



Centro de Investigación Científica de
Yucatán, A.C.



Posgrado en Ciencias del Agua

TESIS DE POSGRADO EN CIENCIAS DEL AGUA

“OCURRENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN AGUA Y
PECES DE LA ZONA NORTE DE QUINTANA ROO”

Tesis que presenta

MARICRUZ EVANGELINA ARCIQUE PECH

En opción al título de

MAESTRA EN CIENCIAS DEL AGUA

Cancún, Quintana Roo, México

2024

DECLARACIÓN DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de: Materiales y Métodos, Resultados y Discusión de este documento, proviene de las actividades de investigación realizadas durante el período que se me asignó para desarrollar mi trabajo de tesis, en las Unidades y Laboratorios del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., y que, a razón de lo anterior, y en contraprestación de los servicios educativos o de apoyo que me fueron brindados, dicha información, en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley Federal de Protección a la Propiedad Industrial, le pertenece patrimonialmente a dicho Centro de Investigación. Por otra parte, en virtud de lo ya manifestado, reconozco que de igual manera los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que deriven o pudieran derivar de lo correspondiente a dicha información, le pertenecen patrimonialmente al Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., y se regirán, en todo caso, por lo dispuesto por la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley Federal de Protección a la Propiedad Industrial, en el tenor de lo expuesto en la presente Declaración.

Firma: _____



Nombre: MARICRUZ EVANGELINA ARCIQUE PECH

*CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN, A. C. POSGRADO
EN CIENCIAS DEL AGUA.*



RECONOCIMIENTO

Por medio de la presente, hago constar que el trabajo de tesis de Maricruz Evangelina Arcique Pech titulado **Ocurrencia de microplásticos en agua y peces de la zona norte de Quintana Roo**, fue realizado en la Unidad de Ciencias del Agua, en la línea de investigación de Seguridad Hídrica en Sistemas Socio- ambientales en el laboratorio de Ecología de Organismos Acuáticos del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. bajo la dirección del Dr. Gilberto Acosta González y la Codirección del Dr. José Adán Caballero Vázquez perteneciente al Programa de Posgrado en ciencias del Agua de este Centro.

Atentamente



Dr. José Luis Hernández Stefanoni
Director de Docencia

Cancún Quintana Roo, México, a 03 de octubre de 2024

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia, Humanidades y Tecnología (CONACHYT) por la beca nacional para estudios de posgrado otorgada (CVU 1165468).

Al posgrado en Ciencias del Agua de la Unidad en Ciencias del Agua del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (UCIA-CICY).

Al laboratorio de Ecología y Organismos Acuáticos, y a la Unidad de Materiales por haberme brindado el tiempo, espacio y materiales para poder llevar a cabo este proyecto.

A las Cooperativas de Puerto Juárez, y a *Octopus maya*-Pescados y mariscos a cargo de Daniela Ochoa Padilla y Ángel Ochoa Padilla.

A los miembros del comité tutorial:

Al Dr. Gilberto Acosta González por confiar en mi desde el primer momento, por los apoyos brindados durante la realización de este proyecto.

Dr. José Adán Caballero Vázquez por brindarme su apoyo y espacio en el laboratorio, así mismo por su colaboración en la revisión de mi documento.

Dr. José Manuel Cervantes Uc por sus comentarios para mejorar mi trabajo de investigación, por recibirme en el área de materiales poliméricos y darme el espacio de trabajar las muestras.

Dra. Eva Rose Kozak por acertar en sus comentarios, los cuales me sirvieron mucho para mejorar la redacción y aplicar métodos correctos en el proyecto.

A los técnicos de la UCIA-CICY, en especial al M en C. Jorge Carlos Peniche Pérez por su gran apoyo tanto en laboratorio como en campo, también por los consejos y aprendizajes que me brindo.

Al M. en C. Benjamín Delgado Pech por su ayuda en las salidas de campo, y al M. en C. José Epigmenio Bautista por su paciencia, por brindar su ayuda y capacitación durante mi estancia en el laboratorio.

Al Dr. Wilberth Herrera Kao, de la UMAT del CICY por ser parte importante de este proyecto quien me brindo su gran ayuda para lograr la identificación de los polímeros, mil gracias. Gracias a la M. en C. Tania Paulina Gil Cortés por su valioso apoyo.

A la Ing. Silvia Andrade por ayudarme con las micrografías que se obtuvieron para los microplásticos, gracias infinitas.

A Mar, Marbe, Wen, Arge y Héctor que desde el día uno que nos vimos en la unidad nos volvimos unidos, además de ser una red de apoyo para mí, también el haber recorrido con ellos un gran camino de la maestría.

A Juan por motivarme a entrar a la maestría y ser parte de este camino de enseñanzas. A Edgar Hernández, mi amigo a distancia quien me ayudó con mis mapas, estoy muy agradecida.

A Omar, Alma, Shei, Ab, Kim, Juan C, por estar en este recorrido de la maestría por motivarme, darme palabras de aliento para seguir y concluir esta etapa.

A mi familia por ser parte de mi motivación y por siempre estar en los momentos más difíciles, por estar al pendiente de mí y apoyarme en cada paso, muchas gracias, esto no lo hubiera logrado sin ustedes.

DEDICATORIA

La vida es impredecible, esta tesis está dedicada a cada una de las personas que tiene un objetivo en este mundo, intentando salvarlo y contribuyendo al cuidado de este.

También la dedico a aquellos que lograron sus metas, a pesar de las dificultades que se presentaron en el camino de todo proyecto en la vida.

Y finalmente como dijo José Madero: “Nunca dirán "felicidades" Enhorabuena, por fin lo lograste.”

ÍNDICE

LISTADO DE TABLAS	iii
LISTADO DE FIGURAS	v
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	2
ANTECEDENTES	2
1.1 PLÁSTICOS.....	2
1.1.2 MICROPLÁSTICOS (MP'S).....	3
1.1.3 MICROPLÁSTICOS (MP'S) EN EL AGUA.....	5
1.1.4 MICROPLÁSTICOS (MP'S) EN LOS ORGANISMOS MARINOS.....	5
1.1.5 MICROPLÁSTICOS (MP'S) EN LOS PECES	6
1.1.6 ESTUDIOS SOBRE LOS MICROPLÁSTICOS EN MÉXICO.....	9
1.1.7 IDENTIFICACIÓN DE POLÍMEROS EN MICROPLÁSTICOS	11
1.1.8 DESCRIPCIÓN DE ESPECIE DE PECES OBJETIVO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS (MP'S)	12
JUSTIFICACIÓN.....	15
HIPÓTESIS	15
OBJETIVOS.....	16
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
CAPÍTULO 2	17
MATERIALES Y MÉTODOS	17
2.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	17
2.2 TRABAJO DE CAMPO	18
2.2.4 TRABAJO DE LABORATORIO	19
2.2.7 IDENTIFICACIÓN DE POLÍMEROS	27
2.2.8 ANÁLISIS DE DATOS	29
CAPÍTULO 3	30
3.1 RESULTADOS	30
3.1.1 NÚMERO TOTAL DE MP'S REGISTRADOS EN MUESTRAS DE AGUA	30
3.1.2 REGISTRO DE MP'S EN PECES	32

3.1.3 MEDICIÓN DE PARTÍCULAS	51
3.1.4 ANÁLISIS PERMANOVA	52
3.1.5 REGRESIÓN LINEAL	53
3.1.6 RESULTADOS DE PARTÍCULAS DE MICROPLÁSTICOS EN EL AGUA DE MAR DE DOS TEMPORADAS CLIMATICAS (SECAS Y LLUVIAS)	54
3.1.7 MODELOS LINEALES GENERALIZADOS (GLM).....	55
3.2 DISCUSIÓN.....	80
CONCLUSIONES.....	86
BIBLIOGRAFÍA.....	87

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los microplásticos de acuerdo con el polímero identificado....

Tabla 2. Clasificación de MP's propuesta por *Free et al*, 2014.

Tabla 3. Registro de MP's en temporada de secas.

Tabla 4. Registro de MP'S en temporada de lluvias.

Tabla 5. Número total, de organismos obtenidos por especie en las dos por temporadas (secas y lluvias).

Tabla 6. Registro total de microplásticos por especie encontrados en la temporada de secas.

Tabla 7. Registro total de microplásticos por especie encontrados en la temporada de lluvias

Tabla 8. Total, de individuos por especie con presencia de MP's (secas)

Tabla 9. Total, de individuos por especie con presencia de MP's (lluvias)

Tabla 10. Total, de microplásticos encontrados en las tres especies de peces en ambas temporadas (lluvias y secas)

Tabla 11. Registro de datos obtenidos de la especie Barracuda.

Tabla 12. Microplásticos identificados en el contenido estomacal de la especie *Sphyraena barracuda* colectados en Puerto Juárez.

Tabla 13. Datos registrados de los pargos.

Tabla 14. Microplásticos identificados en el contenido estomacal de la especie *Lutjanus analis* colectados en Puerto Juárez.

Tabla 15. Datos de la especie boquinete

Tabla 16. Microplásticos y polímeros identificados en el contenido estomacal de la especie boquinete colectados en Puerto Juárez.

Tabla 17. Resultado del análisis del modelo PERMANOVA utilizando la distancia Bray-Curtis para la época climática y las especies de peces en relación con la abundancia de microplásticos.

Tabla 18. Análisis de la prueba de comparaciones pareadas entre la abundancia de microplásticos y las especies de peces.

LISTADO DE FIGURAS

- Figura 1.** Ejemplar adulto de Barracuda (*Sphyraena barracuda*).
- Figura 2.** Ejemplar adulto de Boquinete (*Lachnolaimus maximus*).
- Figura 3.** Ejemplar adulto de Pargo criollo (*Lutjanus analis*).
- Figura 4.** Zona y sitio de estudio en Puerto Juárez zona norte de Quintana Roo.
- Figura 5.** Filtración de muestras de agua Mili-Q en el sistema de cristal con filtros de celulosa.
- Figura 6.** Método de blancos.
- Figura 7.** Medición de la longitud total del organismo.
- Figura 8.** Registro del peso en gramos del organismo.
- Figura 9.** Primera revisión visual de contenido estomacal.
- Figura 10.** Fibras obtenidas de la segunda visualización, posterior a la digestión del estómago con cloro.
- Figura 11.** Fotografías de las medidas de los MP's (muestras barracuda) capturadas con TopView.
- Figura 12.** Fotografía de las medidas de los MP's (muestra boquinete) capturada con TopView.
- Figura 13.** Fotografía de las medidas de los MP's (muestra agua/temporada seca) capturada con TopView.
- Figura 14.** Fotografía de las medidas de los MP's (muestra agua/ temporada lluvia) capturada con TopView.
- Figura 15.** Equipo de espectrofotometría FTIR (Nicolet 8700) utilizado para la identificación de polímeros.
- Figura 16.** Muestras de MP's con baño de oro para obtener las micrografías.
- Figura 17.** Porcentaje de microplásticos por color conjuntando ambas temporadas.

Figura 18. Comparación del peso total de la barracuda entre las temporadas seca y de lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes. La línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles (Q1 y Q3), y los bigotes muestran los valores mínimos y máximos.

Figura 19. Comparación de la talla de la barracuda entre temporadas de seca y de lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes, la línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles y los bigotes los valores mínimos y máximos.

Figura 20. Comparación del peso total del estómago de la barracuda entre las temporadas seca y de lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes. La línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles y los bigotes muestran los valores mínimos y máximos.

Figura 21. Comparación del peso total del pargo entre las temporadas seca y de lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes. La línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles y los bigotes muestran los valores mínimos y máximos.

Figura 22. Comparación de la talla del pargo entre las temporadas seca y de lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes. La línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles y los bigotes muestran los valores mínimos y máximos.

Figura 23. Comparación del peso total de los estómagos del pargo entre las temporadas seca y de lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes. La línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles y los bigotes muestran los valores mínimos y máximos.

Figura 24. Comparación del peso total del boquinete entre las temporadas seca y de lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes. La línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles y los bigotes muestran los valores mínimos y máximos.

Figura 25. Comparación de la talla del boquinete entre las temporadas seca y de lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes. La línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles y los bigotes muestran los valores mínimos y máximos.

Figura 26. Comparación del peso total del estómago del boquinete entre las temporadas seca y de lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes. La línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles y los bigotes muestran los valores mínimos y máximos.

Figura 27. Figura 27a. P1 microfibra azul, Figura 27b. P2 microfibra transparente 3.25mm, Figura 27c. P4 microfibra azul 3.56 mm.

Figura 28. Figura 28a .C1 microfibra azul 2.60mm, Figura 28b. C3 Microfibra roja 3.45mm.

Figura 29. Comparación del número de partículas de microplásticos por litro entre las temporadas de secas y lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes. La línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles y los bigotes muestran los valores mínimos y máximos.

Figura 30. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso total de la barracuda. Presenta el número de partículas registradas.

Figura 31. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso total de la barracuda. Presenta el número de partículas registradas en relación con el peso de los organismos en temporada de lluvias.

Figura 32. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso total del pargo. Presenta el número de partículas registradas con relación al peso de los organismos en temporada de secas.

Figura 33. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso total del pargo. Presenta el número de partículas registradas con relación al peso de los organismos en temporada de lluvias.

Figura 34. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso total del boquinete. Presenta el número de partículas registradas con relación al peso de los organismos en temporada de secas.

Figura 35. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso total del boquinete. Presenta el número de partículas registradas con relación al peso de los organismos en temporada de lluvias.

Figura 36. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso del estómago de la barracuda. Presenta el número de partículas registradas con relación al peso de los organismos en temporada de lluvias.

Figura 37. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso del estómago de la barracuda. Presenta el número de partículas registradas con relación al peso de los organismos en temporada de secas.

Figura 38. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso del estómago del pargo. Presenta el número de partículas registradas con relación al peso de los organismos en temporada de lluvias.

Figura 39. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso del estómago del pargo. Presenta el número de partículas registradas en relación.

Figura 40. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso del estómago del boquinete. Presenta el número de partículas registradas con relación al peso de los organismos en temporada de lluvias.

Figura 41. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso del estómago del boquinete. Presenta el número de partículas registradas con relación al peso de los organismos en temporada de secas.

Figura 42. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y talla de los organismos de la barracuda. Presenta el número de partículas registradas con relación a la talla de la barracuda.

Figura 43. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y talla de los organismos de la barracuda. Presenta el número de partículas registradas con relación a la talla de la barracuda en temporada de lluvias.

Figura 44. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y talla de los organismos del pargo. Presenta el número de partículas registradas con relación a la talla del pargo en temporada de secas.

Figura 45. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y talla de los organismos del pargo. Presenta el número de partículas registradas con relación a la talla del pargo en temporada de lluvias.

Figura 46. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y talla de los organismos del boquinete. Presenta el número de partículas registradas con relación a la talla del boquinete en temporada de secas.

Figura 47. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y talla de los organismos del boquinete. Presenta el número de partículas registradas con relación a la talla del boquinete en temporada de lluvias.

Figura 48. Espectro de FTIR de una microfibras transparente encontrada en el estómago de una barracuda (nylon).

Figura 49. Espectro de FTIR de una microfibras color roja, encontrada en el estómago de una barracuda (poliacrílico).

Figura 50. Espectro de FTIR de un microplástico encontrado en el agua en temporada de lluvias.

Figura 51. Espectro de FTIR de una microfibras encontrada en el agua en temporada de secas.

Figura 52. Micrografía de SEM de una fibra. Realizada por Silvia Andrade CICY, 2024.

Figura 53. Micrografía de SEM de una fibra. Realizada por Silvia Andrade CICY, 2024.

Figura 54. Micrografía de SEM de una fibra. Realizada por Silvia Andrade CICY; 2024.

Figura 55. Micrografía de SEM de una fibra. Realizada por Silvia Andrade CICY; 2024.

RESUMEN

Las investigaciones sobre los microplásticos y su presencia en el agua y en los organismos acuáticos es incipiente o ha sido muy poco investigado en Quintana Roo. Sin embargo, en los últimos años se ha incrementado la necesidad e importancia de determinar qué tipo de microplásticos se asocian al medio acuático, así como determinar si los peces los ingieren en el proceso de alimentación. En la zona norte de Quintana Roo el turismo de alta escala es la principal actividad productiva, asociada con la presencia de actividad pesquera en donde varias cooperativas pesqueras realizan en la zona su principal actividad. Por lo tanto, el objetivo de estudio fue identificar la presencia de los microplásticos (MP's) en tres especies de peces, dos de importancia comercial y una depredadora, así mismo determinar la presencia de los MP's en el agua marina, hábitat de estas especies. Se realizó la identificación de MP's a través de la visualización, tamaño, color e identificación de polímeros. Las microfibras fueron los de mayor presencia en los contenidos estomacales de los peces, en menor cantidad fueron algunos fragmentos. La especie que presentó mayor abundancia de MP's fue la barracuda y en menor cantidad fue el pargo. En el agua marina se encontraron microfibras de color transparente los cuales fueron los más abundantes. No hubo diferencias entre las temporadas de secas y lluvias de acuerdo con los análisis estadísticos que se realizaron.

