

PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN EL TRACTO DIGESTIVO DE TONINAS (*Tursiops truncatus*) VARADAS EN ISLA DEL CARMEN, CAMPECHE, MÉXICO

Microplastics in digestive tract of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) stranded on Carmen Island, Campeche, Mexico

Alberto DELGADO-ESTRELLA^{1*}, María Guadalupe ESCANGA PÉREZ¹,
Laura Elena VÁZQUEZ-MALDONADO¹, Abigail URIBE² y Gerardo Alonso RIVAS-HERNÁNDEZ¹

¹ Facultad de Ciencia Naturales, UNACAR. Campus III. Av. Central S/N Esquina con Fracc. Mundo Maya, Cd. del Carmen, Campeche. CP: 24153. Ciudad del Carmen, Campeche.

² Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros, Instituto de Ingeniería, UNAM, Unidad Sisal, Yucatán.

*Autor para correspondencia: delgadoestrella@gmail.com

(Recibido: agosto 2023; aceptado: enero 2024)

Palabras clave: laguna de Términos, contaminación marina, bioacumulación, manejo costero.

RESUMEN

En México hay pocos datos sobre la presencia y abundancia de microplásticos (MP) en mamíferos acuáticos. El objetivo del presente trabajo fue determinar la presencia de éstos en el tracto digestivo de toninas (*Tursiops truncatus*) varadas en la isla del Carmen, Campeche durante el periodo 2019-2020, así como en peces que son parte de su dieta. De las toninas se extrajeron las cavidades gástricas de dos hembras y dos machos; los contenidos estomacales fueron tamizados y filtrados para contabilizar y clasificar los MP por forma, color y tamaño. El 100 % de los contenidos estomacales tuvieron microplásticos, con un total de 254 partículas; de estos, el 90.94 % (231) fueron fibras plásticas y el 9.05 % (23) fragmentos plásticos (red). El color más común fue el azul con 69 % (176); el intervalo de longitud de las fibras fue de 8.322 - 1466.4 µm. Una hembra cría con una longitud total de 165 cm presentó el mayor número de MP. Hubo diferencias significativas en el color de las fibras plásticas y fragmentos con la clase edad. No hubo diferencia significativa al comparar el sexo de las toninas con el número de fibras plásticas y fragmentos. También se encontraron fibras predominantemente azules en estómagos de peces presa capturados en la zona (*Bagre marinus* y *Anisotremus virginicus*). Este es el primer estudio realizado sobre el contenido de microplásticos en toninas para el sur del golfo de México, los cuales se asume que provienen de tierra adentro o de la zona norte de la Península de Yucatán.

Key words: Términos Lagoon, marine pollution, bio-accumulating, coastal management.

ABSTRACT

In Mexico, there is little data on the presence and abundance of microplastics (MP) in aquatic mammals. The objective of this work was to determine the presence of MP in the digestive tract of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) stranded on the coast of Carmen Island, Campeche, during the period 2019-2020, as well as in fish that are part of their diet. The gastric cavities of two females and two male bottlenose dolphins were extracted; the stomach contents were sieved and filtered to count and classify the MP by

shape, color, and size. 100% of the stomach contents had microplastics, with a total of 254 particles; of these, 90.94% (231) were plastic fibers, and 9.05% (23) were plastic fragments (plastic net). The most common color of plastic particles was blue, with 69% (176); the fiber length range was 8.322 - 1466.4 μm . A calf female with a total length of 165 cm had the highest number of MP. There were significant differences in the color of the plastic fibers and fragments with the age class of the bottlenose dolphins. There was no significant difference when comparing the sex of the bottlenose dolphins with the number of plastic fibers and fragments. Predominantly blue fibers were also found in fish stomachs of preying collected from the same area (*Bagre marinus* and *Anisotremus virginicus*). This study is the first to examine the microplastic content of bottlenose dolphins in the southern Gulf of Mexico, which are assumed to come from inland or the Yucatan Peninsula's northern part.

INTRODUCCIÓN

Los desechos plásticos se consideran actualmente como una de las principales amenazas mundiales para la vida marina. Sin embargo, existen pocos datos sobre la presencia y abundancia de microplásticos (MP; plásticos < 5 mm de tamaño) en mamíferos marinos (Hart et al. 2018, Zantis et al. 2021). Los desechos plásticos pueden causar daños físicos como es la asfixia por enredo, o internamente, como los bloqueos o desgarros en el tracto gastrointestinal de organismos silvestres (Moore 2008, Claro et al. 2019, Acosta González et al. 2022).

Dada la abundancia de los MP, el tamaño pequeño y su distribución global los hacen biodisponibles directamente para una gran variedad de organismos por transferencia trófica; sin embargo, los exámenes realizados en los depredadores marinos tope son actualmente limitados (Battaglia et al. 2020) sobre todo en países en vías de desarrollo. Los estudios dirigidos a conocer los impactos de MP en cetáceos (ballenas, delfines y marsopas) son muy escasos debido al gran tamaño de estos animales, su estado de protección y los desafíos de obtener muestras en buen estado en el momento del análisis *post mortem*. Se ha documentado que al menos 26 especies de cetáceos han ingerido desechos plásticos de tipos diversos (Baird y Hooker 2000, Hart et al. 2022). Los informes de ingestión de MP en cetáceos son recientes y sólo unos pocos individuos de varias especies están representados (Besseling et al. 2015, Lusher et al. 2015, Lusher y Hernández-Milian, 2018, Van Franeker et al. 2018, Moore et al. 2020). Los odontocetos se han tomado comúnmente como sujetos de estudio para evaluar la exposición a MP, debido a que tienen más poblaciones costeras, lo que facilita la manipulación y conservación de las muestras y la recuperación de individuos por una mayor frecuencia de varamientos en comparación con los mysticetos. Se cree que

la ruta más probable de exposición de las toninas (*T. truncatus*) a los MP es a través de la transferencia trófica, es decir, la carga de MP se transfiere de la presa al depredador después de la ingestión (Lusher et al. 2016).

