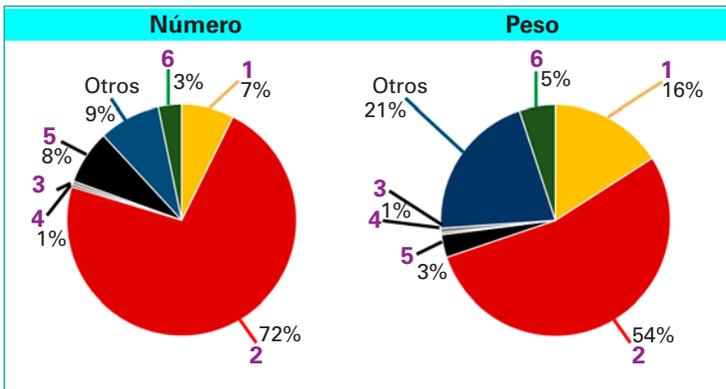


Figura 3. Porcentajes del número y peso de los diferentes macroplásticos encontrados a lo largo de la costa: 1) tereftalato de polietileno, 2) polietileno de alta densidad, 3) cloruro de polivinilo, 4) polipropileno, 5) poliestireno, 6) poliamidas. Elaboración propia.

(4.493 kg por m^2 de costa). En segundo lugar, se encontraron 170 residuos de vidrio (35 residuos por m^2 de costa) con un peso de 6.750 kg (1.350 kg por m^2 de costa). Por último, los metales (latas de cerveza), con 5 residuos en total (un residuo por m^2 de costa) y un peso de 0.170 kg (0.034 kg por m^2 de costa) (véase la Figura 2). Con respecto a los tipos de plástico encontrados, el polietileno de alta densidad representa el mayor porcentaje, tanto en número como en peso, seguido del tereftalato de polietileno, poliestireno y –en menor porcentaje– cloruro de polivinilo (véase la Figura 3).

Concentración de microplásticos

Se encontró una concentración de 21.99 g de microplásticos en una muestra global de 1 500 g de sedimento, lo que equivale a 1.46%. El análisis visual de los datos mostró que, en el perfil de playa, desde el punto cero hasta los 15 m, la concentración de microplásticos es similar entre los puntos 0 y 9; después del metro 9 y hasta el metro 12, la concentración aumenta; por último, del metro 12 al metro 15, la concentración disminuye (véase la Figura 4). Es importante comentar que después del metro 12 ya se observa presencia de vegetación.

Caracterización de microplásticos

El análisis de los microplásticos por espectroscopia Raman indicó que el color transparente es el más frecuente, seguido de los microplásticos de color azul; de los colores rojo y anaranjado no se contó con su-

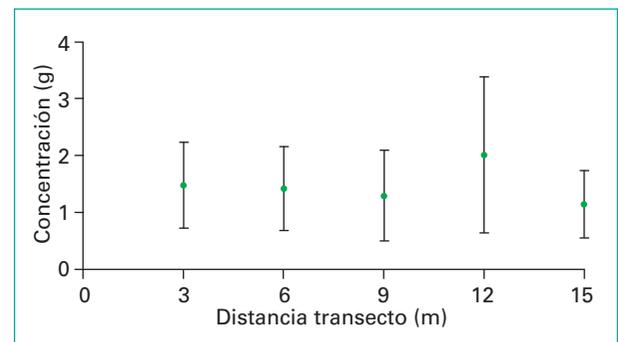


Figura 4. Promedios y desviación estándar de la concentración de microplásticos en el perfil de 0 a 15 metros de forma perpendicular a la línea de costa. Elaboración propia.

ficientes muestras, por lo que no se analizaron. La identificación con acercamiento del espectro Raman en un rango de frecuencias de $2\,800\text{ cm}^{-1}$ a $3\,400\text{ cm}^{-1}$, con base principalmente en las **vibraciones de estiramiento**, indicó que las muestras están compuestas en su mayoría de polietileno, polipropileno, cloruro de polivinilo y tereftalato de polietileno. En específico, los microplásticos transparentes estuvieron compuestos de polietileno, polipropileno, tereftalato de polietileno y cloruro de polivinilo. Por otro lado, los microplásticos de color azul tuvieron una composición de polietileno, tereftalato de polietileno y cloruro de polivinilo. Por último, las fibras y espumas estuvieron compuestas de cloruro de polivinilo y tereftalato de polietileno (véase el Recuadro 1).