ABSTRACT

Research on microplastics and their presence in water and aquatic organisms is incipient or has been very little investigated in Quintana Roo. However, in recent years the need and importance of determining what type of microplastics are associated with the aquatic environment, as well as determining whether fish ingest them in the feeding process, has increased. In the northern area of Quintana Roo, high-scale tourism is the main productive activity, associated with the presence of fishing activity where several fishing cooperatives carry out their main activity in the area. Therefore, the objective of the study was to identify the presence of microplastics (MPs) in three species of fish, two of commercial importance and one predatory, as well as to determine the presence of MPs in seawater, habitat of these species. MPs were identified through visualization, size, color and polymer identification. Microfibers were the most present in the stomach contents of fish, with some fragments in lesser amounts. The species with the highest abundance of MPs was the barracuda, and the snapper in lesser quantities. Transparent-colored microfibers were found in the seawater, which were the most abundant. There were no differences between the dry and rainy seasons according to the statistical analyses that were carried out.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los plásticos forman parte de los principales y más generalizados contaminantes, debido a que se han empleado por décadas en todo ámbito de la vida cotidiana del ser humano (Castañeta, 2020). De acuerdo con Góngora (2014), a partir de los años 1950, la producción de plásticos comenzó a expandirse de manera masiva, dada la producción de diferentes productos creados con plásticos de alta durabilidad, aunada a una buena resistencia a la corrosión y además económicos en su producción. La presencia de MP's en el medio marino se ha magnificado en las últimas décadas, causando actualmente daños en los océanos y alterando la fauna que lo habitan. La presencia de los MP's en los océanos se ha propagado con las corrientes marinas, y dado que los MP's son capaces de absorber los contaminantes orgánicos que se encuentre en el medio, pueden causar daños en la fauna marina (Seltenrich, 2016). En la zona norte de Quintana Roo, la pesca comercial es una de las principales actividades económicas, en Puerto Juárez existen tres cooperativas pesqueras, quienes capturan peces para comercializar. En este trabajo de investigación la cooperativa Puerto Juárez colaboró para la captura de las tres especies de peces. Se realizaron colecta de peces y agua, con el fin de identificar la presencia de los MP's en contenido estomacal y el hábitat de los peces (agua), aunado a esto también se evaluó la composición de microplásticos por especie de peces, así como determinar su presencia y composición en el hábitat marino (agua de mar), para la zona norte de Quintana Roo. También se realizó la identificación de polímeros de las partículas microplásticas obtenidas en ambas matrices de peces y agua, donde se obtuvo información relevante para los próximos estudios que se realicen en este sitio.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 PLÁSTICOS

Los plásticos son llamados así a los polímeros que tienen un origen sintético, su nombre está basado en su fórmula química y los polímeros están formados por átomos de carbono, otros grupos laterales y radicales, es decir; son las moléculas orgánicas de las cuales están constituidas los plásticos. Los polímeros más cuantiosos en la actualidad son el polietileno, policloruro de vinilo, poliestireno, polipropileno y el polietileno tereftalato que a nivel mundial comprende casi cerca del 90% (Andrady, 2009). El incremento del uso de plásticos se dio a partir de la revolución industrial, dado el incremento en la demanda de más productos plásticos para cubrir necesidades, desplazando así a otras materias primas como fibras naturales, madera y metales. En el año 2019 hubo una producción de 368 millones de toneladas métricas de plásticos, sin embargo, se estima que para el año 2025 habrá una producción de 600 millones de toneladas (Ulibarri, 2021; FAO, 2017). Una alta cantidad de los plásticos de desecho llegan y se mantienen en el océano en donde permanecen y se acumulan en grandes cantidades (Copello y Quintana, 2003). Estos llegan a través de las vías pluviales las cuales desembocan a los océanos directamente (Avio *et al.*, 2016). Los estudios basados sobre los desechos sólidos demuestran que los plásticos se encuentran en mayor abundancia en el medio marino (60-80%), considerando que muchos de estos desechos plásticos provienen del uso la industria pesquera, usados en redes de pesca, las cuales finalmente son desechadas una buena parte de ellas directamente al mar (Stap, 2011). La mayor parte de los plásticos usados en la actualidad, no son biodegradables, por lo que se van acumulando en los vertederos o en el medio natural al no poderse descomponer por completo (Barnes *et al.*, 2009). La creación de productos plásticos dio un gran cambio a la vida, sin embargo, su uso excesivo por décadas ha causado efectos en la salud humana y en los ecosistemas marinos de forma peligrosa, y se ha tenido registro de partículas plásticas en el contenido estomacal de especies, como las aves, mamíferos marinos (Barnes, 2005) y peces. De acuerdo con algunas investigaciones se ha estimado entre cuatro a doce millones de toneladas métricas de plásticos que llegan al medio marino (Geyer *et al.*, 2017).

1.1.2 MICROPLÁSTICOS (MP'S)

En los años 70's se afirmaba que los plásticos lograban desaparecer por medio de la fotodegradación, e incluso con la oxidación. Sin embargo, esto nunca fue así, lo que ocurría era que los plásticos se estaban degradando a partículas más pequeñas (Thompson, 2004). Los residuos de los plásticos son causantes directos de la contaminación de los ecosistemas marinos de manera global y de gran preocupación actual, ya que se han logrado distribuir en las matrices principales como el agua, sedimentos y en los organismos (Sarria-Villa y Gallo-Corredor, 2016). Los MP's son aquellos considerados como contaminantes persistentes por lo que están contaminado los océanos y su daño ecológico es cada vez mayor (Rochman *et al.*, 2016). Su distribución en el mundo se dio de manera rápida desde el medio terrestre al marino, muchos de los MP's provienen de desechos que son vertidos al océano por los humanos (Jambeck *et al.*, 2015), incluso pueden transportar contaminantes, químicos lo que magnifica el potencial de contaminante por ejemplo en las redes tróficas marinas (Wang *et al.*, 2016; Avio *et al.*, 2015). Existen dos tipos de MP's, en el medio acuático y en el medio terrestre; microplásticos primarios y secundarios. Los microplásticos primarios son fabricados de un tamaño menor de 5 mm, algunos con forma de pellets o microperlas, estos MP's primarios son incorporados en productos para el cuidado personal, por ejemplo, pasta dental y productos que sirven para el cuidado de la piel (Sarria-Villa y Gallo-Corredor, 2016; Cole *et al.*, 2011). Así que estos MP's usados en la industria de la cosmetología e higiene sustituyeron aquellos componentes provenientes de la naturaleza, como la avena (Fendall y Sewell, 2009). Los microplásticos secundarios son el resultado de los procesos de fragmentación y degradación de plásticos más grandes (por ejemplo, por acción mecánica de las olas), lo que da origen a partículas plásticas inferiores a 5 mm de diámetro son denominadas como MP's y mientras permanecen en el medio marino pueden seguirse fragmentando hasta formar nanoplasticos (< 1 μm) (Arthur *et al.*, 2009; UNEP, 2014; Espinosa *et al.*, 2016). Su fragmentación es causada por los factores químicos y biológicos del medio en el que se encuentran (Law *et al.*, 2010). Los MP's están representado de diferentes formas, que van desde microfibras, gránulos, fragmentos y perlas. En 2019, la OMS informó que los MP's estaban presentes en el mar, y en diferentes matrices como sedimentos, agua dulce, agua de la llave, agua de consumo humano, productos alimenticios y por supuesto en los organismos acuáticos (WHO, 2019). Se estiman el ingreso de tres millones de toneladas de MP's en los océanos provenientes de los ríos como medio de transporte (Lebreton *et al.*, 2017; Schmidt

et al. 2017). Se ha detectado una amplia variedad de MP's, (con formas de fibras, films, esferas, fragmentos, hilos), y de diferentes tipos de composición química como el polipropileno, tereftalato de polietileno, cloruro de polivinilo, poliéster, poliestireno y las poliamidas (Smith *et al.*, 2018). Así mismo, los microplásticos pueden absorber componente o aditivos tóxicos que pueden llegar al organismo al ingerir estas partículas, las cuales se han observado que aquellos microplásticos de mayor tamaño suelen ser desechadas por los organismos (Julia, 2019).

Acorde con Escobar (2021), los microplásticos puede estar constituidos por los siguientes polímeros (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de los microplásticos de acuerdo con el polímero sintético identificado.

Formas de microplásticos	Descripción	Polímero
Fragmentos Fibras Laminas Perlas y Espuma	Polietilen tereftalato	PET
	Polietileno de alta densidad	PEAD
	Policloruro de vinilo	PVC
	Polietileno de baja densidad	PEBD
	Polipropileno	PP
	Poliestireno	PS
	Poliamida, Poliuretano, Poliéster	Otros

1.1.3 MICROPLÁSTICOS (MP's) EN EL AGUA

El ambiente marino tiene su principal fuente de contaminación de MP's, puesto que en la zona costera se acentúan las principales ciudades, los puertos, actividades pesqueras, de transporte vía marítima, así como los vertederos de desechos que son fuentes de contaminación (Tanaka y Takada, 2016; Galloway, 2017). Los MP's que se encuentran en el medio acuático, la mayor parte tiene procedencia de basura antropogénica (Moore, 2008). Los MP's llegan a los océanos del mundo por distintas causas; por las corrientes locales, flotabilidad, la incrustación biológica (GESAMP, 2016).

En el medio marino, estos se distribuyen en la mayoría de los océanos; por ejemplo: en el Océano Pacífico se han registrado aproximadamente 334, 371 partículas por km² (Moore *et al.*, 2001), considerándolo como un parche de basura en el mar. Los MP's se encuentran distribuidos espacialmente en la columna de agua y fondo marino (Woodall *et al.*, 2014). No solamente en zonas tropicales se han registrado MP's también en el Ártico en el agua polar, en el sedimento y en el hielo existen registros de MP's (Obbard, 2018). Algunos estudios determinaron que los MP's se están incrementando permanentemente (Woodall *et al.*, 2014), en el océano Atlántico y en el Mar Mediterráneo los microplásticos rondan entre 70/800 partículas por litro y en el Ártico se han logrado registrar cerca de 350,000 partículas por litro de agua (Bergmann *et al.*, 2017).

1.1.4 MICROPLÁSTICOS (MP's) EN LOS ORGANISMOS MARINOS

Los MP's en la fauna marina es el objetivo principal en este estudio de investigación, dados los efectos y las consecuencias que están causando en la salud de los organismos (Pereiras, 2019). En el medio acuático por su tamaño de los MP's son muy difíciles de eliminar, debido a su tamaño. Actualmente son amplios los estudios con registros de ingesta de MP's en varios organismos a diferente nivel trófico. De acuerdo con Halden (2010), aproximadamente 630 especies marinas tienen contacto directo con los MP's, siendo los principales organismos las tortugas, los mamíferos marinos, las aves e incluso crustáceo y moluscos. También en la ingesta de MP's están involucradas especies de importancia pesquera, comercial y de consumo por el ser humano como los peces. Los organismos de importancia comercial consumidos por el ser humano pueden haber ingerido MP's disponibles en el agua o por bioacumulación al consumir sus presas (Barboza *et al.*, 2018; Alfaro *et al.*, 2021). La ingesta de MP's por peces, puede ocurrir de dos formas la primaria y secundaria; la primaria consiste en que el organismo se alimenta del MP's confundiéndolo con su presa o bien

por accidente, la secundaria es cuando el depredador se alimenta de su presa la cual ya se ha alimentado de algún microplástico (Nelms *et al.*, 2018).

En los organismos como tortugas marinas, mamíferos marinos, peces y ostras, se han encontrado diferentes tipos de MP's, causando daños en las especies tales como: laceraciones, aglutinación e incluso hasta obstrucción en el tracto digestivo (Li *et al.*, 2016); la ingestión de estos MP's trae como consecuencias lesiones en el sistema digestivo, el no poder digerir el microplástico causando obstrucción e incluso poder tener efectos tóxicos dentro del organismo (Barboza *et al.*, 2018; de Sá *et al.*, 2015). Hall *et al.*, (2015) realizaron un experimento en el laboratorio donde comprobaron que los MP's ingeridos por los organismos les causaba saciedad y como consecuencia reducción de su crecimiento. En estudios previos, han detectado MP's (como microfibras, pellets) afectan en los diferentes organismos de la estructura trófica, desde los más pequeños como el zooplancton, bivalvos, peces, aves acuáticas, hasta organismos superiores los vertebrados marinos (Ding *et al.*, 2019).

1.1.5 MICROPLÁSTICOS (MP's) EN LOS PECES

Los peces actualmente en el tema de identificación de MP's son importantes, puesto que al ser un organismo que se encuentran el medio marino puede ingerir MP's esto de manera incidental, dados los amplios estudios realizados en diversas partes del mundo sobre su ingesta (Sequeira *et al.*, 2020; Savoca *et al.*, 2021). De acuerdo con GESAMP (grupo de expertos sobre los aspectos científicos de la protección ambiental marina) (2016), se realizó un registro donde cerca de 89 especies ingirieron microplásticos. El registro de MP's que se obtuvo en la revisión del contenido estomacal del tracto digestivo de los peces se logró la identificación de pequeños plásticos registrados en el medio marino (Alomar y Deudero, 2017), donde los peces los consumen al confundirlos con presas o al ingerir sus presas, las cuales previo ya hayan consumido MP's, bioacumulándolos (Batel *et al.*, 2016). Como muchas especies de peces son depredadores, es probable que consuman partículas de MP's con una apariencia similar a las presas naturales (en algunos casos, esto depende del hábito alimenticio del pez), así que cuando los peces ingieren los MP's éstos se retienen por más tiempo en el estómago y en el intestino (Wright y Kelly, 2017). En la ingestión de MP's los peces pueden tener una variabilidad en la ingesta, esto dependen de las especies en las que se han encontrado presencia de MP's. Con la acumulación de MP's en los océanos y la ingestión de estos por los

peces podría causar un efecto negativo en su sistema digestivo derivando más complicaciones en su desarrollo, dando relevancia el porqué de la importancia de los MP's como una de las fuentes de contaminación más importantes para la salud de los organismos marinos (Bouwmeester *et al.*, 2015; Rochman *et al.*, 2013).

En un estudio realizado por Pozo *et al.*, (2019) evaluaron la presencia de los MP's en el contenido estomacal de peces de importancia comercial de ambientes bentónicos y oceánicos en Chile. Las especies evaluadas fueron: el Jurel chileno (*Trachurus murphyi*) que es una especie carnívora de un nivel trófico alto, también analizaron a la sardina (*Strangomera bentincki*) la cual es una especie planctívora de un nivel trófico bajo y que tiene hábitos de vida costeros- oceánicos, la Merluza (*Merluccius gayi*) este pez, es una especie de hábitat costero, el Róbalo (*Eleginops maclovinus*) especie carnívora de nivel trófico alto, la Jerguilla (*Aplodactylus punctatus*) especie herbívora de nivel trófico bajo. De este estudio, se obtuvieron el número, forma, tamaño, color de los microplásticos, así como la identificación de los tipos de polímeros presentes en las muestras (análisis químico y detección con microscopio FT-IR), adicionalmente el tipo de hábitat y el nivel trófico de los peces. Los MP's presentes en mayor cantidad fueron las microfibras, y en menor cantidad los fragmentos, estas microfibras provienen sobre todo de la ropa hecha de materiales sintéticos, como poliéster, o nailon. El tamaño del MP's variaron entre 0.1 y 2.8 mm, medidas obtenidas de las fibras registradas. El tereftalato de polietileno (PET) fue el más abundante con un 75% en peces oceánicos y un 80% en peces costeros, el polietileno (PE), el segundo polímero, representó el 25% del total de los peces oceánicos (Pozo *et al.*, 2019).

Pattira y Wipavee (2020), analizaron la presencia de MP's en peces en el río Chi en el noreste de Tailandia, los peces fueron colectados en época de lluvias por pescadores locales, utilizando redes de enmalle. Como resultados obtuvieron un total de 107 individuos y ocho especies. La presencia de microplásticos se dio en 78 individuos, siendo el mayor porcentaje en la especie *Puntioplites proctozysron*. Los peces de la zona intermareal presentaron cantidades mayores de MP's considerando que estos tienen hábitos alimenticios herbívoros y carnívoros. En los contenidos estomacales de los peces revisados, el microplástico principal que encontraron fue la que tiene forma de fibra, asociada a las actividades de los pescadores locales, ya que usan las redes de enmalle transparentes o negras para pescar y también las jaulas de fibra en la acuicultura de tilapia del Nilo, que pueden ser la fuente de los MP's que son ingeridos por los peces del Río Chi, además

de las redes, trampas y otros artes de pesca que están hechos de poliamida (PA) y polietileno (PE) (Pattira y Wipavee, 2020).

Munno *et al.*, (2021) realizaron un estudio en el Gran lago y en el lago Ontario, Canadá, donde recolectaron siete especies de peces para el Lago Ontario: *Ameiurus nebulosus*, *Catostomus commersonii*, *Perca lavescens*, *Neogobius melanostomus*, *Notropis atherinoides*, *Luxilus cornutus* y *Notropis hudsonius*; en el mismo estudio se analizó el tracto digestivo para identificar y cuantificar los MP's ingeridos. En los resultados obtuvieron 12442 MP's en 212 individuos en el Lago Ontario y 943 MP's en 50 individuos de una especie y 3094 MP's en 119 individuos de las siete especies del Gran Lago. De las partículas encontradas, la gran mayoría de las microfibras, y los polímeros identificados fueron el polietileno, el tereftalato de polietileno y el polipropileno (Munno *et al.*, 2021).

En el Salvador, el estudio realizado por Barraza *et al.* (2021), analizaron los MP's del agua superficial para determinar la densidad de los MP's que se encontraban suspendidos en las aguas costeras y compararon entre las temporadas de estiaje y lluvias, también hicieron colectas de los peces mediante arrastre con redes tipo manta. Obtuvieron una matriz dividida para época de seca y lluvias, por lo tanto, en los resultados obtuvieron 906 partículas de MP's estos divididos en filamentos de diferentes colores (negro, azul y transparente), otros MP's que tuvieron presencia fueron fragmentos, pero en menor cantidad (Barraza *et al.*, 2021).

En Costa Rica, Astorga-Pérez *et al.*, (2021) mencionan que capturaron 27 peces de 7 especies distintas, entre ellas: *Centropomus viridis*, *Lutjanus colorado*, *Centropomus armatus*, *Caranx caninus*, *Centropomus medius*, *Lutjanus novemfasciatus*, *Elops affinis* e incluso también capturaron 29 crustáceos de la especie *Callinectes arcuatus*. Identificaron un total de 138 partículas microplásticas 90 en 24 peces muestreados y 58 partículas en 22 jaibas. Los peces analizados pertenecen a los carnívoros de alto nivel trófico, y consumen crustáceos en este caso la especie también analizada en este estudio. Concluyeron que es posible que los crustáceos son quienes consumen los microplásticos y posteriormente los peces al consumir a sus presas también ingieren los MP's.

En Ecuador, realizaron un trabajo de investigación en el puerto Pesquero de la Ciudad de Manta; las especies analizadas fueron *Auxis thazard* y *Scomber japonicus*. Durante 7 meses, analizaron 100 organismos: 50 de *Auxis thazard* y 50 de *Scomber japonicus*, donde obtuvieron 25 MP's en

total, sin embargo, también observaron las branquias para identificar MP's, y de los 100 organismos revisados no tuvieron evidencia de MP's. La especie con más presencia de MP's fue *Scomber japonicus*. Identificaron los polímeros presentes, el principal fue LDPE, en segundo lugar, el HDPE (Macías, 2022).