Para el norte del Golfo de México, en la bahía de Sarasota, Florida, Hart et al. (2018) realizaron el primer estudio sobre la detección urinaria de metabolitos de ftalatos en toninas (*T. truncatus*), ya que estos compuestos químicos se usan principalmente para producir cloruro de polivinilo (PVC). Se cuantificaron las concentraciones (mg/L) de metabolitos de ftalato o ésteres de ácido ftálico ($\text{C}_6\text{H}_4(\text{CO}_2\text{H})_2$) en la orina recolectada durante mayo de 2016 y 2017, observando que todos los organismos presentaron esta sustancia en su cuerpo.

Adicionalmente los MP pueden actuar como portadores de contaminantes orgánicos, lo que podría afectar su acumulación en los organismos expuestos, como es el caso del ftalato. La ingestión de MP puede, por tanto, ser un vehículo para la introducción de toxinas a la base de la trama trófica, desde donde hay potencial de bioacumulación (Roy et al. 2011). La región de la laguna de Términos es un área privilegiada para la distribución de toninas (*T. truncatus*) en el Golfo de México, ya que presenta zonas de alimentación y reproducción que favorecen el establecimiento de poblaciones de estos cetáceos (Rivas-Hernández et al. 2014). Las toninas son consideradas indicadoras del estatus de productividad y riesgo de los ecosistemas ya que son pieza fundamental en los flujos de materia y energía, debido a que son depredadores tope en la red trófica (Barragán-Barrera 2010). En la región de la laguna de Términos las toninas son muy abundantes (Delgado-Estrella 2015), por lo que también es común tener eventos de varamiento en la costa de Isla del Carmen a lo largo del año, lo que ha permitido el acceso a material biológico invaluable.

Sin embargo, para esta región de la laguna de Términos, la cual es parte del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos (APFFLT), no se cuenta con datos de presencia de MP en contenidos estomacales de toninas varadas hasta la escritura de este trabajo, a pesar de que existen razones para asumir que las toninas que se distribuyen y se alimentan en el APFFLT están expuestas a los MP a través de la ingesta de sus presas. En la laguna de Términos converge la cuenca de diversos ríos y pertenece a la región hidrológica del Grijalva - Usumacinta, cuyo efluente se extiende cientos de kilómetros al sureste, hasta Guatemala (INEGI 2016). Además, ingresa agua marina proveniente principalmente de la costa de Campeche impulsada por el flujo principal de Norte a Sur, por lo que la probabilidad de que sus escorrentías acarreen MP es considerablemente alta. El objetivo de este estudio fue verificar si las toninas y sus presas, que habitan en la laguna de Términos, ingieren MP clasificándolos por forma, color y tamaño, tratando de establecer si existe alguna relación con el sexo y edad de estas toninas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La laguna de Términos se encuentra ubicada en la zona costera del estado de Campeche y conforma el cuerpo de agua más grande dentro del APFFLT. El APFFLT está conformada por el municipio del Carmen y parte de los municipios de Palizada, Escárcega y Champotón (**Fig. 1**). Abarca un área de 1700 km² (Ramos-Miranda et al. 2006), incluyendo los sistemas fluvio-lagunares asociados. Su área total

es de 705 016 ha; ubicada entre los paralelos 19° 10' y 18° 05' Latitud Norte y los meridianos 92° 12' y 91° 10' Longitud Oeste (Ramos-Miranda et al. 2006).

La región de la laguna de Términos es parte del delta del sistema de ríos Grijalva - Usumacinta, el cual constituye el mayor volumen de descarga de agua dulce y sedimentos terrígenos hacia el mar de todo el país y un potencial acarreo también de desechos sólidos urbanos, incluyendo plásticos. Sus sistemas pantanosos o humedales forman la unidad ecológica costera más importante del país por su productividad natural y biodiversidad.

La laguna de Términos presenta dos bocas de conexión permanente con el mar: la boca de Puerto Real, ubicada en el extremo este de la isla del Carmen y la boca del Carmen, en el extremo oeste. El agua oceánica entra a la laguna con un flujo neto de 1350 m³/s en una dirección este-oeste (Mancilla y Vargas 1980). Los varamientos registrados (2019-2020) se atendieron en la zona costera de la isla del Carmen de acuerdo con el Protocolo de atención para varamiento de mamíferos acuáticos (PROFEPA 2014, Aguilar-Aguilar y Delgado-Estrella 2017). Se registró la ubicación geográfica, evidencia fotográfica y datos morfométricos de las toninas varadas, a las cuales se les asignó un código de acuerdo con el grado de descomposición en el que se encontraron según la escala por Geraci y Lounsbury (2005). También se identificó el sexo de los individuos y se colectaron las cavidades gástricas (estómagos), las cuales fueron guardadas en bolsas resellables, etiquetadas y transportadas al Laboratorio 2 de la Facultad de Ciencias Naturales para su congelación tal y como se recomienda en otros trabajos de este mismo tipo (Hart et al. 2018). A los organismos varados también se les asignó una clase de edad según su longitud total, de acuerdo con los criterios de crecimiento de toninas del sur del Golfo de México descritos por Romero-Tenorio y Delgado-Estrella (2015).

Para evitar la contaminación, las superficies de trabajo se limpiaron a fondo y se cuidó de forma exhaustiva la limpieza de las manos. Para la disección y manipulación de los especímenes, así como para la extracción de los tractos digestivos se usaron guantes de nitrilo. Asimismo, el material de disección se limpió entre muestra y muestra.

Para minimizar el riesgo de contaminación de las muestras con fibras textiles sintéticas de la ropa, el procesamiento de las muestras se realizó en una mesa de acero inoxidable limpia, con batas blancas de laboratorio (100 % algodón) y guantes de nitrilo azul. De este modo, se pudo descartar las microfibras blancas procedentes de batas de laboratorio



Fig. 1. Área de protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, mostrando la ubicación de la Isla del Carmen, Campeche, México.

(posible contaminación) durante la manipulación de las muestras. Además, todas las herramientas de acero inoxidable utilizadas para trabajar con las muestras se lavaron con agua destilada antes de su uso para evitar que las fibras en el aire afectaran las muestras.