Implicaciones

En las costas del sur del Caribe mexicano, la evidencia de la contaminación por plásticos es notable. Este estudio revela los tipos y las cantidades de plásticos depositados en una de sus playas y demuestra el impacto ambiental que se genera tanto en el paisaje como en el ecosistema.

México produce alrededor de siete millones de toneladas de plástico al año y, de ellas, 48% son botellas de refrescos y agua, además de empaques (Rivera-Garibay y cols., 2020), los cuales se encontraron como componentes de los desechos sólidos en este trabajo. Los principales macrocontaminantes son los plásticos y destaca la presencia del polietileno de alta densidad, identificado en objetos como tuberías, placas y envases. Esto es un resultado directo de la producción de materiales de un solo uso. Desafortunadamente, en México no tenemos la costumbre de separar y reciclar los desechos; es así como desde 1950 solamente se ha reciclado 9% del plástico producido en el país. Por ello, es evidente que se requiere una estrategia nacional que ayude a reducir el consumo de plásticos y hacer del reciclaje un hábito de nuestra vida cotidiana.

En un cálculo básico del peso de los plásticos presentes en la zona costera de Quintana Roo, considerando 900 km de costa, se tendrían 4 043 700.00 kg de plásticos acumulados en las playas. Esta cifra es

alarmante por el impacto que los desechos ocasionan en la región.

Las dunas costeras del Caribe mexicano corren el riesgo de perder su diversidad por la presencia de polietileno de alta densidad, tereftalato de polietileno, cloruro de polivinilo, polipropileno y poliestireno. Los organismos invertebrados, como los artrópodos que habitan en la arena, podrían estar en un peligro

Vibraciones de estiramiento
Movimiento de acercamiento y alejamiento de los átomos unidos en las moléculas.

Recuadro 1. Tipos de microplásticos que contaminan las dunas costeras en el Caribe

Los microplásticos, estructuras de tamaños menores de 5 mm, existen en diversas formas y colores; pueden ser espumas y fibras, transparentes o azules, por mencionar algunos ejemplos. A simple vista es posible identificar los fragmentos de plástico de colores en el rango de tamaño de 2 a 5 mm; sin embargo, esto es difícil cuando las partículas de plástico tienen un tamaño de 1 mm o menos, por lo que para la identificación o cuantificación de microplásticos es necesario tener técnicas más poderosas, como la espectroscopia Raman.

En este trabajo, los principales componentes identificados en los microplásticos fueron el polietileno (PE), encontrado principalmente en bolsas de plástico; polipropileno (PP), componente básico de las cuerdas; cloruro de polivinilo (PVC), presente en tuberías y revestimientos; así como tereftalato de polietileno (PET), usado en la fabricación de envases, como botellas de refresco (véase la Figura 5).

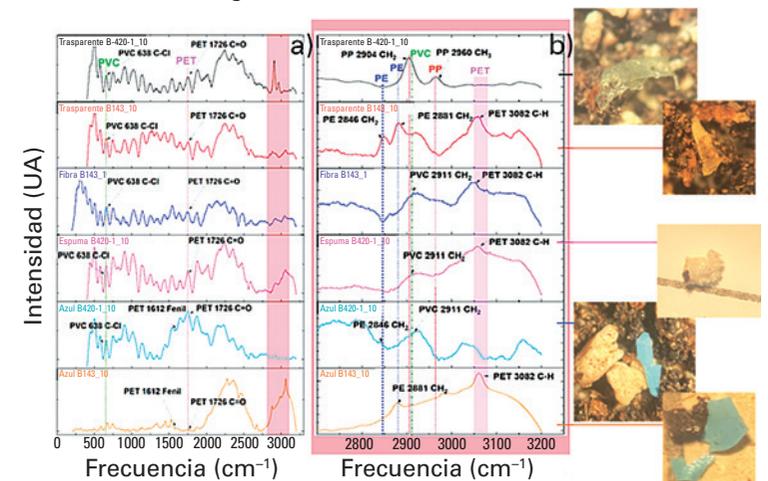


Figura 5. Espectro Raman completo analizado: a) en un rango de frecuencias de 50 cm^{-1} a $3\,400\text{ cm}^{-1}$; y b) un acercamiento entre las frecuencias de $2\,800\text{ cm}^{-1}$ a $3\,400\text{ cm}^{-1}$. Elaboración propia.

similar al que enfrentan las lombrices, que disminuyen su tiempo de vida y pierden peso corporal en presencia de polietileno de alta densidad (Boots y cols., 2019). Los artrópodos que habitan en el sedimento de las dunas costeras son esenciales para la incorporación de nutrientes, pero su disminución por efecto de los macro y microplásticos podría desencadenar problemas de erosión y desertificación.