1.1.6 ESTUDIOS SOBRE LOS MICROPLÁSTICOS EN MÉXICO

A nivel nacional, los estudios realizados en México que están relacionados con MP's en cuerpos de agua y organismos se han incrementado durante los últimos años. Un estudio realizado por Ramírez *et al.*, (2019) en Bahía de Todos Los Santos (Baja California Sur), realizados con arrastres tipo manta sobre las aguas superficiales en donde las plantas de tratamiento secundario de aguas residuales son las principales fuentes de MP's. Es importante mencionar que las plantas de aguas vierten sus desechos a la Bahía de Todos los Santos. En los resultados identificaron fragmentos identificados como polipropileno (PP), polietileno (PE) y la combinación de PE-PP (se refiere a un copolímero, es decir la unión de dos monómeros), polietilenopropileno-dieno (PE-PDM) y nailon. Identificaron la presencia de MP's semisintéticos como celofán, encontraron además fibras y cinco diferentes tipos de plásticos: el PP, el tereftalato de polietileno, del PE, PE-PDM y nylon (Ramírez *et al.*, 2019).

Un estudio realizado en el estuario de Tecolutla en Veracruz, evaluaron la presencia de MP's en agua, sedimento y peces comerciales. Algunas especies de peces fueron tomadas como bioindicadoras, por lo que de manera relevante determinaron las especies que contenían mayor cantidad de MP's. La especie que tuvo mayor número de MP's fue *Centropomus pectinatus*, seguido de *Conodon nobilis* y *Ariopsis felis*. También hicieron comparaciones en el número de MP's ingeridos por peces con diferentes dietas y no encontraron una diferencia significativa; en el estudio se evaluó también que MP's se encontraban en el agua, encontrando 452 MP's en 27 litros de agua del estuario de Tecolutla, tomadas durante tres temporadas climáticas (nortes, lluvias y secas). En este estudio se hizo el primer registro de los MP's presentes en contenido estomacal en peces de consumo humano, destacando la microfibra la cual fue más frecuente y colores rojos, negro y azul (Sánchez, 2018).

En el estado de Veracruz, Angulo *et al.*, (2023), realizaron un estudio de identificación de microplásticos en el intestino del bagre acorazado invasivo (*Pterygoplichthys spp.*). Analizaron 21

organismos, y encontraron un total de 147 partículas que se dividieron en dos categorías microfibras y fragmentos.

A nivel regional, en la península de Yucatán, han realizado estudios recientes acerca de MP's en peces; en estos se encuentra : el estudio realizado por Reyes-Bonilla *et al.*, (2019) en tres sitios de estudio en Puerto Morelos; los resultados demostraron que la especie mero bobo (*Epinephelus morio*) seguido de *Carangoides bartholomaei* y *Balistes vetula* presentó mayor presencia de microplásticos en el contenido estomacal y que los MP's tuvieron mayor frecuencia en peces de la familia Balistidae, revisando nueve estómagos en donde el 100% presentaron MP's y se encontraron diferencias significativas de la presencia de MP's entre diferentes niveles los tróficos de los peces.

En 2024 se publicó un trabajo realizado en Puerto Morelos (Rivera-Garibay, 2024); los objetivos principales fueron los siguientes: obtuvieron muestras de peces para identificar y cuantificar los MP's en el contenido intestinal, durante los meses de primavera en 2018 y 2019. También realizaron entrevistas a los pescadores en abril y mayo del 2021 para explorar posibles factores sociales, relacionados con la contaminación microplástica. Colectaron un total de 424 individuos, de las 1069 partículas microplásticas sospechosas que obtuvieron del tracto gastrointestinal, 144 partículas seleccionadas al azar se validaron utilizando (infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) en los Laboratorios de Investigación de Greenpeace, Universidad de Exeter. El espectro infrarrojo se procesó y analizó utilizando un programa especializado (Perkin Elmer Spectrum, 10.5.4.738). Los plásticos se identificaron a través de una comparación automatizada combinada con el juicio de un investigador experto (incluida la inspección manual de los espectros para verificar las ubicaciones absolutas y relativas y las intensidades de los picos) y la Uso de catálogos de espectros comerciales que incluían polímeros, aditivos, solventes y materiales de laboratorio que podían causar contaminación (Rivera-Garibay, 2024); Las diferencias en la cantidad de microplásticos entre los métodos de pesca, el hábitat de distribución y el precio económico del pescado se compararon estadísticamente utilizando una prueba de Kruskal-Wallis con una prueba de Dunn post hoc para determinar diferencias significativas entre muestras. El nivel de significancia se estableció en $p < 0,05$. De las 1069 partículas microplásticas sospechosas aisladas, caracterizaron una submuestra aleatoria de 144 elementos microplásticos según el tipo de polímero utilizando espectroscopia FTIR, dando como resultado la presencia de celulosa modificada como

el material mayoritario en las muestras, representado en gran medida por celofán (49%). Se identificaron polímeros sintéticos en el 37% de las muestras analizadas, pero también poliéster, etilvinilacetato, nailon, poliestireno, polipropileno y poliacrilato (Tabla S1). El resto de las submuestras (14%) fueron descartadas como resultado de una coincidencia no clara en la verificación FTIR.

Los escasos estudios realizados y la necesidad de investigación sobre el tema determinan que la identificación de microplásticos en la región es necesaria para registrar cuáles se encuentran en el medio acuático y de cuáles se están alimentando los peces.

1.1.7 IDENTIFICACIÓN DE POLÍMEROS EN MICROPLÁSTICOS

En cuanto a la identificación de los MP's, existen distintas técnicas de las cuales destacan la microscopía, se pueden utilizar técnicas microscópicas, espectroscopía FTIR, Raman y cromatografía. La identificación visual a través de la microscopía es una manera de visualizar MP's para obtener un conteo de manera manual, sin embargo, tiene sus limitaciones puesto que la identificación podría resultar errónea (Loder *et al.*, 2015; Lenz *et al.*, 2015). El uso de la espectroscopía ha sido una de las técnicas más precisas para lograr identificar de que están conformados los MP's a través de su composición química. La espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier tiene un mecanismo que tiene como principal objetivo identificar los polímeros de los materiales, en este caso de los microplásticos. Así como, la espectroscopía de Raman son de las principales que se aplican (Mintenig *et al.*, 2019; Pivokonsky *et al.*, 2018) para la identificación de polímeros.

1.1.8 DESCRIPCIÓN DE ESPECIE DE PECES OBJETIVO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS (MP's)

A continuación, se presentan las especies de peces que fueron seleccionadas para este trabajo. Dos de ellas, *Lachonolaimus maximus* y *Lutjanus analis* son de importancia comercial, por lo que es de gran interés obtener información acerca de su ingestión de microplásticos, así mismo la Barracuda la ser una especie depredadora, que se alimenta de otros peces.

Barracuda (*Sphyraena barracuda*)

La barracuda (figura 1) también conocida como “Barracuda gigante” presenta un cuerpo alargado, su cabeza es aplanada y tiene una mandíbula inferior sobresaliente que tiene unos dientes de forma puntiaguda (caniniformes) y un premaxilar grande. Presenta un color plateado con unas barras con forma de punta de lanza; la aleta caudal es grande y bifurcada, la aleta anal presenta cinco espinas, y una espina en la dorsal (Nelson, 2007; Robertson y Allen, 2008). La zona de origen de la especie es Trinidad y Tobago, pero su distribución abarca desde las regiones subtropicales de los océanos Atlántico, Pacífico e Índico, el mar Caribe y el Mar Rojo. Las barracudas se encuentran en zonas de arrecife y en aguas salobres, los juveniles habitan las zonas de arrecifes, de manglares, estuarios y también en pastos marinos, mientras que los adultos suelen encontrarse en el mar abierto, bahías, lagunas, arrecifes en la superficie del mar abierto. En cuanto a su alimentación, tiene un hábito alimenticio carnívoro, sin embargo, también son carroñeras e incluso depredadores oportunistas. Siendo depredadoras se alimentan principalmente de pulpos, crustáceos, pargos, atunes pequeños, camarones, calamares, jureles, roncós, meros, lisas, arenques, anchoas y aguja. Capturan a sus presas de manera rápida, y son atraídas por presas de color plateado (UWI, s/a).



Figura 1. Ejemplar adulto de Barracuda (*Sphyraena barracuda*).

Boquinete (*Lachnolaimus maximus*)

Esta especie de importancia comercial es conocida comúnmente como boquinete (figura 2). Se caracteriza por su coloración distintiva, que le ayuda de forma defensiva para evitar a sus depredadores (Claro *et al.*, 1989). Su dieta es carnívora, alimentándose de moluscos, gasterópodos y bivalvos, aunque también consume erizos de mar y cangrejos. El boquinete al ser de importancia comercial, es capturado por medio de anzuelo, línea y lanza. Tiene una distribución desde Bermudas parte de Carolina del Norte e incluso hasta la costa norte de América del Sur por lo que también se encuentra en el Golfo de México. El boquinete habita zonas de aguas pocas profundas, donde los fondos son duros y en áreas de parches de arrecifes (Randall, 1996).



Figura 2. Ejemplar adulto de Boquinete (*Lachnolaimus maximus*).

Pargo criollo (*Lutjanus analis*)

Esta especie es conocida comúnmente como pargo criollo (figura 3), se distribuye en aguas tropicales y subtropicales, desde la costa Atlántica, parte del Golfo Maine hasta el Golfo de México. Los juveniles suelen encontrarse en zonas arenosas con pastos marinos incluso en manglares, mientras los adultos se localizan entre los corales y zonas rocosas. Esta especie es activa tanto de día como de noche, y su dieta varía según la etapa de desarrollo. En la fase larval se alimenta de plancton. Durante la fase juvenil se comienza a alimentar de pastos marinos, plancton y de algunos invertebrados de menor tamaño, y en la fase adulta su alimentación se centra en crustáceos, peces pequeños, así como camarones y cefalópodos (Munro, 1983; Messías *et al.*, 2019).



Figura 3. Ejemplar adulto de Pargo criollo (*Lutjanus analis*).

JUSTIFICACIÓN

Los microplásticos se han vuelto un gran problema a nivel mundial, siendo de los principales contaminantes en el medio ambiente por ser muy persistentes y difícil de retirar del medio. La realización de un estudio sobre la presencia de los microplásticos en la zona norte de Quintana Roo permitirá ampliar el conocimiento sobre este contaminante emergente en el agua marina y peces locales, contribuyendo al conocimiento del alcance de la contaminación por microplásticos en la región.

HIPÓTESIS

Existe contaminación por microplásticos en las tres especies de peces y en el agua de marina de la zona norte de Quintana Roo, durante las temporadas de lluvias y secas. Las especies comerciales (boquinete y pargo) presentaran mayor presencia de MP's y la barracuda una menor cantidad de MP's.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar y evaluar la contaminación por la presencia de microplásticos en el agua y en tres especies de peces (Barracuda: *Sphyraena barracuda*, Boquinete: *Lachnolaimus maximus* y Pargo: *Lutjanus analis*) especies con diferentes hábitos alimenticios en Puerto Juárez, Quintana Roo, México.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Cuantificar los microplásticos presentes en el agua superficial y en el tracto digestivo de tres especies de peces que habitan en la costa de Puerto Juárez, Quintana Roo.
2. Caracterizar los microplásticos presentes en el agua y en los peces, por tamaño, color, y forma.
3. Identificar los microplásticos para determinar qué tipos de polímeros están presentes en agua y en los peces de Puerto Juárez, Quintana Roo.
4. Analizar la relación entre los hábitos alimenticios de las especies de peces estudiadas y la tasa de ingesta de microplásticos en los mismos

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDIO

La zona norte del Estado de Quintana Roo, México, se conforma por los municipios de Benito Juárez, Isla Mujeres, Cozumel y la costa del municipio de Solidaridad, que abarca cerca de 3,238 km²; esta zona tiene una estrecha relación con las actividades económicas turísticas (corredor turístico Cancún/Tulum), y de acuerdo con las estadísticas durante el año 2022 el arribo de número de turistas fue de 489,732 con información obtenida del portal de estadísticas APIQROO.

El denominado Caribe mexicano se ubica en las costas del estado de Quintana Roo en donde se sitúa la segunda barrera de coral más grande a nivel mundial, la cual cuenta con una alta biodiversidad, incluyendo una alta diversidad de peces (Carrquiriborde-Harispe, 1994). El clima en la península de Yucatán es cálido- húmedo y presenta tres temporadas climáticas: la temporada de secas, que abarca desde marzo a mayo; lluvias, desde junio hasta octubre y; finalmente, los nortes que van de noviembre a febrero (Herrera- Silveira, 1994). El clima del municipio de Benito Juárez es cálido-subhúmedo, presentando lluvias en verano con humedad del 61.31%, el rango de temperatura ronda entre los 24-28°C y precipitaciones de 0-1300mm (INEGI).

Se seleccionó una zona de estudio en Puerto Juárez (figura 4), que se encuentra dentro del polígono de una Área Natural Protegida (ANP) y en una de las zonas de mayor actividad turística en la región. La zona se ubica en el municipio de Benito Juárez en las coordenadas geográficas 21°09''N y 86°50''O (SEMAR, s/a). Benito Juárez cuenta con una población de 911 503 mil personas en el municipio. El sitio seleccionado tiene las siguientes características: la presencia de cooperativas pesqueras organizadas, así como desarrollos urbanos y turísticos, factores que pueden influir fuertemente para la presencia de MP's en los ecosistemas acuáticos costeros.

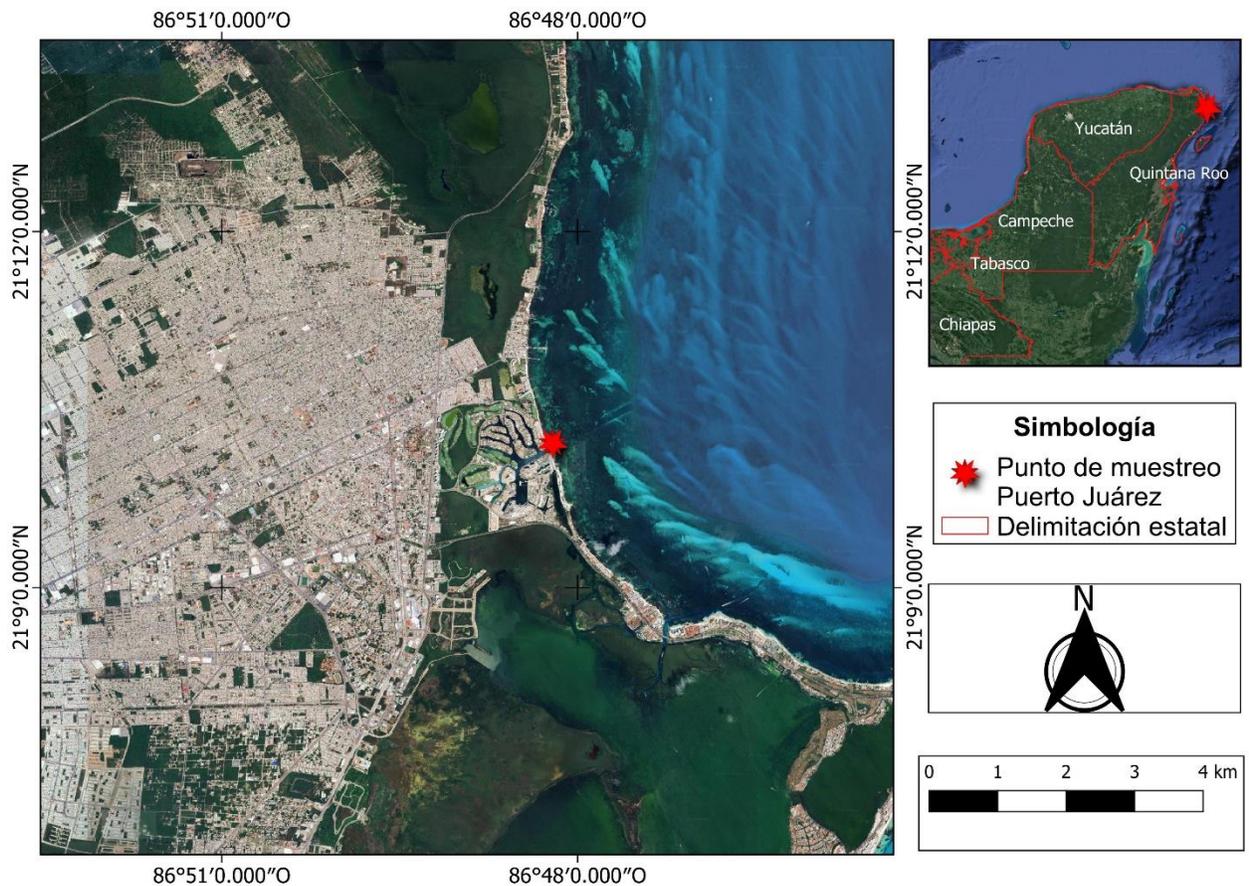


Figura 4. Zona y sitio de estudio en Puerto Juárez (zona norte de Quintana Roo).

Por: Hernández, E, 2023.

2.2 TRABAJO DE CAMPO

Se realizó una visita prospectiva a la cooperativa de Puerto Juárez, a principios de octubre del 2022, con el fin de establecer contacto con los pescadores y la posibilidad de obtener ejemplares de peces completos.

Las muestras de peces fueron obtenidas de Puerto Juárez, en donde también se obtuvieron las muestras de agua. Las muestras de peces y agua se obtuvieron durante las temporadas climáticas de secas (marzo-mayo) y lluvias (junio-septiembre) del año 2023.

2.2.1 Método de blanco para las muestras de agua

En cada colecta de muestras de agua, se utilizaron dos frascos de vidrio llenos de agua Mili-Q (filtrada previamente dos veces). Estas se abrieron al momento de coleccionar las muestras de agua, para verificar la contaminación externa mientras se realizaban las colectas de muestras de agua.

2.2.2 Colecta de muestras de agua

Para la colecta de muestras de agua de mar, se tomaron seis muestras de agua en la zona superficial del mar (en la orilla de la playa, a 10 metros) por temporada (secas y lluvias). La toma de muestras fue de manera manual con la ayuda de una botella de cristal de 400 ml, previamente etiquetada (dichas botellas ya estaban enjuagadas con agua Mili-Q filtrada), la cual se sumergió dentro del agua y se procedió a cerrarla bajo el agua, para evitar contaminación externa y se almacenó en un contenedor con hielo (4°C) hasta ser transportada al laboratorio de la Unidad de Ciencias del Agua. Los datos tomados en campo se registraron en la bitácora de campo (sitio, fecha, número de muestras).