Para realizar el tamizado y filtrado de los contenidos estomacales se siguieron las recomendaciones de Lusher et al. (2015) y Hernández-González et al. (2018). Es decir, los estómagos de las toninas se lavaron hasta tres veces con agua destilada y su contenido se pasó a través de tamices de tamaño de 5 mm, 1 mm, 0.5 mm y 0.355 mm para obtener el material considerado como dieta. El material orgánico retenido en el tamiz se secó en un horno Felisa a 50 °C y se guardó en papel aluminio, para posteriormente observarlo en el microscopio. El material restante (agua de lavado retenida en el tamiz) se colocó en dos recipientes esterilizados de vidrio de un litro de volumen a los que se les aplicó una solución de hidróxido de potasio (KOH) al 10 % para la digestión de la materia orgánica. El material se selló y se almacenó hasta su posterior análisis tres a cuatro semanas después.

Transcurridas tres semanas (una vez que el material orgánico reaccionara con el hidróxido de potasio) el producto resultante se filtró utilizando una bomba de vacío, equipo millipore y filtros de microfibras de vidrio de 110 mm marca Whatman grado 4. Los filtros de microfibras de vidrio se colocaron en cajas de Petri de vidrio cerrado y se secaron en un horno Felisa a 50 °C durante cuatro horas, una vez secos se colocaron entre dos portaobjetos para su revisión en microscopio óptico.

Por otro lado, los peces de especies presa de los cuales se alimentan las toninas (*Bagre marinus* y *Anisotremus virginicus*), fueron colectados dentro de la laguna de Términos en diferentes sitios, algunos se encontraron flotando cerca del avistamiento de toninas con probable actividad de alimentación. Estos fueron guardados y etiquetados en bolsas plásticas y se transportaron para su congelación.

Los peces fueron descongelados a temperatura ambiente antes de la observación y extracción de los MP.

Los microplásticos se identificaron visualmente a 4X y 10X con un microscopio óptico marca Motic equipado con una cámara Motic y se midió su longitud utilizando un programa de *software* de análisis de imágenes (Motic 10 plus). Estos microplásticos se catalogaron de acuerdo con sus características físicas en dos grupos: fibras y fragmentos (incluidas las redes). Se registró el color y el tamaño, tal y como

lo recomiendan Lusher et al. (2015) y Hernández-González et al. (2018).

Los ejemplares de toninas fueron diferenciados asignándoles una clave que aparece en las figuras y el cuadro formada por iniciales de género y especie TT (*Tursiops truncatus*), la fecha de colecta del varamiento con seis números, la letra M para Macho y H para hembra y el número consecutivo al final, ejemplo: TT170519M01.

Para analizar la relación de las medidas y la cantidad de las fibras y los fragmentos encontrados en las toninas se aplicaron análisis estadísticos utilizando pruebas de Chi-cuadrado (χ^2) y Kruskal-Wallis para determinar si existe diferencia significativa entre los individuos, utilizando el programa RStudio (versión 1.4.1106.exe). Para crear las bases de datos y las gráficas correspondientes se utilizó el programa Microsoft Excel 365 y para crear los mapas se utilizó el programa QGIS Essen 2.14.

RESULTADOS

Se revisaron los tractos digestivos de cuatro toninas (*T. truncatus*) de entre 2.67 y 1.64 m de longitud total, varadas en la zona costera de la Isla del Carmen, Campeche durante el periodo 2019-2020 (**Fig. 2**). De estos tractos, el 25 % de los contenidos estomacales se encontraron en descomposición avanzada y el 75 % se encontraron en la categoría de frescos de acuerdo con la escala de Geraci y Lounsbury (2005). (**Cuadro I**).

Se encontraron microplásticos (MP) en todas las muestras analizadas (n= 4), en total se hallaron 254



Fig. 2. Ubicación de los varamientos de las toninas en la zona costera de Isla del Carmen, durante el periodo de 2019 a 2020.

CUADRO I. CARACTERÍSTICAS DE LOS EJEMPLARES DE TONINAS VARADAS (*Tursiops truncatus*) EN LAS CUALES SE CONFIRMÓ LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN CONTENIDOS GÁSTRICOS.

| Clave | Fecha de varamiento | Localidad | Sexo | Longitud total (m) | Clase de edad | Grado de descomposición (Geraci y Lounsbury 2005) |
|-------------|---------------------|-----------------|------|--------------------|---------------|---|
| TT170519M01 | 17-may-19 | Playa Lindura | M | 2.51 | Adulto | 3 |
| TT060919H02 | 06-sep-19 | Playa Norte | H | 1.65 | Cría | 1 |
| TT191020M03 | 19-oct-20 | Colonia Bivalvo | M | 1.64 | Cría | 1 |
| TT191220H04 | 19-dic-20 | La Puntilla | H | 2.67 | Adulto | 1 |

partículas de MP, de las cuales 231 fueron fibras y 23 fueron fragmentos (**Fig. 3**). A continuación, se hace una breve descripción de cada caso varado.

El individuo con clave TT170519M01 presentó un total de 47 partículas de plásticos: 30 fibras de color azul (64 %), 13 fibras de color rojo (28 %), dos fibras y dos fragmentos de color negro (4 % respectivamente).

El individuo con clave TT060919H02 presentó un total de 140 partículas de plásticos: 97 fibras de

color azul (70 %), 16 fibras de color negro (11 %), 15 fragmentos de color negro (10 %), ocho fibras de color rojo (5.7 %), dos mallas sintéticas y dos fibras de color traslúcido (1 % respectivamente).

El ejemplar con clave TT191020M03 presentó un total de 36 partículas de plásticos: 25 fibras de color azul (69 %), cuatro fibras de color rojo y cuatro fibras de color negro (11 % respectivamente), y un fragmento de color negro, una fibra de color traslúcido y una fibra de color amarillo (3 % respectivamente).