Al mismo tiempo, la vegetación de la duna costera, fundamental para la estabilidad de la arena, también se vería afectada, ya que se podría disminuir la germinación de las semillas y el establecimiento de plántulas debido a cambios en el microambiente por el aumento de la temperatura, la absorción de aditivos y los cambios en la composición del suelo. Asimismo, el peso de los contaminantes provocaría la asfixia de las plántulas y el efecto de sombreado de los escombros reduciría los niveles de luz necesarios

para el crecimiento. Todo esto provocará áreas desnudas y fragmentadas de vegetación, lo que las hace más vulnerables ante el establecimiento de especies invasoras (Kühn y cols., 2015).

Impacto de los microplásticos

La identificación de polietileno tereftalato como el mayor componente presente en todas las muestras de microplásticos analizadas, así como la presencia de polietileno, polipropileno y policloruro de vinilo, confirma la abundancia de estos materiales y su uso en las actividades humanas, y se podría inferir una relación directa con su acumulación en el Caribe mexicano. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México calculó una producción de 9 000 millones de botellas de plástico de tereftalato de polietileno por año, lo cual tiene una relación



directa con los resultados encontrados en la playa de este estudio. Como consecuencia de la acumulación de estos compuestos se puede observar el declive de las poblaciones de organismos que habitan en las dunas costeras (Rivera-Garibay y cols., 2020), ya que pueden ingerir este tipo de compuestos y acumular **polibromodifenil éteres**, que son compuestos químicos tóxicos persistentes en el ambiente.

Por último, se debe entender el impacto de los microplásticos en el ecosistema desde un punto de vista integral con respecto a las redes tróficas; si los organismos de la base están consumiendo estos microplásticos, y los aditivos tóxicos que contienen, entonces comienza una cadena de transmisión y acumulación hacia los depredadores. De esta manera, nuestras dunas costeras se encuentran en un grave riesgo por la acumulación de microplásticos, ya que son ecosistemas frágiles y en latente peligro de desaparecer.

Rigoberto Rosas Luis

Instituto Tecnológico de Chetumal.
riroluis@yahoo.com.mx

Claudia González Salvatierra

Instituto Tecnológico de Chetumal.
claudia.gs@chetumal.tecnm.mx

Mayra Polett Gurrola

Instituto Tecnológico de Chetumal.
mayra.pg@chetumal.tecnm.mx

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo recibido de parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por medio del Laboratorio Nacional de Micro y Nanofluídica (LN-2021-315871 y LN-2022-321116), así como del Laboratorio de Caracterización e Identificación de Micro y Nanoplásticos del Sureste (MicNaSuR 316719) y del proyecto TecNM 11225.21-P “Evaluación diagnóstica de la zona costera Mahahual-Xcalak a través de su mesofauna y su cobertura vegetal en sus dunas”. Gracias a los estudiantes del Instituto Tecnológico de Chetumal que apoyaron en la colecta y el procesamiento de muestras: Miguel Ceballos, Brandon Manzanilla, Alexei Elías y Diana Marín.

Polibromodifenil éteres

Compuestos sintéticos difíciles de quemar, usados en plásticos de protección para alimentos.

Referencias específicas

- Boots, B., C. Russell y D. Green (2019), “Effects of Microplastics in Soil Ecosystems: Above and Below Ground”, *Environmental Science & Technology*, 53(19):11496-11506. Disponible en: <<http://doi.org/10.1021/acs.est.9b03304>>, consultado el 11 de febrero de 2021.
- Cole, M. P., C. Lindeque, T. Halsband y S. Galloway (2011), “Microplastics as contaminants in the marine environment: A review”, *Marine Pollution Bulletin*, 62:2588-2597.
- De la Torre, G. E. (2019), “Microplásticos en el medio marino: una problemática que abordar”, *Revista de Ciencia y Tecnología*, 15:27-37.
- Kühn, S., E. L. Bravo Rebolledo y J. A. van Franeker (2015), “Deleterious effects of litter on marine life”, en: M. Bergmann, L. Gutow y M. Klages (eds.), *Marine Anthropogenic Litter*, Cham, Springer, pp. 75-116.
- Rivera-Garibay, O. O., L. Álvarez-Filip, M. Rivas, O. Garelli-Ríos, E. Pérez-Cervantes y N. Estrada-Saldívar (2020), *Impacto de la contaminación por plástico en áreas naturales protegidas mexicanas*, México, Greenpeace México.