2.2.3 Colecta de peces

Para la colecta de peces se acudió durante los meses de enero-febrero-marzo (época de secas) y junio, julio, agosto (época de lluvias) a las cooperativas de Puerto Juárez. Se obtuvieron los individuos por medio de las cooperativas. Los peces fueron transportados en un contenedor de hielo (4°C) el laboratorio de la Unidad de Ciencias del Agua.

2.2.4 TRABAJO DE LABORATORIO

Todo el proceso que conlleva el análisis de MP's se llevó a cabo en un área limpia y reservada dentro del laboratorio, el área fue únicamente para el análisis de MP's. Durante todo el procedimiento se utilizaron batas de laboratorio de algodón y guantes desechables de látex. Todo instrumento que se usó fue previamente esterilizado con alcohol al 70% y enjuagadas con agua Mili-Q (filtrada dos veces) (figura 5). Las soluciones que se usaron en cada procedimiento pasaron por doble filtración a través de un sistema de bomba de vacío.



Figura 5. Filtración de muestras de agua Mili-Q en el sistema de cristal con filtros de celulosa.

2.2.4.1 Análisis de Muestras de agua

En el área de trabajo de laboratorio donde se llevó a cabo la digestión de las muestras de agua colectadas, y los procesos de la filtración e identificación visual de lo MP's, se usó un método de blanco (contaminación externa). Este consistió en colocar una caja de Petri abierta (figura 6) la cual contenía un filtro de celulosa (de 0.45 μ m humedecido con agua Mili- Q (previamente filtrada). Se usó un filtro por cada revisión visual de los filtros (por muestra de agua). El objetivo de usar el método de blanco es medir la contaminación que pueda presentarse en el aire y en el área donde esté realizando la identificación de MP's (Adomat *et al.*, 2020).

A cada muestra de agua se le añadió el 10% (40ml) de peróxido considerando el volumen que contenía cada frasco (400ml) y se dejaron reposar por 24 horas en la campana de flujo laminar, esto con el fin de obtener los MP's y la materia orgánica que tenga se degrade, luego de haber cumplido las 24 horas, se realizó la filtración con la bomba de filtro al vacío, se colocó un filtro de 0.45 μ m de diámetro de poro y cada filtro fue conservado por separado en viales de cristal (Cabrera, 2018; Masura *et al.*, 2015). Posteriormente se realizó la identificación de los MP's de acuerdo con Free *et al.*, 2014. Los MP's identificados fueron colocados en filtros y guardados.

2.2.4.2 Métodos de blancos en la identificación de microplásticos (MP's) en peces

En el área de trabajo de laboratorio donde se llevó a cabo el proceso de extracción de estómago de peces, se usó un método de blancos (contaminación externa). Este consistió en colocar una caja de Petri abierta (figura 6) la cual contenía un filtro (de 0.45 mm) humectado con agua Mili- Q (previamente filtrada). Se usó un filtro mientras se realizó la extracción y la primera revisión de contenido estomacal de peces y otro filtro en la segunda revisión después de la digestión. El objetivo de usar el método de blancos es medir la contaminación que pudo presentarse en el aire y en el área del laboratorio donde estuvo realizando la identificación de MP's (Adomat *et al.*, 2020).



Figura 6. Método de blancos.

2.2.5 Análisis de las muestras de peces

Para la muestra de contenido estomacal, el tracto digestivo de cada uno de los peces se extrajo en el laboratorio. Primero, se midió la longitud total (LT) (figura 7), y se pesaron los especímenes en una balanza analítica (figura 8) para obtener el peso total, realizando una base de datos. A cada organismo se le extrajo el tracto digestivo con una disección en la cavidad visceral, realizando dos cortes en la zona ventral del organismo desde el ano hasta el origen de la aleta pectoral derecha (cerca del opérculo) y repitiendo el proceso hacia la aleta pectoral izquierda. Una vez obtenido el tracto digestivo, se colocó en una caja Petri y se pesó con ayuda de la balanza analítica.



Figura 7. Medición de la longitud total del organismo.



Figura 8. Registro del peso en gramos del organismo.

Para la preservación de los tractos digestivos, éstos se conservaron en frascos de vidrio etiquetados y se almacenaron dentro de un refrigerador a 4°C.

La primera revisión de los tractos digestivos consistió en observar el contenido estomacal con un microscopio estereoscópico (40 x para poder visualizar la partícula) (Bessa, 2018) (figura 9).

Posteriormente se colocó el estómago en una caja Petri de cristal con ayuda de pinzas de disección de metal para ir removiendo la materia orgánica y poder identificar y lograr clasificar los MP's usando las clasificaciones propuestas por Free *et al.*, (2014) (Tabla 1). El contenido estomacal se fue separando poco a poco retirando los ítems alimenticios para poder obtener los MP's visibles como microfibras, estas se retiraron con ayuda de las pinzas. Cada tipo de microplástico identificado se transfirió a un filtro húmedo (con agua Mili-Q filtrada) y guardado en un vial de cristal, con etiqueta indicando sitio, fecha, microplástico identificado y especie de pez y se tomaron fotografías de cada proceso para tener evidencias de los MP's identificados.



Figura 9. Primera revisión visual de contenido estomacal.

2.2.6 Digestión con Cloro (Cl₂)

El segundo paso es la digestión de la materia orgánica, que consistió en colocar el contenido estomacal en frascos de cristal de 250 ml, y se le añadió entre 50 ml o 100 ml de cloro (5%) el cual fue previamente filtrado dos veces, la cantidad de hipoclorito fue basado en el peso de cada contenido estomacal (menor a 20 g- 50ml, mayor a 30 g-100 ml); entonces una vez añadida la solución éstos fueron tapados y se dejaron reposar por siete días (Bessa, 2018) a temperatura ambiente dentro de la campana de flujo laminar. Después de los siete días de digestión, se realizó la filtración de cada frasco con ayuda del sistema de filtración al vacío (de cristal) en la cual se le colocó un filtro de 0.45um de diámetro, para poder recuperar los MP's que no se lograron ver en la primera visualización. Después de la filtración, se retiró el filtro y se procedió a realizar la

segunda visualización (figura 10) con el microscopio estereoscópico para la identificación de MP's. Los MP's identificados fueron colocados en filtros y guardados en viales de cristal.

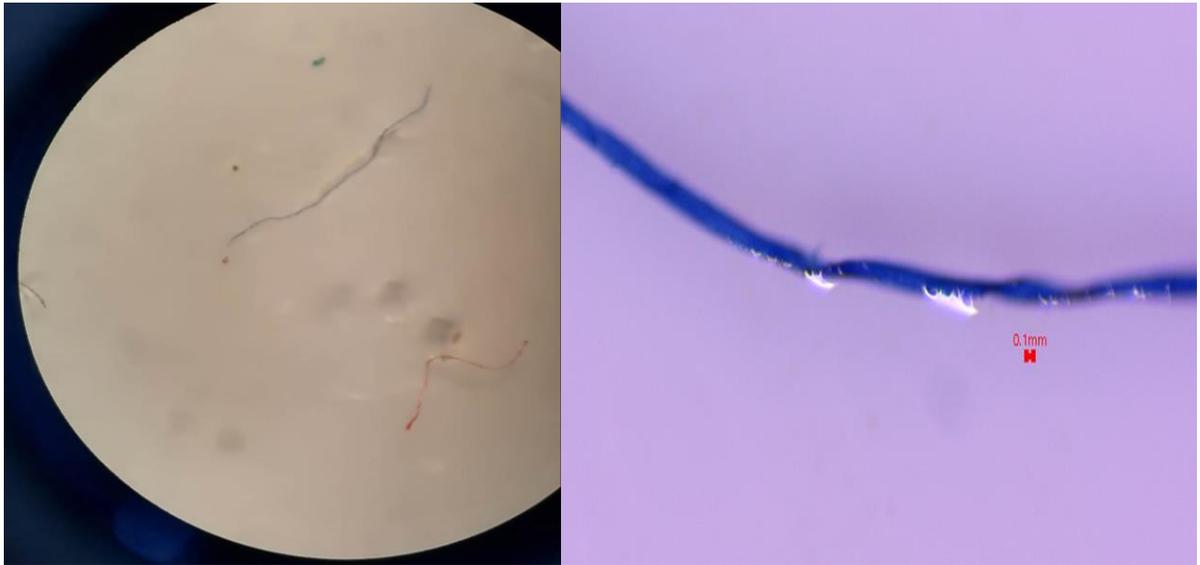


Figura 10. Fibras obtenidas de la segunda visualización, posterior a la digestión del estómago con cloro.

Tabla 2. Clasificación de MP's de acuerdo con la morfología propuesta por Free *et al*, 2014.

Tipo de microplástico	Definición	Origen Potencial
Fragmento	Duro, irregular, plástico, partícula	Botellas; plásticos duros y resistentes
Fibra	Plástica delgada o fibrosa, recta	Sedal/redes de pesca; ropa o textiles
Pellet	Plástica dura y redondeada	Pellets de resina virgen; facial limpiadores
Película	Plano delgado de plástico endeble	Bolsas de plástico, envoltorios o chapas
Foami	Ligero, similar a una esponja. el plástico	Flotadores de espuma, espuma de poliestireno, amortiguación

Medición de partículas

Se realizó la medición de las partículas con el software TopView, donde se midieron algunas muestras de microfibras que se encontraron en peces de las temporadas (secas y lluvias) (figura 11 y 12)., de igual manera se tomó las medidas de los MP's de las muestras del agua de mar de las mismas temporadas climáticas (figura 13).



Figura 11. Fotografías de las medidas de los MP's (muestras barracuda) capturadas con TopView.

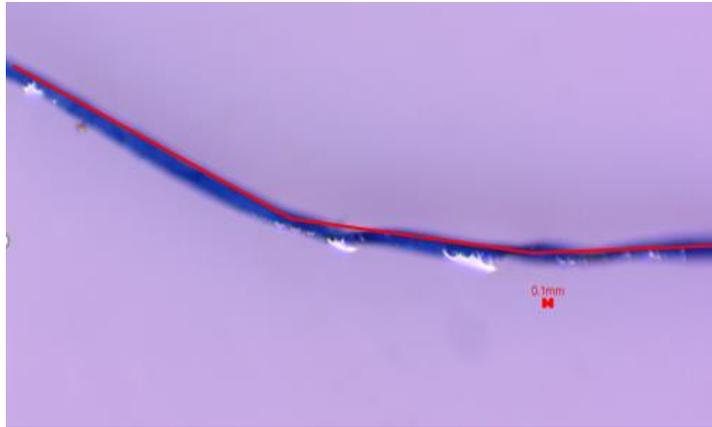


Figura 12. Fotografía de las medidas de los MP's (muestra boquinete) capturada con TopView.



Figura 13. Fotografía de las medidas de los MP's (muestra agua/temporada seca) capturada con TopView.



Figura 14. Fotografía de las medidas de los MP's (muestra agua/ temporada lluvia) capturada con TopView.

2.2.7 IDENTIFICACIÓN DE POLÍMEROS

Se utilizó espectroscopia FTIR (figura 15) con el fin de obtener la composición polimérica de las piezas encontradas (muestras de agua y muestra de peces). Con el FTIR se obtiene los espectros infrarrojos en forma de emisión o absorción, de esta manera se obtendrán los datos espectrales de alta resolución; es de las técnicas con la cual se determina la estructura de las moléculas e incluso este método es de los más usados para identificar los compuestos de los MP's en muestras de sedimento y agua (Stuart, 2004). Otra forma de obtener estos compuestos es la combinación entre microscopía óptica y el FTIR para identificar que polímeros que componen los MP's. Hanvey *et al.*, (2016) menciona que es un método viable para el polímero que se encuentre en las muestras no sea afectado o deteriorado, además de que no es invasiva, y analiza las muestras sin dañarlas. Este dispositivo tiene un principio basado en que el movimiento que tiene el interferómetro presenta un cambio en la diferencia de la trayectoria entre los haces que tienen de interferencia (Saint Petersburg State University, 2012). La espectroscopía Raman es una técnica en la cual la luz que se capta se esparce a través de un medio y esta luz trae con ella información de forma molecular en donde se obtiene un espectro único para cada partícula o material. Además, es una de la manera de no invadir las muestras (Sylvestre *et al.*, 2014). La identificación de polímeros se llevó a cabo a través de los valores y las gráficas generadas en este caso con el software Origin, puesto que el equipo que se usó contiene su propio software llamado "Omic" Por lo tanto, cada polímero se fue identificando por la cantidad de luz que se absorbe y con un intervalo de número de onda de 4000 a 650 cm^{-1} (Stuart, 2004).



Figura 15. Equipo de espectrofotometría FTIR (Nicolet 8700) utilizado para la identificación de polímeros.

Se realizaron la toma micrografías a la muestra de los microplásticos con un microscopio de barrido (SEM, modelo JSM 6360LV, marca JEOL). Primero se colocaron las muestras de los microplásticos en unos pequeños contenedores (figura 16) para fijarlos, estos fueron tapadas para fijarlos con un baño de oro, posteriormente fueron puestas en el microscopio de barrido para obtener las micrografías.

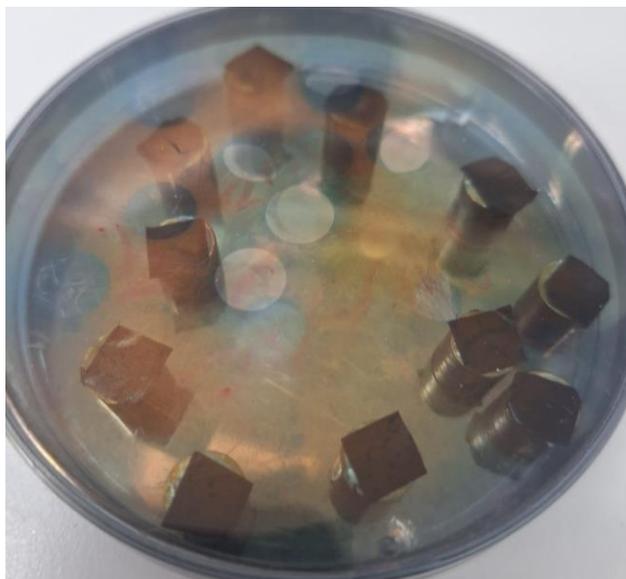


Figura 16. Muestras de MP's con baño de oro para obtener las micrografías.

2.2.8 ANÁLISIS DE DATOS

Se realizó un análisis de t- Student, (R 4.4.0) el cual se aplicó para verificar si hay diferencias entre talla-temporada, peso- temporada y peso de estómago- temporada climáticas de los peces. Durante la temporada de secas (marzo-mayo) la precipitación fue de 47.0 -109.1 mm, temperatura media 33° y en temporadas de lluvias hubo una precipitación de 97.7 - 103.3 mm, con una temperatura de 34.2° (CONAGUA, 2024).

El PERMANOVA se aplicó para comprobar si hubo similitudes o diferencias entre el número de MP's encontrados y las temporadas. También se aplicó un ANOVA para determinar las relaciones significativas entre la frecuencia de elementos MP entre los sitios y entre la especie (Wooton *et al.*, 2021; Munno *et al.*, 2021). Se comparó la concentración de microplásticos en peces entre especies y temporadas climáticas mediante un análisis ANOVA, se aplicó ANOVA para evaluar las diferencias en la abundancia de MP entre especies de peces (Wei *et al.*, 2022).

Se realizó una regresión lineal para la relación de las dos variables, así como determinar si los factores influyen sobre la relación que hay entre estas dos variables. En este caso fue para la relación entre la abundancia de microplásticos- talla, relación entre la abundancia de microplásticos- peso y relación entre la abundancia de microplásticos y el peso del estómago.

También se aplicaron Modelos Lineales Generalizados (GLM), esto con el fin de analizar la asociación entre la abundancia de MP's y los variables (talla, peso total, peso del estómago de cada especie). Es decir, es una correlación para ver si hay una relación- relación entre dos variables.

Finalmente se realizó con el FTIR la obtención de los espectros de las muestras de partículas microplásticas, con el fin de obtener la identificación de los polímeros que lo conforman de acuerdo a las bandas que presentaron.

CAPÍTULO 3

3.1 RESULTADOS

3.1.1 NÚMERO TOTAL DE MP'S REGISTRADOS EN MUESTRAS DE AGUA

Muestras de agua por temporadas

En las muestras de agua se registraron un total de 190 partículas microplásticas, esto de manera conjunta durante la temporada de secas y lluvias.

Temporada de secas

Para identificar la presencia de microplásticos en el agua marina, se colectaron seis muestras de agua el mismo día que se obtenían los peces y dos métodos de blanco. Después de la digestión con peróxido por 24 horas se realizó la revisión de los filtros para obtener los microplásticos. En cada muestra se obtuvo un registro de 1 a 16 partículas por muestra y se obtuvo un total de 105 partículas microplásticas en las seis muestras analizadas. De las cuales las microfibras transparentes fueron las que tuvieron mayor frecuencia, seguidas de las microfibras azules, negras y rojas.

Temporada de lluvias

Las muestras obtenidas también fueron pasadas por el proceso de digestión con peróxido por 24 horas. Se obtuvieron un total de 85 partículas microplásticas, en cada muestra hubo un registro entre 1-23 partículas. De las cuales, las microfibras transparentes son las de mayor frecuencia con 90%, y en menor porcentaje las microfibras negras, azules y verdes (tabla 3).

Tabla 3. Registro de MP'S en temporada de secas.

Muestra/ 400 ml	MP's encontrados	Microfibra transparente	Microfibra negra	Microfibra azul	Microfibra roja	fragmento azul
Muestra 1 secas	Microfibra azul, transparente fragmento azul	12	0	1	0	0
Muestra 2 secas	Microfibra negra, azul y transparente	15	1	2	0	0
Muestra 3 secas	Microfibra transparente	11	0	0	0	0
Muestra 4 secas	Microfibra negra microfibra transparente	18	1	0	0	0
Muestra 5 secas	Microfibra negra, microfibra azul, microfibra roja, microfibra transparente y fragmento azul	15	3	1	1	1
Muestra 6 secas	Microfibra negra microfibra transparente	16	3	0	0	0
Promedio		14.5	1.33333333	0.66666667	0.16666667	0.16666667

Tabla 4. Registro de MP'S en temporada de lluvias.