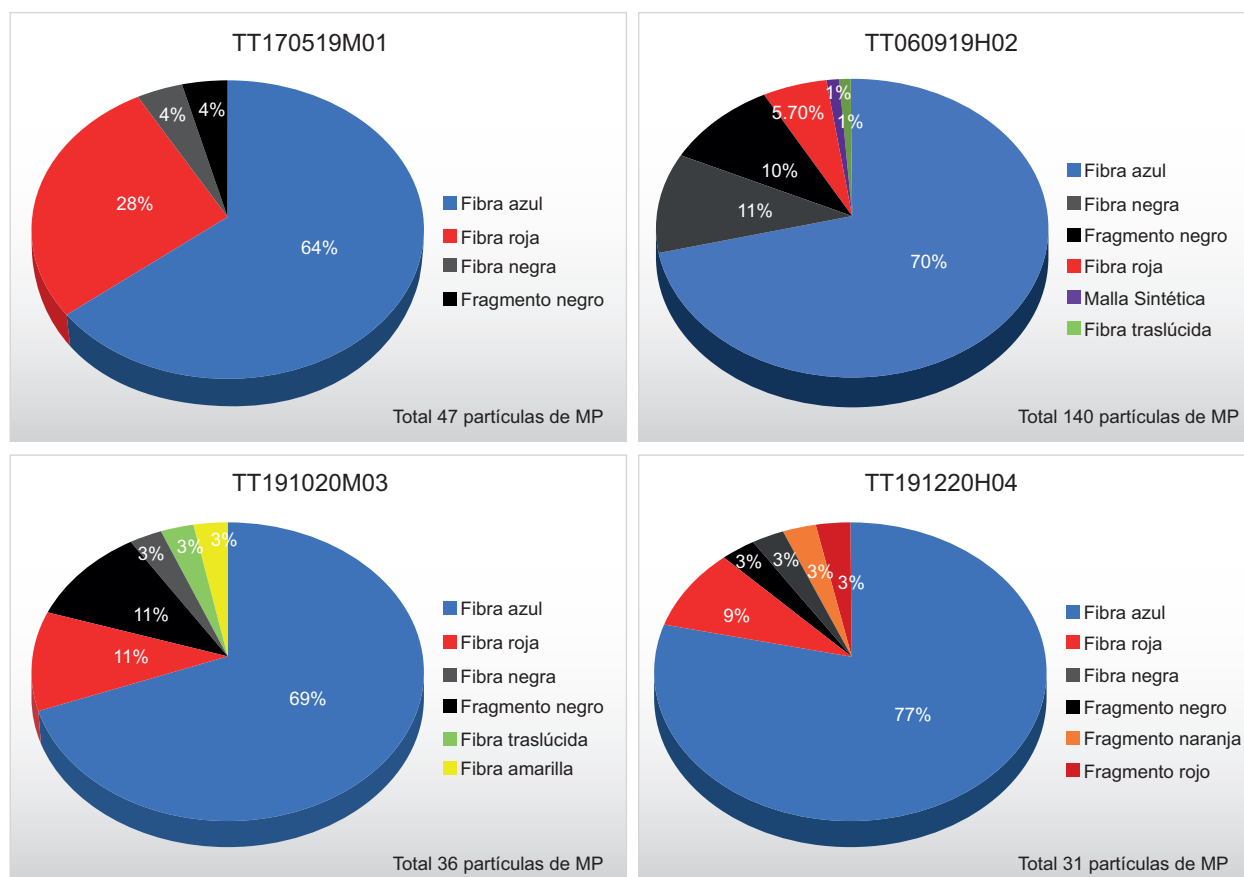


Fig. 3. Cantidad total de microplásticos (MP) y porcentajes de estas partículas encontradas en cada individuo (*Tursiops truncatus*). TT= *Tursiops truncatus*, fecha, H= hembra, M= Macho, número de ejemplar.

El ejemplar con clave TT191220H04 presentó un total de 31 partículas de plásticos: 24 fibras de color azul (77 %), tres fibras de color rojo (9 %), y una fibra y un fragmento de color negro, un fragmento de color naranja y un fragmento de color rojo (3 % respectivamente).

Considerando el total de partículas de plástico en los cuatro individuos, se encontró que la hembra cría TT060919H02 registró el 55.1 % (87.85 % fibras y 12.14 % fragmentos, en los fragmentos se incluyó las mallas sintéticas), el macho adulto TT170519M01 presentó un 18.5% (95.74 % fibras y 4.25 % fragmentos), la cría macho TT191020M03 tuvo 14.1 % (97.22 % fibras y 2.77 % fragmentos) y la hembra adulta TT191220H04 tuvo el 12.2 % (90.32 % fibras y 9.67 % fragmentos).

Con respecto a la frecuencia por el color de la fibra, la que predominó fue la de color azul con un total de 176 partículas (69 %), después la fibra de color rojo con 28 partículas (11 %), la fibra de color negro 23 (9 %), la fibra sin color, pero traslúcida con tres partículas (1.18 %) y, por último, el color que menos partículas tuvo fue el anamarillo, con una fibra (0.39 %). Para el caso de los fragmentos, el color que tuvo mayor número de partículas fue el negro con 21 partículas (8 %) y los fragmentos de color rojo y naranja (0.39 %) con una partícula cada uno.

Se realizó una representación gráfica (**Fig. 4**) de la longitud de las fibras encontradas de los organismos estudiados. El comportamiento de la distribución de las tallas de las fibras fue estadísticamente similar entre casi todos los individuos (TT060919H02, TT170519M01 y TT191020M03), siendo menor en el individuo TT191220H04 (la hembra adulta). Los datos de la longitud de las fibras procedentes de cada individuo se contrastaron a través de la prueba Kruskal Wallis y se encontró diferencia significativa (Kruskal Wallis $H = 38.761$, $gl = 3$, $p < 0.01$).

La prueba de Chi-cuadrado, empleada para comparar el número de fibras encontradas asociadas a cada sexo indicó que no existen diferencias significativas ($\chi^2 = 11.935$, $gl = 4$, $p = 0.017$). Esto evidencia que la ingesta de fibras no está asociada con el sexo de estas toninas. La prueba de Chi-cuadrado empleada para contrastar la frecuencia de aparición de los colores de las fibras en los tractos digestivos de los organismos, indica que existen diferencias significativas, ($\chi^2 = 25.838$, $gl = 12$, $p = 0.011$), es decir, la proporción de colores de fibras encontradas en los tractos digestivos de los diferentes animales es similar.

En la **figura 4** se muestra el contraste entre la composición de longitudes de las fibras en los individuos por clase de edad. En los adultos (TT170519M01 - TT191220H04) se encontraron fibras de longitudes ligeramente menores que las encontradas en las crías (TT060919H02 - TT191020M03). Para el análisis de los datos procedentes de las toninas varadas con respecto a la clase de edad (toninas)/Núm. de fibras se utilizó la prueba Chi-cuadrado y se encontró diferencia significativa ($\chi^2 = 25.838$, $gl = 12$, $p = 0.011$).

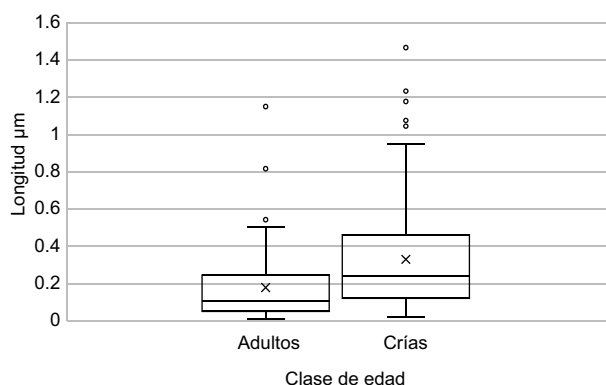


Fig. 4. Distribución de la longitud de fibras entre las clases de edad de las toninas. Caja: desviación estándar, bigote: error estándar.

Con respecto a los fragmentos de plásticos registrados en las toninas, los valores de los tamaños se concentran en las medidas menores a los 40 μm . Para el contraste del número de fragmentos en el estómago por individuos se utilizó la prueba Chi-cuadrado y se encontró diferencia significativa ($\chi^2 = 14.603$, $gl = 6$, $p = 0.023$). En el caso de la clase de edad (toninas)/Núm. de fragmentos se utilizó la prueba Chi-cuadrado y se encontró diferencia significativa ($\chi^2 = 7.8857$, $gl = 2$, $p = 0.019$), donde se observa que los animales jóvenes presentaron mayor cantidad. Con relación al sexo de los organismos varados (toninas)/Núm. de fragmentos no se encontró diferencia significativa ($\chi^2 = 0.32857$, $gl = 2$, $p = 0.84$), esto evidencia que la ingesta de fragmentos no está asociada con el sexo de los animales.

Se colectaron cinco peces dentro de la laguna de Términos, cuatro peces de la especie *Bagre marinus* (Mitchill, 1815; Bm) y un pez de la especie *Anisotremus virginicus* (Linnaeus 1758). En el análisis de las partículas de plástico en estas potenciales presas de las toninas, en los bagres (*Bagre marinus*) Bm071218-01 y Bm071218-03 se encontraron ocho partículas; en el primero únicamente fibras de color

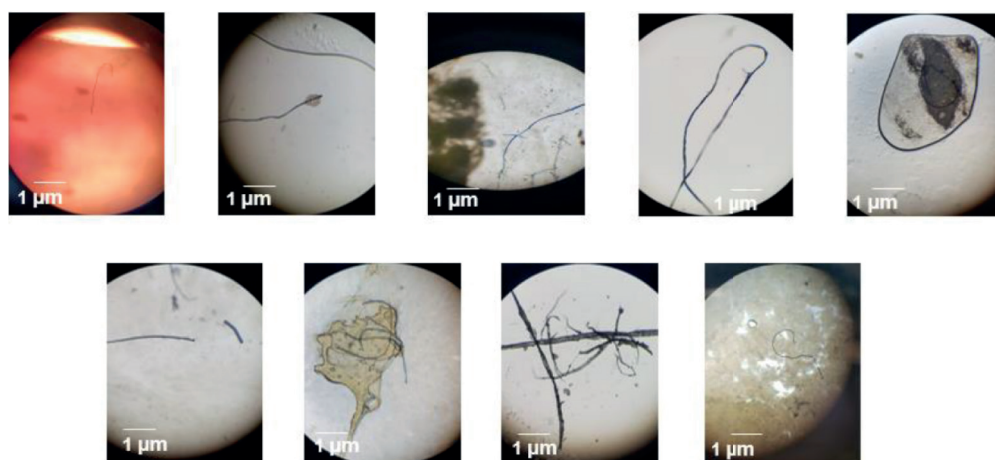


Fig. 5. Ejemplos de fibras registradas en los peces colectados. Se pueden observar fibras negras y azules..

azul mientras que el segundo seis azules, además de una fibra y un fragmento de color negro. En el organismo Bm071218-02 se encontró un total de seis fibras de color azul; mientras que en el bagre Bm041219-05 se encontró un total de siete partículas de plástico de las cuales cinco fueron fibras de color negro y dos de color azul. Para el pez de la especie *Anisotremus virginicus*, comúnmente conocido como ronco y con clave Av250919-04, se encontró un total de seis partículas de plástico de las cuales cinco fibras fueron de color azul y una de color rojo. En la **figura 5** se muestran ejemplos de las fibras.

DISCUSIÓN

El presente trabajo constituye el primer registro de la presencia de microplásticos (MP) en toninas varadas en el Área de Protección de Flora y Fauna de Laguna de Términos. De los resultados de este trabajo destaca que todos los individuos de toninas (*T. truncatus*) analizados ($n=4$) tenían microplásticos en su contenido estomacal. El ejemplar con mayor porcentaje de MP fue una cría hembra y el de menor porcentaje fue una hembra adulta. El color que predominó en las toninas fue el color azul en fibras y el color negro en fragmentos (en esta categoría se incluyó la red sintética).