Muestra/ 400 ml	MP's encontrados	Microfibra transparente	Microfibra negra	Microfibra azul	Microfibra roja	fragmento azul
Muestra L1 lluvias	Microfibra negra Microfibra	15	2	2	1	0

	transparente, microfibra verde, microfibra azul					
Muestra L2 lluvias	Microfibras transparentes	12	0	0	0	0
Muestra L3 lluvias	Microfibras transparentes	13	0	0	0	0
Muestra L4 lluvias	Microfibra azul, Microfibra transparente	11	0	1	0	0
Muestra L5 lluvias	Microfibra azul, Microfibra transparente	14	0	1	0	0
Muestra 6 lluvias	Microfibra transparente, Microfibra azul	11	0	2	0	0
Promedio		12.6666667	0.33333333	1	0.16666667	0

3.1.2 REGISTRO DE MP'S EN PECES

Se obtuvieron un total de 63 individuos de las tres especies en estudio: barracuda, boquinete y pargo, para las dos temporadas (secas y lluvias). En la tabla 5, se presentan el número de individuos que se obtuvieron por secas y lluvias durante el estudio.

Tabla 5. Número total, de organismos obtenidos por especie en las dos por temporadas (secas y lluvias).

Especie	Secas	Lluvias
Barracudas (<i>Sphyraena barracuda</i>)	12	10
Boquinetes (<i>Lachnolaimus maximus</i>)	11	10
Pargos (<i>Lutjanus analis</i>)	10	10
Total	33	30

De los 63 peces analizados únicamente se registraron partículas de plástico en 16 organismos y en ellos, se identificaron 55 partículas de microplásticos. En la tabla 6, se presenta el total de MP's registrados en las tres especies durante la temporada de secas, se obtuvo un total de 39 partículas microplásticas y en la tabla 7 se presenta el total de MP's encontrada en temporada de lluvias. En la tabla 8 y 9 se presenta el desglose de cuantos individuos presentaron MP's en su contenido estomacal, dividido por temporada climáticas. Finalmente, en la tabla 9 se presenta el total de microplásticos registrados en el contenido estomacal de las tres especies durante ambas temporadas de lluvias y secas.

Tabla 6. Registro total de microplásticos por especie encontrados en la temporada de secas.

Familia	Especie	No. de organismo por especie	No. de microplásticos por especie
Sphyraenidae	Barracuda (<i>Sphyraena barracuda</i>)	12	30
Labridae	Boquinete (<i>Lachnolaimus maximus</i>)	11	5
Lutjanidae	Pargo (<i>Lutjanus analis</i>)	10	4
			Total= 39

Tabla 7. Registro total de microplásticos por especie encontrados en la temporada de lluvias

Familia	Especie	No. de organismo por especie	No. de microplásticos por especie
Sphyraenidae	<i>Sphyraena barracuda</i>	10	12
Labridae	<i>Lachnolaimus maximus</i>	10	3
Lutjanidae	<i>Lutjanus analis</i>	10	1
			Total=16

Tabla 8. Total, de individuos por especie con presencia de MP's (secas)

Secas	No. total de individuos	No. total de individuos con MP's
Barracuda	12	8
Boquinete	11	1
Pargo	10	3

Tabla 9. Total, de individuos por especie con presencia de MP's (lluvias)

Lluvias	No. total de individuos	No. total de individuos con MP's
Barracuda	10	7
Boquinete	10	2
Pargo	10	2

Tabla 10. Total, de microplásticos encontrados en las tres especies de peces en ambas temporadas (lluvias y secas).

Familia	Especie	No. de organismo	No. de microplástico por especie
Sphyraenidae	<i>Sphyraena barracuda</i>	33	42
Labridae	<i>Lachnolaimus maximus</i>	21	8
Lutjanidae	<i>Lutjanus analis</i>	20	5
			Total=55

La barracuda presentó la mayor cantidad de individuos (debido a la disponibilidad de organismos) y de MP's se analizaron más individuos de esta especie porque se tuvo la oportunidad de capturar algunos de más, en comparación del boquinete y el pargo. El boquinete y el pargo tuvieron un menor registro de MP's. En cuanto a los colores la mayor parte de las microfibras fueron de color negro (40%), seguido de las azules (38%), rojas (9%), transparentes (6%) y fragmentos azules (5%) y por último las verdes (2%). En cuanto a la forma de las partículas, 94.55% fueron las microfibras y en 5.45% fragmento, principalmente de color azul (figura 17).

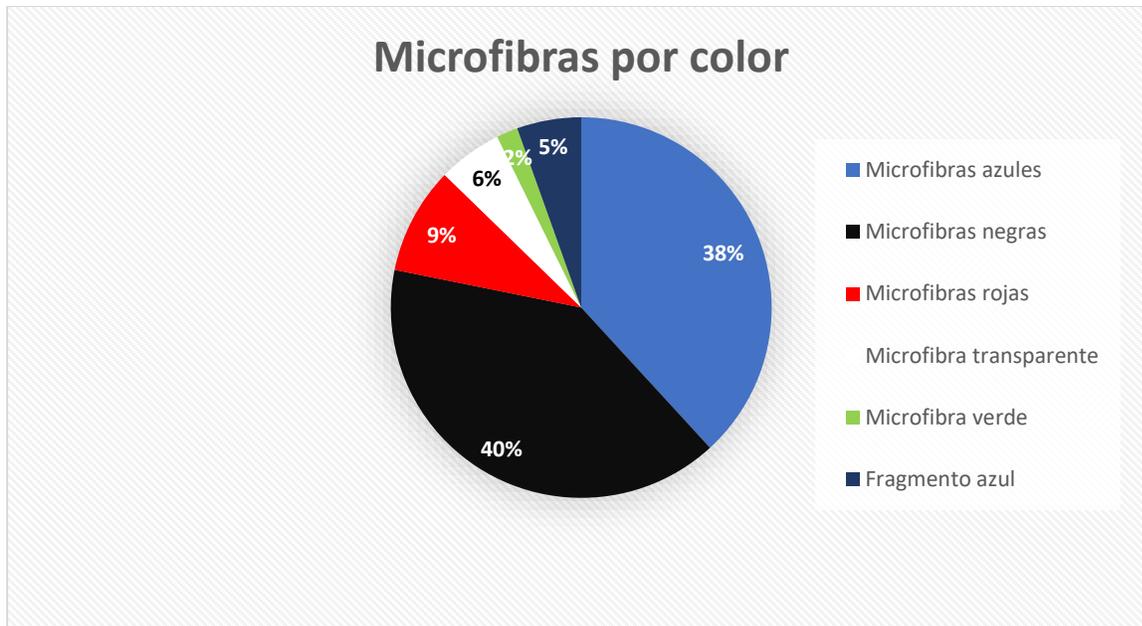


Figura 17. Porcentaje de microplásticos por color conjuntando ambas temporadas.

En la tabla 11 se presentan los datos generales. Para la temporada de secas, se obtuvieron 12 individuos de la especie barracuda, obtenidas de la cooperativa de Puerto Juárez, los 12 estómagos analizados; 7 se encontraban vacíos (sin materia orgánica) y 5 llenos. 11 tuvieron presencia de MP's en su contenido estomacal y los MP's identificados fueron microfibras de color azul, negra, transparente y roja.

Para la temporada de lluvias, se obtuvieron 10 individuos de barracuda; de los estómagos analizados 5 tuvieron presencia de MP's en su contenido estomacal y los MP's identificados fueron microfibras de color azul y negra.

Tabla 11. Registro de datos obtenidos de la especie Barracuda.

# No. de organismo	Peso (gr)	LT (Cm)	Peso estómago	Fibras	Fragmentos
Secas					
Barracuda 1	471.9	43	8.4	5	0
Barracuda 2	233.6	34	10.3	12	0
Barracuda 3	1029.9	55	35.5	2	1
Barracuda 4	826.6	49	42.6	0	1
Barracuda 5	1060.9	60	31.9	0	0
Barracuda 6	321.8	37	7.1	0	0
Barracuda 7	555.3	47	11.1	3	0
Barracuda 8	1060.8	57.5	11.4	0	0
Barracuda 9	566.6	45.9	24.5	3	0
Barracuda 10	428.5	41.5	9.6	2	0
Barracuda 11	257.8	34.5	9.6	0	0
Barracuda 12	180.8	31.4	3.8	1	0
Lluvias					
Barracuda 1	461.9	42	8	2	0
Barracuda 2	812.9	50	25.9	2	0
Barracuda 3	620.7	45.1	4.6	1	0
Barracuda 4	610.5	45.5	6.5	1	0
Barracuda 5	610.5	45.5	6.5	1	0
Barracuda 6	511.5	43.2	4.8	1	0
Barracuda 7	542	43.1	7.7	0	0
Barracuda 8	880.1	51.2	34.4	4	0
Barracuda 9	736.6	58	17.2	0	0
Barracuda 10	308.7	35.1	28.1	0	0
Barracuda 11	437.4	38.2	25.2	2	0

Tabla 12. Microplásticos identificados en el contenido estomacal de la especie *Sphyraena barracuda* colectados en Puerto Juárez.

Especie	Microplástico identificado
Barracuda 1	Microfibra azul, roja, negra
Barracuda 2	Microfibra azul, negra, transparente, roja
Barracuda 3	Fragmento azul
Barracuda 4	Microfibra negra y fragmento azul
Barracuda 5	Sin evidencia de MP's
Barracuda 6	Sin evidencias de MP's
Barracuda 7	Microfibra negra, azul
Barracuda 8	Sin evidencias de MP's
Barracuda 9	Microfibra negra, azul
Barracuda 10	Microfibra negra y verde
Barracuda 11	Sin evidencias de MP's
Barracuda 12	Microfibra negra
Lluvias	
Barracuda 1	Microfibra azul/ negra
Barracuda 2	Microfibra azul/ negra
Barracuda 3	Microfibra negra
Barracuda 4	Sin evidencias de MP's
Barracuda 5	Microfibra negra
Barracuda 6	Sin evidencias de MP's
Barracuda 7	Microfibra azul/ negra
Barracuda 8	Sin evidencias de MP's
Barracuda 9	Microfibra negra
Barracuda 10	Sin evidencias de MP's

MFA- Microfibra azul MFR- Microfibra roja

En la primera revisión de los pargos (*Lutjanus analis*) para la temporada de secas se obtuvieron 10 individuos en Puerto Juárez (Tabla 13), la primera revisión de contenido estomacal donde no se registró la presencia de MP's, sin embargo, en la segunda revisión después de la digestión, se lograron identificar microfibras de color azul, negra y roja en tres de las diez muestras de contenido estomacal ya digeridas (Tabla 14). Con el método de blancos no se identificó contaminación externa durante la revisión de las muestras.

Para la temporada de lluvias se obtuvieron 10 individuos, y se realizó el mismo método de revisión y digestión. El microplástico con más frecuencia fue la microfibra y de color azul (tabla 14), en el caso de método de blancos únicamente hubo presencia de microfibras transparentes.

Tabla 13. Datos registrados de los pargos.

No. organismo	Peso (gr)	LT (Cm)	Peso estomago	Fibras	Fragmentos
Secas					
Pargo 1	415.6	30.2	17.2	0	0
Pargo 2	485	32.5	20.4	1	0
Pargo 3	419.3	30	17.8	1	0
Pargo 4	452.7	30.2	11.8	0	0
Pargo 5	490.4	32.2	25.9	0	0
Pargo 6	539.8	34.6	30.2	0	0
Pargo 7	417.2	30.5	25.3	2	0
Pargo 8	394.1	30.1	25.1	0	0
Pargo 9	498.5	33.1	15.6	0	0
Pargo 10	512.5	33.5	14.4	0	0
Lluvias					
Pargo 1	333.7	27.8	12.8	0	0
Pargo 2	1308.9	42.5	33.3	0	0
Pargo 3	677	36	34.4	0	0
Pargo 4	1360.1	44	43.8	1	0
Pargo 5	715.8	36.2	28.2	0	0
Pargo 6	724.4	36.5	26.6	0	0
Pargo 7	1198.5	42.3	47.3	0	0
Pargo 8	765.8	35.5	23.3	0	0
Pargo 9	1477.4	44.5	58.4	0	0
Pargo 10	1274.5	41.5	36.9	1	0

Tabla 14. Microplásticos identificados en el contenido estomacal de la especie *Lutjanus analis* colectados en Puerto Juárez.

Especie	Microplástico identificado
Pargo 1	Sin evidencia de MP's
Pargo 2	Microfibra roja
Pargo 3	Microfibra azul
Pargo 4	Sin evidencia de MP's
Pargo 5	Sin evidencia de MP's
Pargo 6	Sin evidencia de MP's
Pargo 7	Microfibra azul y negra
Pargo 8	Sin evidencia de MP's
Pargo 9	Sin evidencia de MP's
Pargo 10	Sin evidencia de MP's
Lluvias	
Pargo 1	Sin evidencias de MP's
Pargo 2	Sin evidencias de MP's
Pargo 3	Sin evidencias de MP's
Pargo 4	Microfibra azul
Pargo 5	Sin evidencias de MP's
Pargo 6	Sin evidencias de MP's
Pargo 7	Sin evidencias de MP's
Pargo 8	Sin evidencias de MP's
Pargo 9	Sin evidencias de MP's
Pargo 10	Microfibra azul

En la primera revisión de estómagos de los boquinetes (*Lachnolaimus maximus*) se obtuvieron 11 organismos para temporada de secas y 10 organismos para la temporada de lluvias (tabla 15) individuos. Los organismos de la temporada de secas tuvieron registraron la de microfibras roja, negra y azul (tabla 16). Para ambas temporadas se realizaron dos revisiones una antes de la digestión de materia orgánica y otra después de la digestión.

Tabla 15. Datos de la especie boquinete.

No. organismo	Peso (gr)	LT (Cm)	Peso estómago	Fibras	Fragmento
Secas					
Boquinete 1	58.1	30.5	21.1	5	0
Boquinete 2	278.2	22.7	12.7	0	0
Boquinete 3	288	25.6	9.2	0	0
Boquinete 4	306.7	23.4	9.9	0	0
Boquinete 5	332.1	25.8	7.8	0	0
Boquinete 6	308	25.2	10.6	0	0
Boquinete 7	235.6	22.9	7.6	0	0
Boquinete 8	433.1	28.3	15.8	0	0
Boquinete 9	379.8	27.2	11.4	0	0
Boquinete 10	273.6	23.2	7.9	0	0
Boquinete 11	158.5	19.3	3.9	0	0
Lluvias					
Boquinete 1	675.9	32	18.7	1	0
Boquinete 2	610.9	30.2	14.4	0	0
Boquinete 3	769.8	32.4	25	2	0
Boquinete 4	976.9	37.4	35.2	0	0
Boquinete 5	1054.7	47	32.7	0	0
Boquinete 6	756.2	36	20.7	0	0
Boquinete 7	843.1	34.5	17.7	0	0
Boquinete 8	629.7	31	16.2	0	0
Boquinete 9	577.7	31	21.2	0	0
Boquinete 10	754.9	64	16.8	0	0

Tabla 16. Microplásticos y polímeros identificados en el contenido estomacal de la especie boquinete colectados en Puerto Juárez.

Especie	Microplástico identificado
Boquinete 1	Microfibra azul, negra y roja
Boquinete 2	Sin evidencia de MP's
Boquinete 3	Sin evidencia de MP's
Boquinete 4	Sin evidencia de MP's
Boquinete 5	Sin evidencia de MP's
Boquinete 6	Sin evidencia de MP's
Boquinete 7	Sin evidencia de MP's
Boquinete 8	Sin evidencia de MP's
Boquinete 9	Sin evidencia de MP's
Boquinete 10	Sin evidencia de MP's
Boquinete 11	Sin evidencia de MP's
Lluvias	
Boquinete 1	Microfibra azul
Boquinete 2	Sin evidencias de MP's
Boquinete 3	Microfibra azul/ negra
Boquinete 4	Sin evidencias de MP's
Boquinete 5	Sin evidencias de MP's
Boquinete 6	Sin evidencias de MP's
Boquinete 7	Sin evidencias de MP's
Boquinete 8	Sin evidencias de MP's
Boquinete 9	Sin evidencias de MP's
Boquinete 10	Sin evidencias de MP's

Para la barracuda el análisis entre la relación del peso y época climática se realizó mediante una t de Student y se determinó que no existen diferencias significativas ($p\text{-value}= 0.5868$) por época climática ni por peso de la barracuda (figura 18).

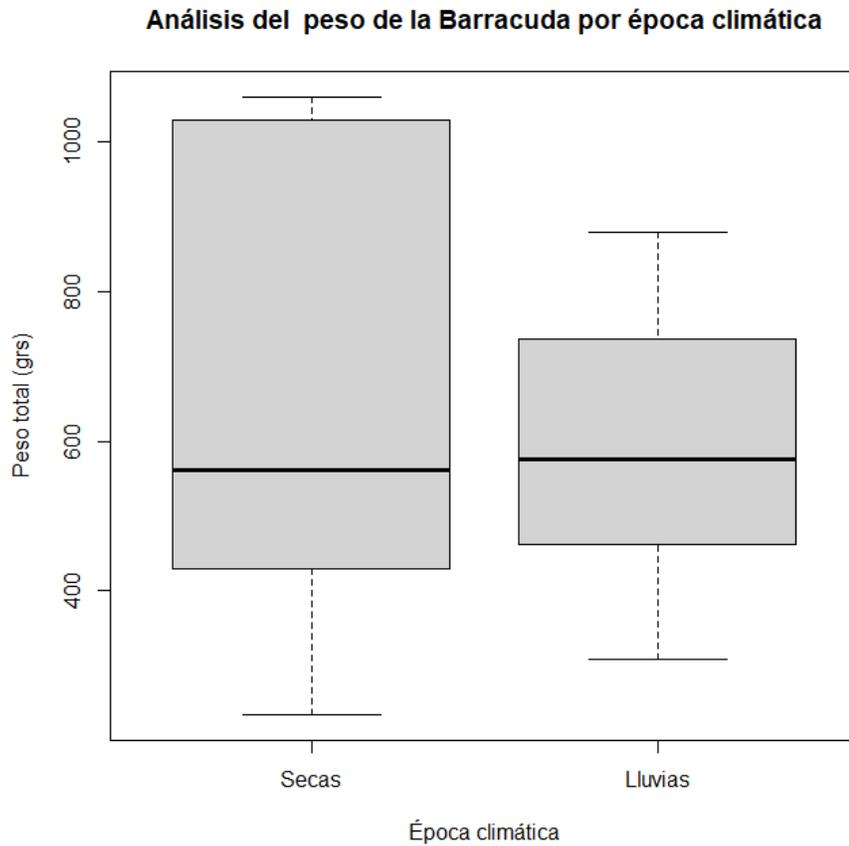


Figura 18. Comparación del peso total de la barracuda entre las temporadas seca y de lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes. La línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles (Q1 y Q3), y los bigotes muestran los valores mínimos y máximos.

El análisis entre la relación de la talla de la barracuda con la época climática, de acuerdo con t de Student, determinó que tampoco existen diferencias significativas ($p\text{-value} = 0.5498$) (figura 19) entre la talla de los peces de la especie de la barracuda y las temporadas climáticas (secas y lluvias),

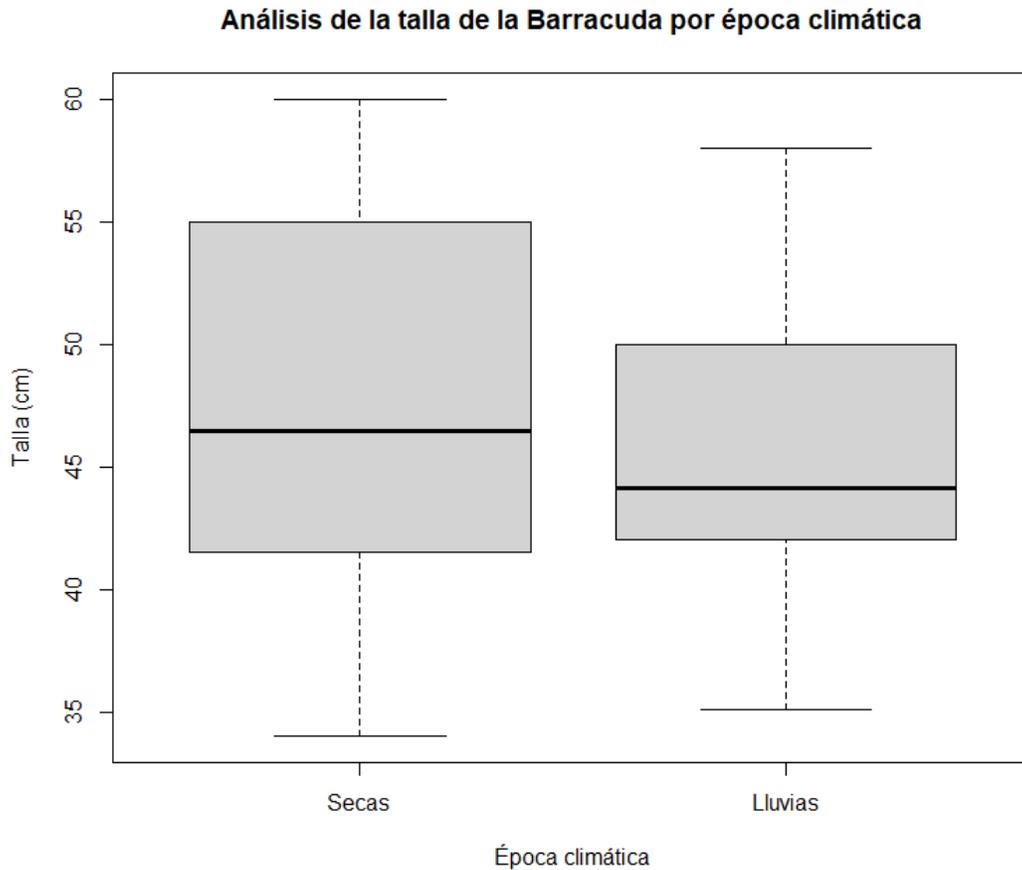


Figura 19. Comparación de la talla de la barracuda entre temporadas de seca y de lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes, la línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles y los bigotes los valores mínimos y máximos.

El análisis estadístico con la relación del peso del estómago de la barracuda y las temporadas climáticas (secas y lluvias), realizado mediante t de Student determinó que no hubo diferencias significativas ($p\text{-value} = 0.6094$) (figura 20), por lo que época climática no influye con el peso del estómago de la especie.

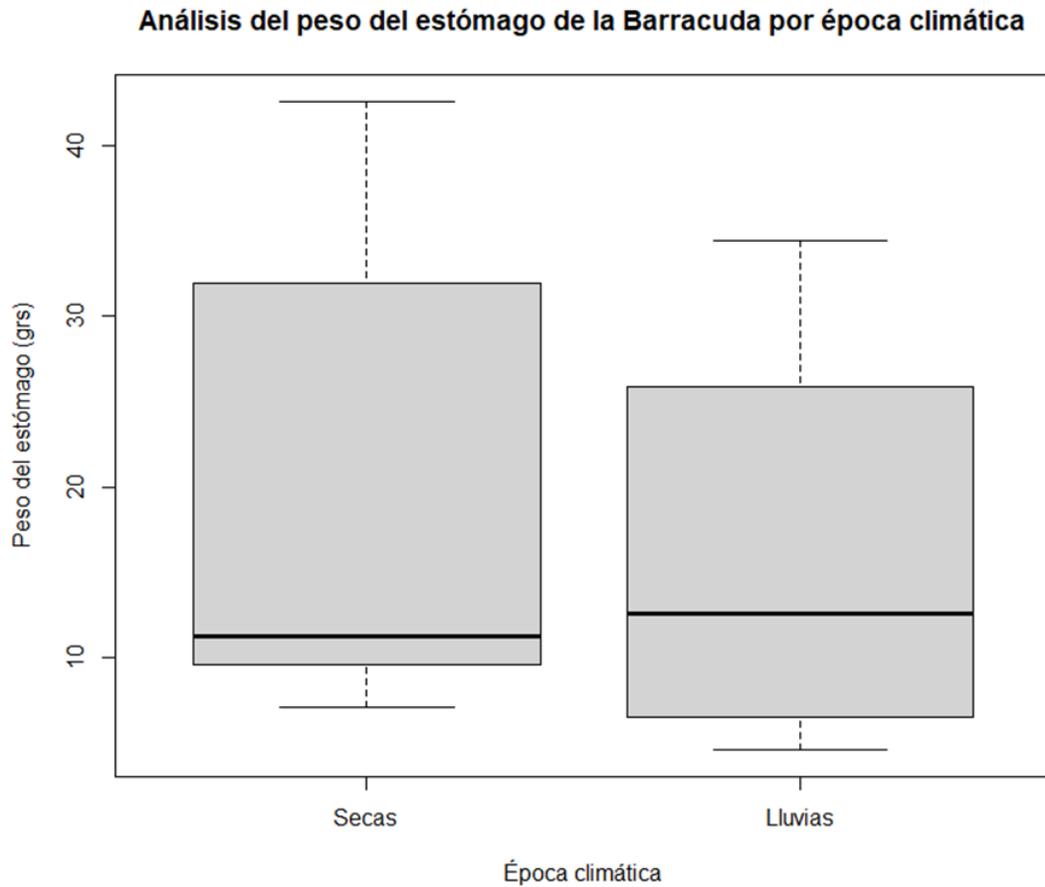


Figura 20. Comparación del peso total del estómago de la barracuda entre las temporadas seca y de lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes. La línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles y los bigotes muestran los valores mínimos y máximos.

Para los peces de la especie “pargo” el análisis estadístico realizado entre la relación del peso total de los peces de la especie y las temporadas climáticas (secas y lluvias), indicó que si hay diferencias significativas ($p\text{-value} = 0.001592$) (figura 21). Esto puede considerarse, ya que cada especie de pez tiene una temporada distinta de reproducción lo cual podría ser un factor de un mayor peso comparándolas entre ellas.

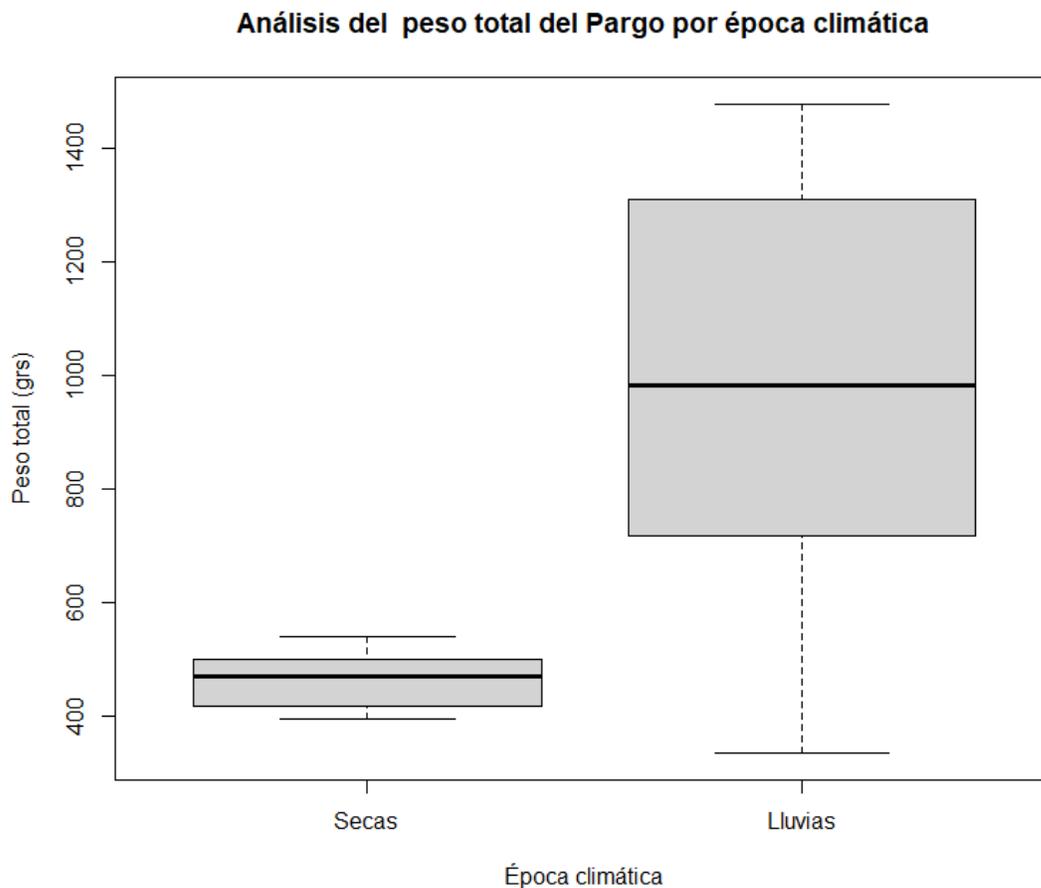


Figura 21. Comparación del peso total del pargo entre las temporadas seca y de lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes. La línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles y los bigotes muestran los valores mínimos y máximos.

La t de Student entre la relación de la talla de los pargos y la época climática, determinó que también hay diferencias significativas ($p\text{-value} = 0.001683$). La talla del pargo si difiere entre temporadas, secas y lluvias (figura 23). Esto podría ser por la temporada de reproducción de la especie.

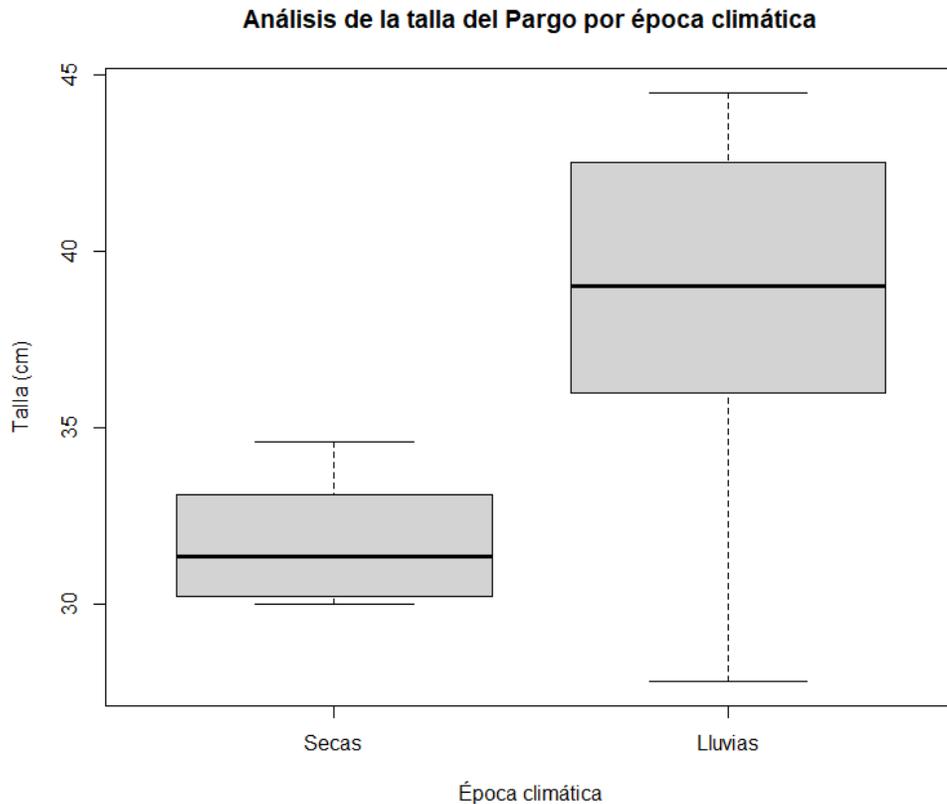


Figura 22. Comparación de la talla del pargo entre las temporadas seca y de lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes. La línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles y los bigotes muestran los valores mínimos y máximos.

La t de Student entre la relación del peso del estómago y las temporadas climáticas determinó que también hay diferencias significativas ($p\text{-value} = 0.02155$) (figura 23) entre la relación del peso del estómago y las temporadas climáticas (secas y lluvias).

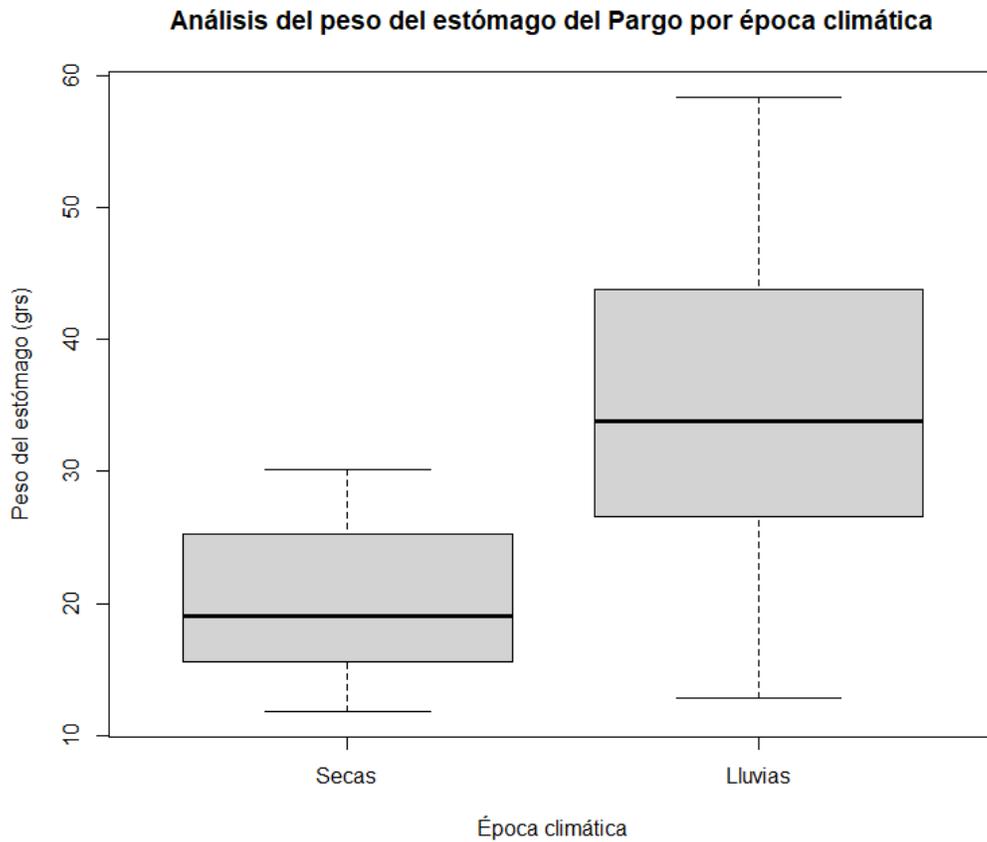


Figura 23. Comparación del peso total de los estómagos del pargo entre las temporadas seca y de lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes. La línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles y los bigotes muestran los valores mínimos y máximos.

Para la especie de boquinetes, el análisis de t de Student realizado determinó diferencias significativas entre el peso total de los peces de la especie Boquinete y las temporadas climáticas (secas y lluvias) (p-value = 2.065e-05) (figura 24).