Este trabajo presenta resultados similares a los obtenidos por Battaglia et al. (2020) para la misma especie ($n = 7$ de *T. truncatus*) en las costas de Carolina del Sur, Estados Unidos. Ellos registraron un intervalo de número de partículas de 123 y 422 por individuo revisado. Estos autores identificaron nueve categorías de colores de

acuerdo con los MP contados en las muestras. En general, la mayor proporción de MP fueron blancos/translúcidos (66.6 %), seguidos de negros / grises (12.6 %) y azules (9.1 %). Los seis colores restantes se observaron en menor abundancia: rojo / rosa (3.4 %), amarillo (3.4 %), naranja (1.8 %), marrón / tostado (1.7 %), verde (1 %) y violeta (0.4%), mientras que, en este trabajo el número de partículas por individuo fue menor y la variedad de colores registrados también fue más limitada.

Por otro lado, las formas de los MP registrados por Battaglia et al. (2020) fueron perlas y espuma, mientras que en este trabajo no se encontraron estas formas de MP, sin embargo, se registró malla sintética que en aquella región no se encontró.

Todos los organismos varados presentaron fibras de color azul, rojo y negro, de forma similar a lo registrado en el estudio realizado con la especie *Delphinus delphis* en la Península Ibérica (Hernández-González et al. 2018).

La gran mayoría de las fibras encontradas en los estómagos de las toninas varadas midieron menos de 365.37 µm, medidas que se encuentran dentro del intervalo registrado por Lusher et al. (2015) en el estómago de tres ejemplares de zifio de True (*Mesoplodon mirus*). Estos autores encontraron 29 fibras y 59 fragmentos con tamaños entre 118 y 1000 µm, siendo éste es el primer estudio que identifica directamente los MP en el tracto digestivo de una especie de cetáceo.

Los resultados de este trabajo son similares a los registrados en estudios para toninas en otras regiones del Golfo de México y a los de otros estudios con odontocetos, ya que en todos se encontró un mayor porcentaje de fibras plásticas. En cuanto a

los colores y tamaños de los microplásticos, varían para cada especie y posiblemente para la ubicación geográfica en donde se realizó cada estudio. Hernández-González et al. (2018) mencionan haber encontrado mayor ocurrencia de fibras de color azul en el delfín común, lo que coincide con lo hallado en las toninas varadas en la Isla del Carmen de este trabajo, pero las toninas de la bahía de Sarasota, Florida presentaron fibras transparentes y fragmentos de espuma plástica en sus estómagos (Hart et al. 2022). En las playas de la Isla del Carmen abundan los desechos sólidos que se van fragmentando, principalmente son restos de botellas y tapas de plástico conocidos como PET y cuerdas de plástico y redes conocidas como de monofilamento.

Es importante resaltar la diferencia de colores de las fibras y fragmentos encontrados para cada individuo de tonina analizada. El hecho de que el azul predomine en las fibras y el negro en los fragmentos, podría sugerir que ese tipo de color de plástico es el que se encuentra en mayor abundancia en el ambiente. Aunque no se cuenta con elementos para poder inferir su origen, son muy parecidos a las fibras de las cuerdas de plástico que utilizan las embarcaciones para su amarre así como a las líneas que sostienen las redes de pesca.

Se sabe que algunas toninas capturan a sus presas dentro de la laguna y en la zona oceánica (Delgado-Estrella 2015, Naranjo-Ruiz 2020). Dado que existe evidencia de bioacumulación de MP, es posible que los peces que consumen cerca de la isla también estén expuestos a ingerir este tipo de partículas y a transferirlas a sus depredadores. En este trabajo se reconocieron partículas de MP, fibras y fragmentos en los estómagos de dos especies de peces (*Bagre marinus* y *Anisotremus virginicus*), presas conocidas de las toninas. Todos los peces tuvieron presencia de fibras y un fragmento, aunque en estos organismos sólo se encontraron fibras de color azul, rojo y negro y un solo fragmento de color negro.

En el conocimiento de los autores, estos son los primeros datos de la presencia de partículas de plástico en peces presa de toninas en la laguna de Términos, lo que demuestra que tanto los peces como las toninas están consumiendo MP, por lo que existe la posibilidad de que estos mamíferos estén consumiendo de manera indirecta los MP por medio de su alimento. La ingesta de MP por los peces se podría deber a los hábitos alimentarios que presentan; los bagres son catalogados como una especie oportunista sobre fondos fangosos y arenosos que se alimenta principalmente de pequeños peces e invertebrados (FishBase 1997); los roncós habitan arrecifes y fondos rocosos y se alimentan de moluscos, equinoder-

mos, anélidos y crustáceos (FishBase 1978). Al igual que en el estudio realizado por Sánchez-Hernández (2018) en el estuario Tecolutla de Veracruz ($n = 155$), los peces que se analizaron en la investigación que reportamos ($n = 5$) presentaron en su mayoría fibras, predominando el color negro, seguido del azul y rojo. Los bagres presentaron principalmente fibras azules. Una diferencia importante es el número de individuos analizados.

Recientemente se tienen informes de la presencia de MP en otros grupos biológicos que se distribuyen en la Laguna de Términos como fitoplancton, esponjas y peces. Por ejemplo, un estudio realizado por Córdova-Osorio (2020) en una comunidad fitoplanctónica en el antiguo delta interno (Cocoyoles) del APFFLT, menciona que durante el análisis de las muestras de agua encontraron MP, resaltando que en dos arrastres realizados se tuvo mayor presencia de microplásticos que de microorganismos.

Para el litoral interno de la Isla del Carmen, dentro de la APFFLT, Celis-Hernández et al. (2021) realizaron un estudio de la distribución de MP en manglares urbanos en comparación con manglares no perturbados utilizando esponjas marinas como bioindicadores. En las tres especies analizadas (*Haliclona implexiformis*, *Halichondria* (*Halichondria*) *melanodocia* y *Amorphinopsis atlantica*), las concentraciones promedio variaron de 1861 a 3456 fragmentos/kg de peso seco de esponja, 130 a 287 fragmentos/L en agua y 6 a 11 fragmentos/kg en sedimento. Estos autores registraron cuatro colores en su estudio: azul, rojo, negro y blanco, similares a los encontrados en los estómagos de las toninas varadas, a excepción del color blanco. Con estos trabajos se evidencia que la presencia de los MP en la laguna de Términos abarca diversos eslabones de la trama trófica.