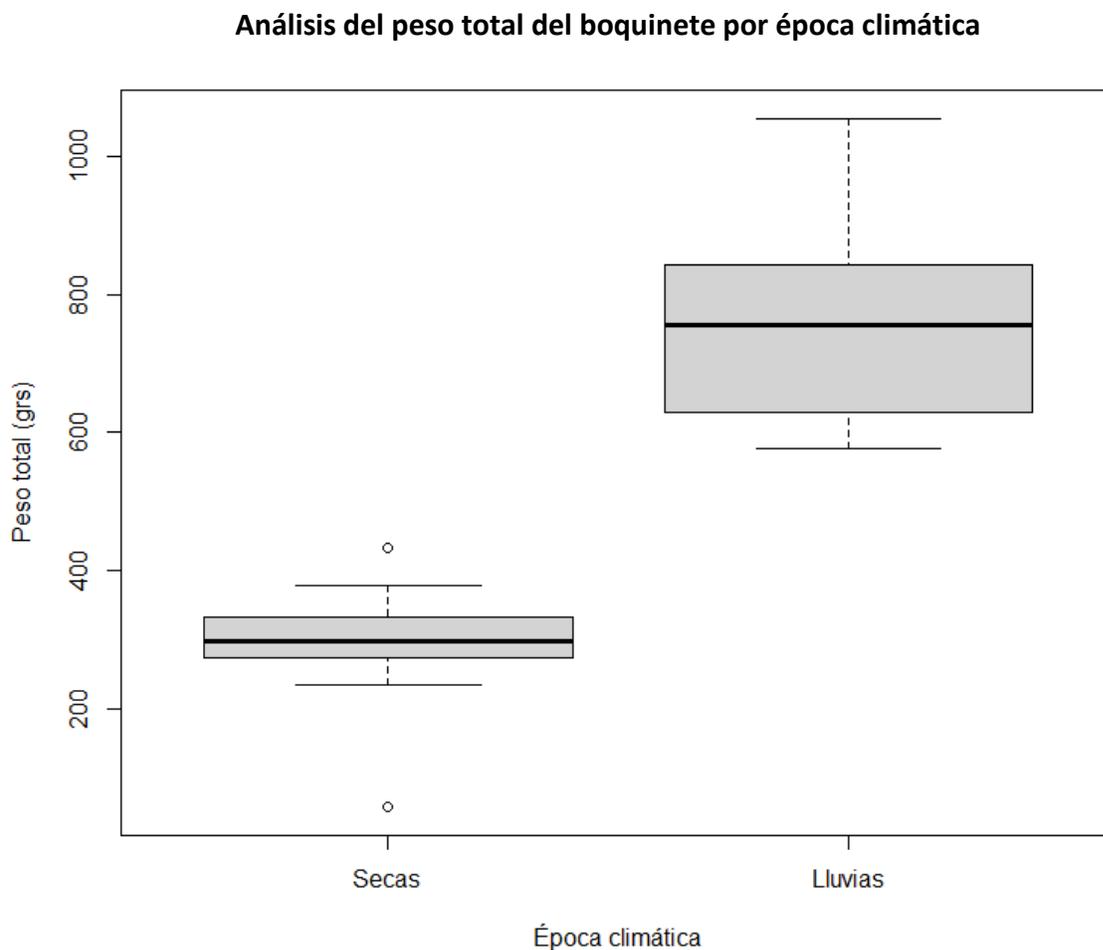


Figura 24. Comparación del peso total del boquinete entre las temporadas seca y de lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes. La línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles y los bigotes muestran los valores mínimos y máximos.

Por otro lado, el análisis t de Student de las tallas del boquinete por temporadas climáticas (secas y lluvias) determinó con t de Student que también si hubo diferencias significativas (p-value = 0.00978) (figura 25).

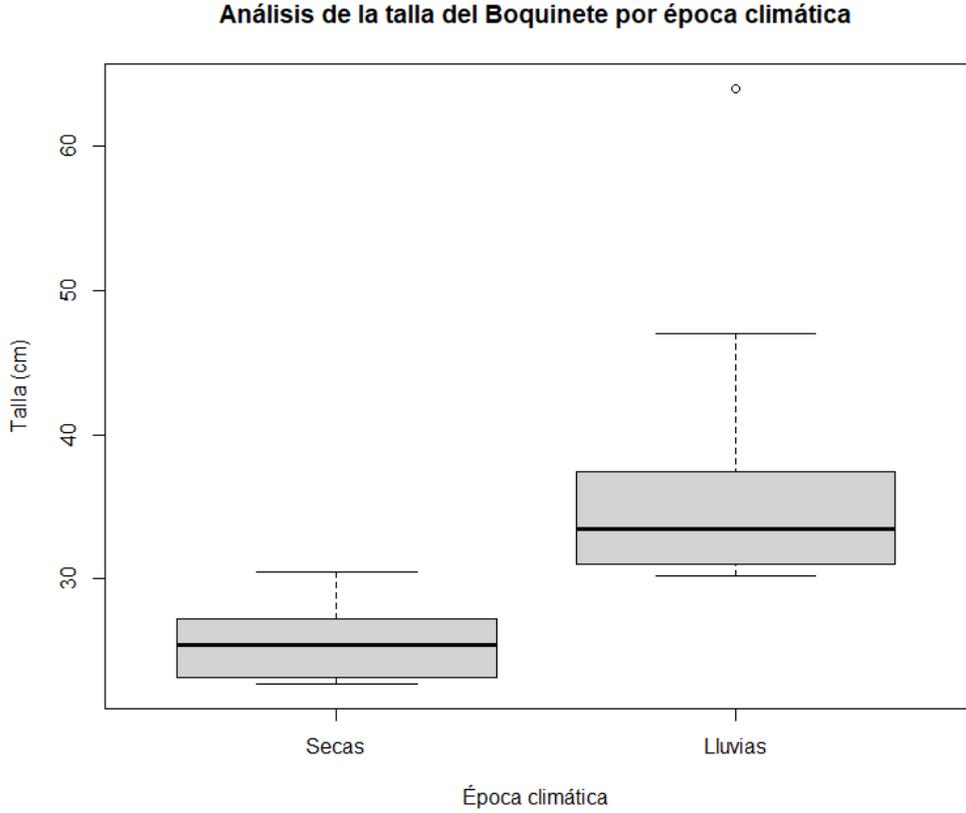


Figura 25. Comparación de la talla del boquinete entre las temporadas seca y de lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes. La línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles y los bigotes muestran los valores mínimos y máximos.

La T de Student realizada para el análisis del peso de los estómagos con relación a las temporadas climáticas, determinó que si hubo diferencias significativas ($p\text{-value} = 0.00672$) (figura 26)

Análisis del peso del estómago del Boquinete por época climática

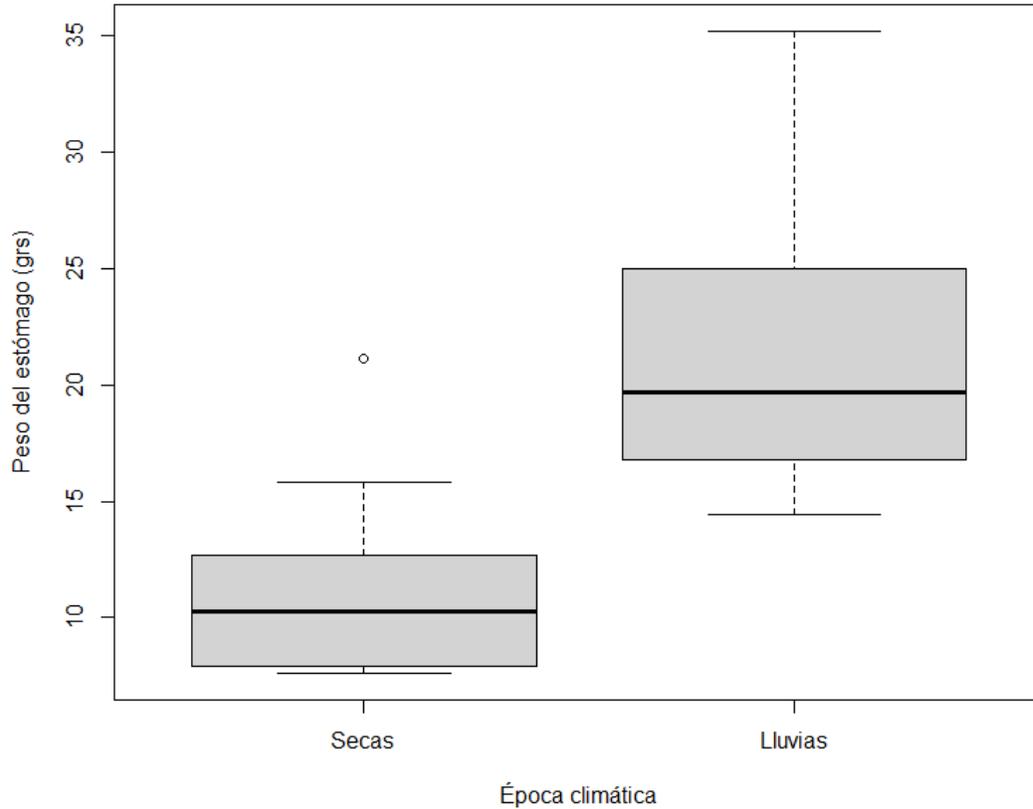


Figura 26. Comparación del peso total del estómago del boquinete entre las temporadas seca y de lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes. La línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles y los bigotes muestran los valores mínimos y máximos.

3.1.3 MEDICIÓN DE PARTÍCULAS

Microfibras encontradas en muestras de agua marina (temporada de lluvias).



Figura 27a. P1 microfibra azul
4.02mm.



Figura 27b. P2 microfibra
transparente 3.25mm.

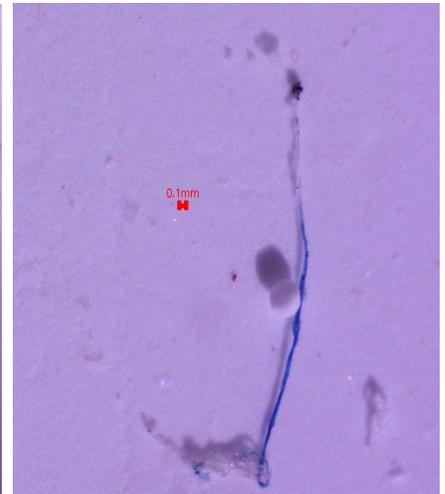


Figura 27c. P4 microfibra azul
3.56 mm.

Microfibras encontradas en muestras de agua marina (temporada de secas).

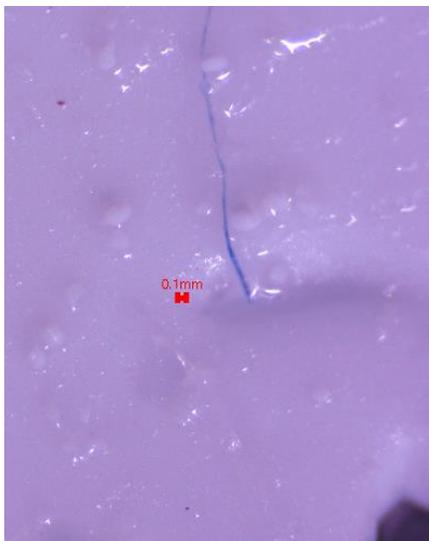


Figura 28a .C1 microfibra
azul 2.60mm.

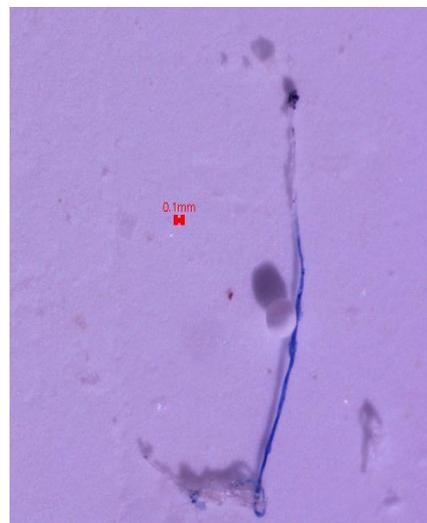


Figura 28b. C3 Microfibra roja
3.45mm.

3.1.4 ANÁLISIS PERMANOVA

El resultado del análisis PERMANOVA con las abundancias totales de microplásticos y de las especies de peces determinó variaciones. Sin embargo, no se encontraron diferencias por temporada climática (Tabla 17). La prueba de comparaciones por pares con las tres de especies en estudio, se determinó diferencias significativas (Tabla 18) entre la barracuda con el pargo y el boquinete.

Tabla 17. Resultado del análisis del modelo PERMANOVA utilizando la distancia Bray-Curtis para la época climática y las especies de peces en relación con la abundancia de microplásticos.

Variable	Df	SumsOfSqs	MeanSqs	Pseudo-F	P(perm)
Época climática	1	3466.7	3466.7	0.81901	0.6236
Especies	2	17435	8717.5	2.0595	0.007
Res	57	2.41E+05	4232.8		
Total	62	2.70E+05			

Tabla 18. Análisis de la prueba de comparaciones pareadas entre la abundancia de microplásticos y las especies de peces.

Grupos	t	Unique perms	P(MC)	P(perm)
Barracuda, Pargo	1.6606	9773	0.0082	0.0088
Barracuda,Boquinete	1.6862	9816	0.0066	0.0064
Pargo, Boquinete	0.89246	819	0.7084	0.8877

3.1.5 REGRESIÓN LINEAL

La regresión lineal con la relación entre la abundancia de microplásticos y la talla, no presentó una relación con la talla de los peces y la presencia de MP's (p-value: 0.1439, Adjusted R-squared: 0.01887). Esto significa que no tiene relación el tamaño del pez con la cantidad de MP's que se encontraron en su contenido estomacal.

La regresión lineal con la relación entre la abundancia de microplásticos y el peso, no presentó, tampoco una relación con el peso de los peces y la presencia de MPs (p-value: 0.2387, Adjusted R-squared: 0.006662). de igual manera el peso de cada organismo no tuvo una relación con la cantidad de MP's registrados en su contenido estomacal.

La regresión lineal con la relación entre la abundancia de microplásticos y el peso del estómago no presentó relación con el peso del estómago y la presencia de MPs (p-value: 0.4539, Adjusted R-squared: -0.007013).

3.1.6 RESULTADOS DE PARTÍCULAS DE MICROPLÁSTICOS EN EL AGUA DE MAR DE DOS TEMPORADAS CLIMATICAS (SECAS Y LLUVIAS)

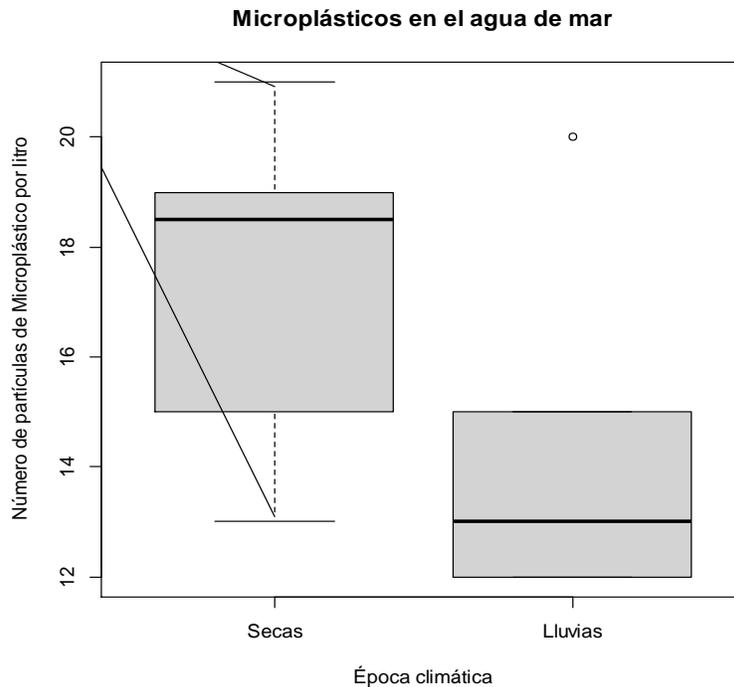


Figura 29. Comparación del número de partículas de microplásticos por litro entre las temporadas de secas y lluvias mediante diagramas de cajas y bigotes. La línea central indica la mediana, los bordes de la caja representan los cuartiles y los bigotes muestran los valores mínimos y máximos.

La prueba t de Student determinó que existen diferencias estadísticamente significativas ($t = 2.225$, $df = 5$, $p\text{-value} = 0.07665$) (figura 29) entre el número de partículas de microplásticos y las temporadas climáticas (secas y lluvias). Durante la temporada de lluvias es más probable que existan más MP's debido a que influyen las corrientes de agua que se presentan en el océano, y como consecuencia causa la dispersión de las partículas microplásticas.

3.1.7 MODELOS LINEALES GENERALIZADOS (GLM)

Relación entre la abundancia de MP's- peso total de la barracuda (secas)

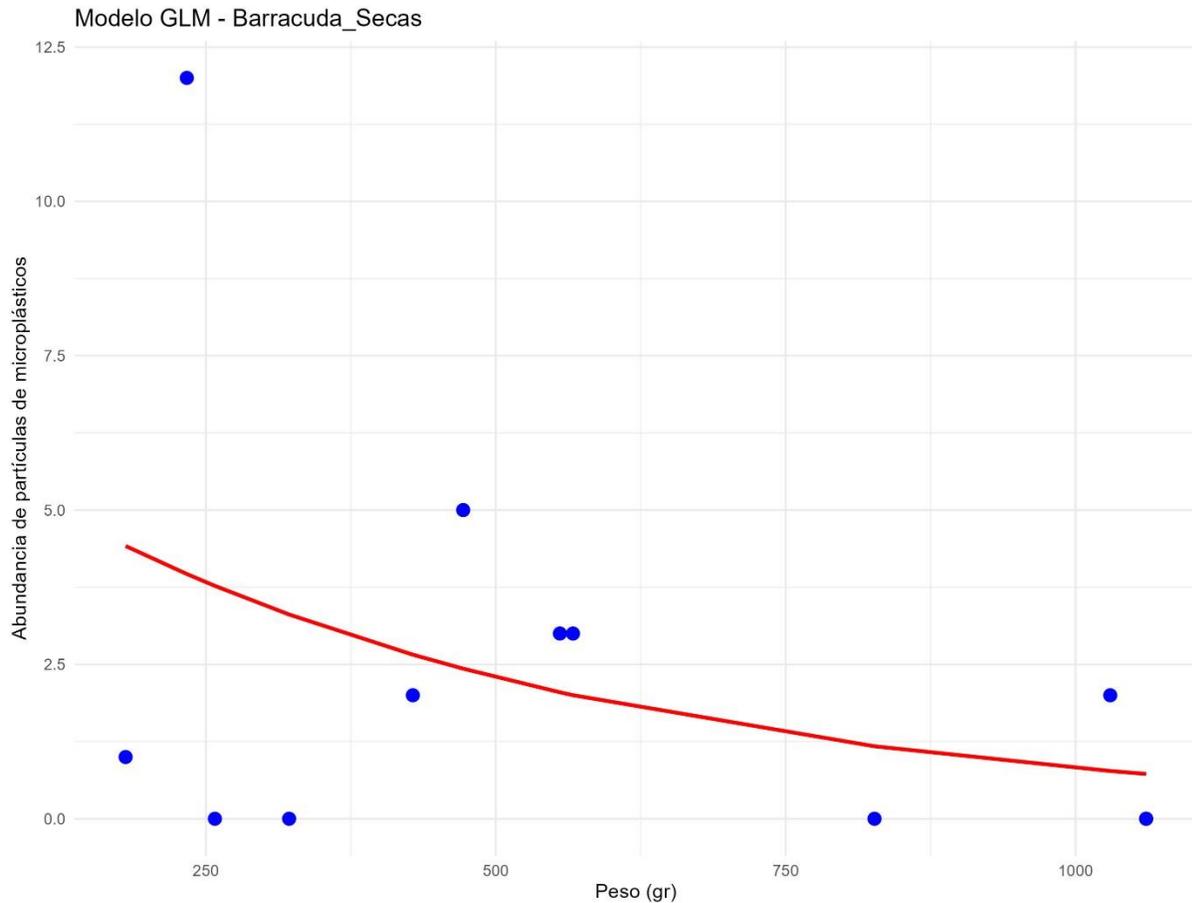


Figura 30. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso total de la barracuda. Presenta el número de partículas registradas en relación al peso de los organismos.