En la bahía de Campeche, la mayoría de las fibras que se encuentran en los ambientes acuáticos están relacionadas con las actividades de pesca y lavandería (Borges et al. 2020). En Ciudad del Carmen una de las principales actividades económicas es la pesca y muchos de los que se dedican a esta actividad utilizan redes plásticas de nailon que comúnmente son colocadas por cierto tiempo dentro de la laguna e incluso olvidadas, lo cual ocasiona que, por el movimiento del oleaje, el intemperismo y la fotorreacción se fragmenten. Por otro lado, en diversas zonas aledañas a la APFFLT, así como en la zona norte de la Península de Yucatán, de donde proviene principalmente el agua marina de la zona, no se cuenta con fosas sépticas, por lo que los residuos grises (aguas jabonosas como las de lavandería) alcanzan la zona de estudio con la consecuente afectación del agua.

Se desconocen todavía muchos aspectos acerca de las consecuencias de la ingesta o presencia de los químicos que contienen los MP en los organismos, así como el nivel aceptable que pueda presentar un organismo para no ser afectado por éstos. Sin embargo, se sabe que todos los ftalatos son disruptores endócrinos y las consecuencias de su ingesta puede llegar a tener repercusiones graves en los organismos, especialmente en la reproducción y en etapas tempranas de desarrollo (Skinner y Anway 2007, Cole et al. 2011).

El número de implicaciones dañinas de los desechos plásticos ha ido en aumento y se sabe que estos objetos transportan otros contaminantes (Viloria-Gómora et al. 2018). Sin embargo, Acosta González et al. (2022) señalan que con esfuerzos de educación ambiental y concientización de la población podría reducirse el efecto negativo en los ecosistemas costeros.

Si bien la cantidad de MP obtenidos en este trabajo es menor a los de otros estudios, dan evidencia de que esta microbasura existe en la APFFLT y que se encuentra en todos los organismos analizados. Estos resultados abonan a lo encontrado por otras investigaciones (Córdova-Osorio 2020, Celis-Hernández et al. 2021) en esta área natural protegida, que además sustenta poblaciones importantes de tortugas marinas, aves costeras residentes y migratorias y es criadero de diversas especies de consumo humano. Se espera que los resultados de estos trabajos sirvan como evidencia para promover esquemas de manejo y gestión costera que eviten el ingreso de residuos sólidos urbanos a las aguas de la laguna de Términos y en general a los mares y océanos.

AGRADECIMIENTOS

A los compañeros de la Red Universitaria de Atención a Varamientos de Mamíferos Acuáticos (UNACAR) por apoyar en el trabajo de campo y laboratorio: Lub Velázquez, Enrique Rojas, Jafet Berges, Hugo Hernández, Paulina Loyo, Fernanda Cañada, Itzel Escanga, Giselle Sartiaguin, Karla Arango y Daniela Montejo. La colecta de material biológico se realizó bajo el amparo del permiso federal SGPA/DGVS/4078/19.

REFERENCIAS

- Acosta González G., Carrillo Rosales D.V. y Caballero Vázquez J.A. (2022). Microplásticos en agua y en organismos. *Ciencia* 73 (2), 14-21.
- Aguilar-Aguilar R. y Delgado-Estrella A. (2017). Atención a varamientos de mamíferos acuáticos. En: *Vertebrados. Manual de captura, manipulación y estudio* (R. Aguilar Aguilar y G. Rivas Comps.). Departamento de Biología Comparada. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México, pp. 93-98.
- Baird R. W. y Hooker S. K. (2000). Ingestion of plastic and unusual prey by a juvenile Harbour Porpoise. *Marine Pollution Bulletin* 40, 719-720.
- Barragán-Barrera D. C. (2010). Distribución y uso de hábitat del delfín nariz de botella *Tursiops truncatus* (Montagü, 1821) (Cetacea: Delphinidae) en Bocas del Toro, Costa Caribe de Panamá. Tesis de Licenciatura, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia, 66 pp.
- Battaglia F. M., Beckingham B. A. y McFee W. E. (2020). First report from North America of microplastics in the gastrointestinal tract of stranded bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Marine Pollution Bulletin* 160, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111677>
- Besseling E., Foekema E. M., Van Franeker J. A., Leopold M. F., Kühn S., Rebolledo E. L. B., Hesse E., Mielke L., IJzer J., Kamminga P. y Koelmans A. A. (2015). Microplastic in a macro filter feeder: humpback whale *Megaptera novaeangliae*. *Marine Pollution Bulletin* 95 (1), 248-252. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.007>
- Borges M. M., Mendoza E. F., Escalona G. y Rendon J. (2020). Plastic density as a key factor in the presence of microplastic in the gastrointestinal tract of commercial fishes from Campeche Bay, Mexico. *Environmental Pollution* 267, 115659. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115659>
- Celis-Hernández O., Ávila E., War R. D, Rodríguez-Santiago M. A. y Aguirre-Téllez J. A. (2021). Microplastic distribution in urban vs pristine mangroves: Using marine sponges as bioindicators of environmental pollution. *Environmental Pollution* 284, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117391>
- Claro F., Fossi M. C., Loakeimidis C., Bains M., Lusher A. L., McFee W., McIntosh R.R., Pelamatti T., Sorce M., Galgani F. y Hardesty B.D. (2019). Tools and constraints in monitoring interactions between marine litter and megafauna: insights from case studies around the world. *Marine Pollution Bulletin* 141, 147-160. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.018>
- Cole M., Lindeque P., Halsband C. y Galloway T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin* 62 (12), 2588-2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>

- Córdova-Orsorio C. S. (2020). Descripción de la comunidad fitoplanctónica en el antiguo delta interno (Cocoyoles) del APFFLT, Campeche: un caso de impacto por lixiviados. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma del Carmen, Ciudad del Carmen, Campeche, México, 97 pp.
- Delgado-Estrella A. (2015). Patrones de residencia y movimientos a largo plazo de las toninas *Tursiops truncatus*, en la región sureste del Golfo de México. *Therya* 6 (2), 297-314. <https://doi.org/10.12933/therya-15-265>
- FishBase (1978). *Anisotremus virginicus*. [en línea]. <https://www.fishbase.se/summary/anisotremus-virginicus> 13/03/2024
- FishBase (1997). *Bagre marinus*. [en línea] <https://www.fishbase.de/summary/Bagre-marinus> 13/03/2024
- Geraci J. R. y Lounsbury V. J. (2005). Marine mammals ashore: A field guide for strandings. National Aquarium in Baltimore. [en línea] <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/39015> 13/03/2024
- Hart L. B., Beckingham B., Wells, R. S., Alten Flagg M., Wischusen K., Moors A. y Wirth E. (2018). Urinary phthalate metabolites in common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from Sarasota Bay, FL, EUA. *GeoHealth* 2 (10), 313-326. <https://doi.org/10.1029/2018GH000146>
- Hart L.B., Dziobak M., Wells R.S., Ertel B. y Weinstein J. (2022). Microplastics in gastric samples from common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) residing in Sarasota Bay FL (USA). *Frontiers Marine Science* 9, 947124. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.947124>
- Hernández-González A., Saavedra C., Gago J., Covelo P., Santos M. B. y Pierce G. J. (2018). Microplastics in the stomach contents of common dolphin (*Delphinus delphis*) stranded on the Galician coasts (NW Spain, 2005–2010). *Marine Pollution Bulletin* 137, 526-532. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.10.026>
- INEGI (2016). Estudio de información integrada de la Cuenca Laguna de Términos y otras. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Ciudad de México, México, 88 pp.
- Lusher A. L. y Hernández-Milian G. (2018). Microplastic extraction from marine vertebrate digestive tracts, regurgitates, and scats: A protocol for researchers from all experience levels. *Bio-protocol* 8 (22), 1-12. <https://doi.org/10.21769/BioProtoc.3087>
- Lusher A. L., Hernandez-Milian G., O'Brien J., Berrow S., O'Connor I. y Officer R. (2015). Microplastic and macroplastic ingestion by a deep diving, oceanic cetacean: The True's beaked whale (*Mesoplodon mirus*). *Environmental Pollution* 199, 185-191. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.01.023>
- Lusher A. L., O'Donnell C., Officer R. y O'Connor I. (2016). Microplastic interactions with North Atlantic mesopelagic fish. *ICES Journal Marine Science* 73 (4), 1214–1225. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsv241>
- Mancilla P.M. y Vargas M. F. (1980). Los primeros estudios sobre la circulación y el flujo neto de agua a través de la laguna de Términos, Campeche. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología - UNAM* 7 (2), 1-12
- Moore C.J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research* 108, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.07.025>
- Moore R.C., Loseto L., Noel M., Etemadifar A., Brewster J.D., MacPhee S., Bendell L. y Ross P.S. (2020). Microplastics in beluga whales (*Delphinapterus leucas*) from the Eastern Beaufort Sea. *Marine Pollution Bulletin* 150 (1-5), 110723. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110723>
- Naranjo-Ruiz K. L. (2020). Poblaciones simpátricas de *Tursiops truncatus*: Delphinidae, presentes en el APFFLT: evaluación del uso de recursos (δ 15N) y hábitat (δ 13C). Tesis de Maestría. Instituto EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche, San Francisco de Campeche, Campeche, México, 110 pp.
- PROFEPA (2014). Protocolo de atención para varamiento de mamíferos marinos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. México. 14 abril 2014.
- Ramos-Miranda J., Flores- Hernández D., Ayala-Pérez L. A., Rendón-Von Osten J., Villalobos-Zapata G. y Sosa-López A. (2006). Atlas Hidrológico e Ictiológico de la Laguna de Términos. Universidad Autónoma de Campeche. México, 173 pp.
- Rivas-Hernández G., Delgado-Estrella A. y Barreto-Castro R. (2014). Varamientos de toninas, *Tursiops truncatus*, en Laguna de Términos y zonas adyacentes, 2002-2013. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias* 3 (6), 340-350.
- Romero-Tenorio A. y Delgado-Estrella A. (2015). Comparación del ritmo de crecimiento de las toninas (*Tursiops truncatus*) pertenecientes a tres localidades distintas. *Therya* 6 (2), 389-400. <https://doi.org/10.12933/therya-15-263>
- Roy P. K., Hakkarainen M., Varma I. K. y Albertsson A. C. (2011). Degradable polyethylene: Fantasy or reality. *Environmental Science and Technology* 45, 4217-4227. <https://doi.org/10.1021/es104042f>
- Sánchez-Hernández L. J. (2018). Evaluación de la presencia de microplásticos en peces comerciales, agua y sedimento del estuario de Tecolutla, Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México, México, 88 pp.
- Skinner M. K. y Anway M. D. (2007). Epigenetic transgenerational actions of vinclozolin on the development of

- disease and cancer. *Critical Reviews on Oncogenesis* 13, 75-82. <https://doi.org/10.1615/critrevoncog.v13.i1.30>.
- Van Franeker J. A., Bravo Rebolledo E. L., Hesse E., Ijseldijk L. L., Kühn S., Leopold M. y Mielke L. (2018). Plastic ingestion by harbour porpoises *Phocoena phocoena* in the Netherlands: Establishing a standardized method. *Ambio* 47, 387-397. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-1002-y>
- Viloria-Gómora L., Olavarrieta-García T. y Urbán R. J. (2018). Consumidores superiores: vulnerabilidad de los mamíferos marinos ante macroplásticos y microplásticos. En: *Bioacumulación y transferencia de metales y contaminantes emergentes a través de las cadenas tróficas marinas* (M. J. y A. P. Hernández Eds.). Samsara, Ciudad de México, México, pp. 93-108.
- Zantis, L. J., Carroll E. L., Nelms S. E. y Bosker T. (2021). Marine mammals and microplastics: A systematic review and call for standardization. *Environmental Pollution* 269, 116142. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116142>