Peso	-0.00205243	0.00077009	-2.66517918	0.00769473
-------------	--------------------	-------------------	--------------------	-------------------

En esta relación abundancia de partículas y peso total de las barracudas, hay relación de acuerdo a $p < 0.05$ Esto en temporada de secas, ahora bien, en temporada de lluvias se obtuvo lo siguiente.

Relación entre la abundancia de MP's- peso total de la barracuda (lluvias)

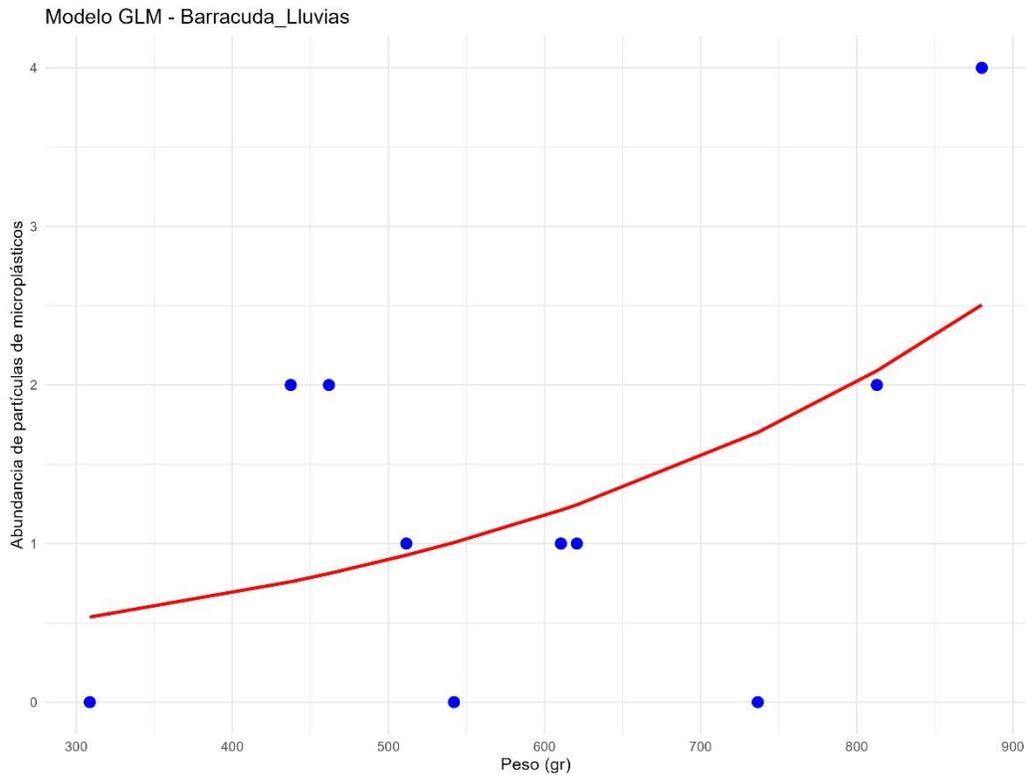


Figura 31. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso total de la barracuda. Presenta el número de partículas registradas en relación al peso de los organismos en temporada de lluvias.

Peso	0.0026972	0.00167164	1.61350308	0.10663525
-------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------

De acuerdo a $p < 0.05$ no existe una relación entre las variables de la abundancia de partículas microplásticas y el peso total.

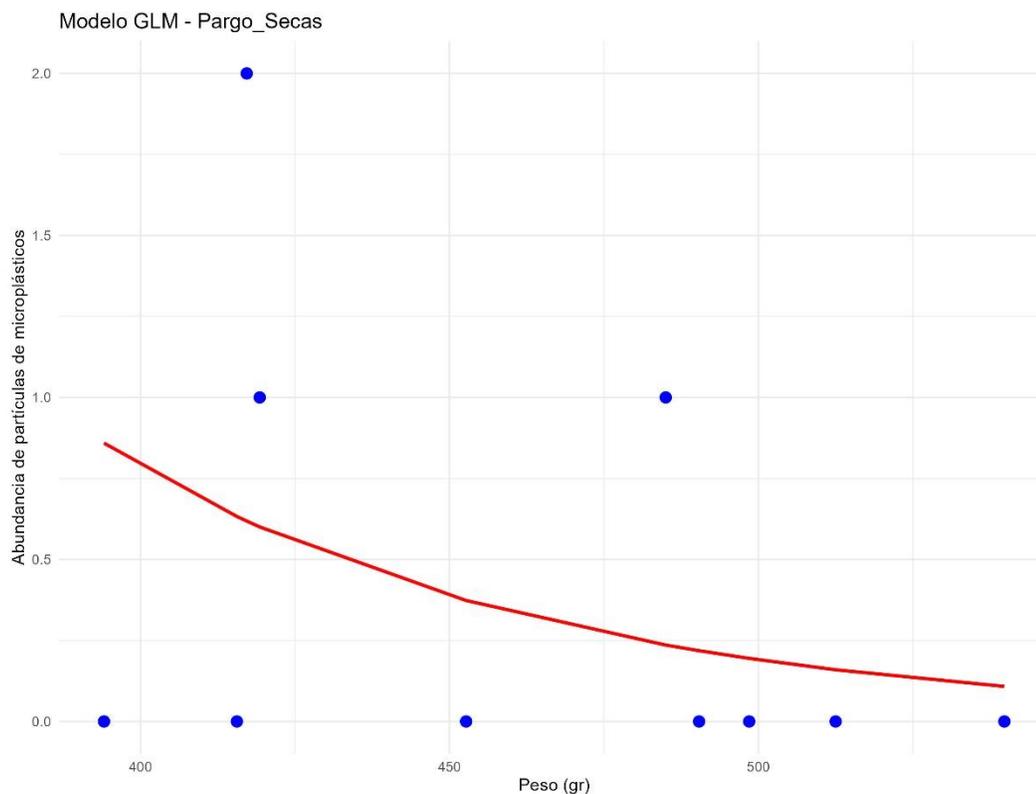


Figura 32. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso total del pargo. Presenta el número de partículas registradas con relación al peso de los organismos en temporada de secas.

Para el pargo se aplicó también un GLM donde se obtuvo 0.25797885 este valor es mayor a $p < 0.05$ lo que indica que no existe una relación entre la abundancia de partículas microplásticas y el peso total de los pargos, en temporadas de secas.

Peso	-0.0142231	0.01257367	-1.13118117	0.25797885
-------------	-------------------	-------------------	--------------------	-------------------

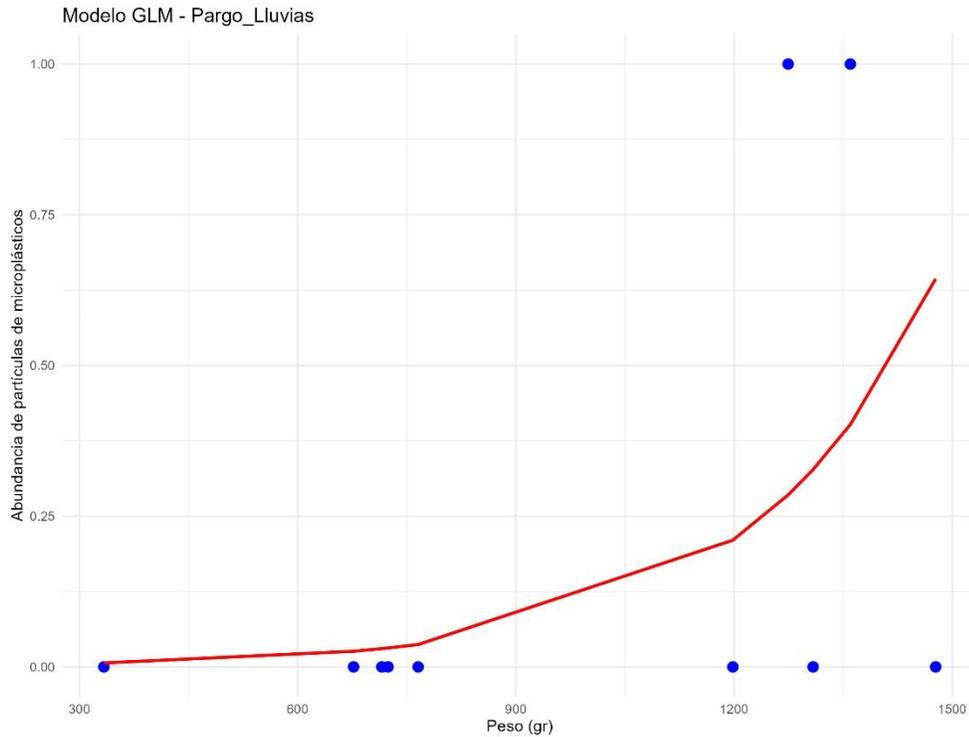


Figura 33. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso total del pargo. Presenta el número de partículas registradas en relación al peso de los organismos en temporada de lluvias.

Peso	0.00401193	0.00375276	1.06906169	0.28504187
-------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

Para el pargo se aplicó también un GLM donde se obtuvo 0.28504187 (este valor es mayor a $p < 0.05$) lo que indica que no existe una relación entre la abundancia de partículas microplásticas y el peso total de los pargos, en temporadas de lluvias. Haciendo una comparación los resultados obtenidos de p para temporada de secas y lluvias son similares.

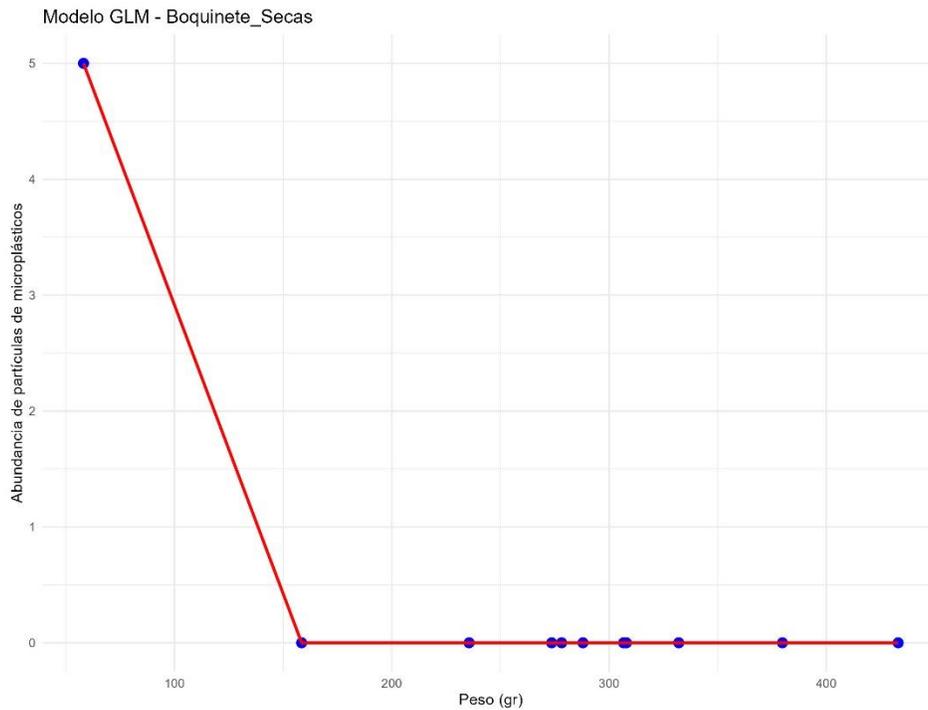


Figura 34. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso total del boquinete. Presenta el número de partículas registradas con relación al peso de los organismos en temporada de secas.

Se obtuvo 0.999, esto determina que es mayor a $p < 0.05$ por lo tanto no existe una relación entre las dos variables analizadas, en este caso la abundancia de MP's y el peso de los organismos de boquinete.

Peso	-0.23565255	370.878097	-0.00063539	0.99949303
-------------	--------------------	-------------------	--------------------	-------------------

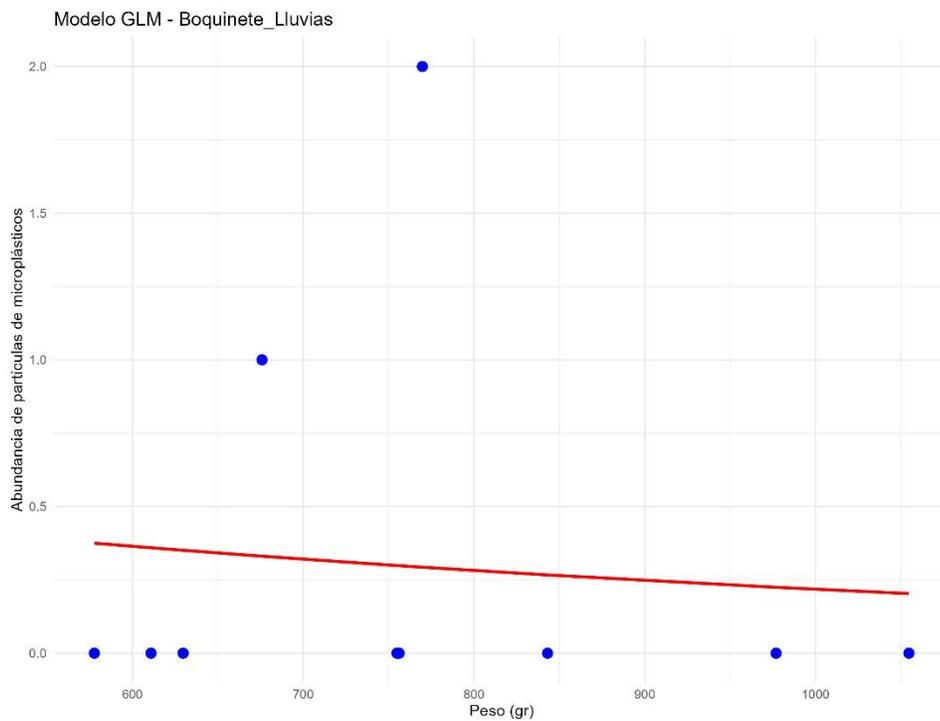


Figura 35. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso total del boquinete. Presenta el número de partículas registradas con relación al peso de los organismos en temporada de lluvias.

Peso	-0.00128486	0.00417204	-0.30796852	0.75810629
-------------	--------------------	-------------------	--------------------	-------------------

Se obtuvo un valor de 0.75810629 el cual es mayor al valor de $p < 0.05$ por lo tanto de nueva cuenta no hay una relación entre las dos variables el peso total y abundancia de MP's en la temporada de lluvias.

Relación abundancia de MP's- peso del estómago barracuda (lluvias)

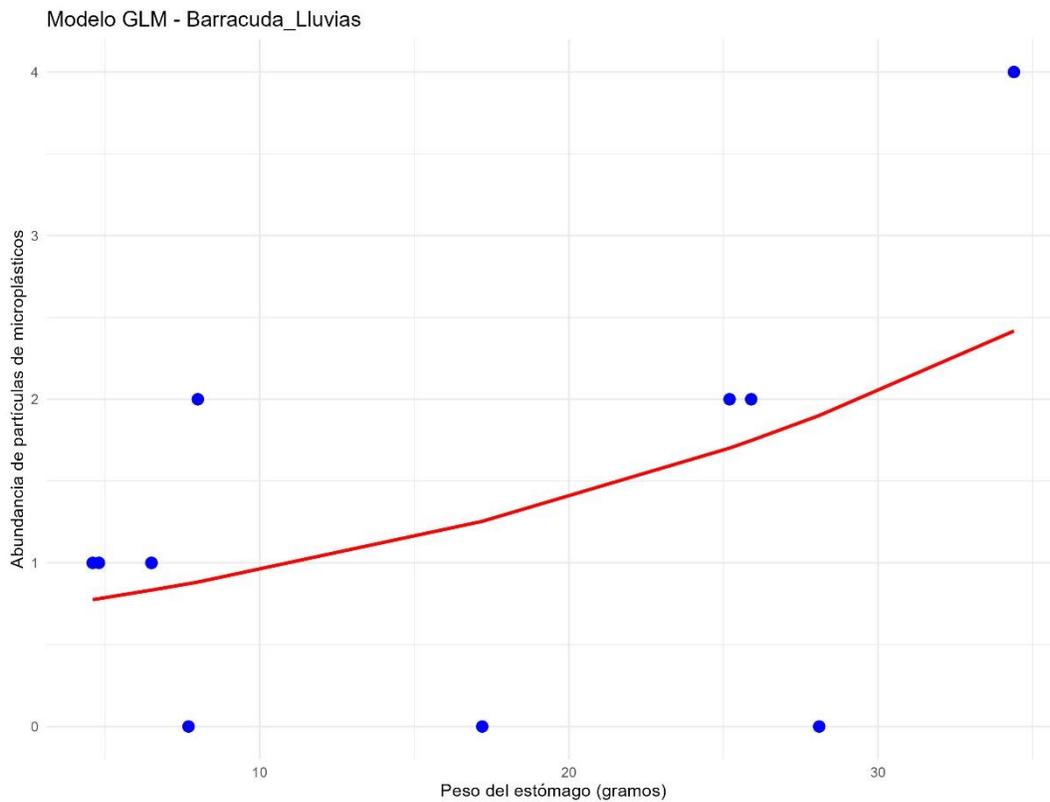


Figura 36. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso del estómago de la barracuda. Presenta el número de partículas registradas con relación al peso de los organismos en temporada de lluvias.

Peso estómago	0.03815597	0.02447248	1.55913743	0.11896386
----------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

Con respecto a lo obtenido 0.11896386 está arriba de 0.05 por lo tanto no hay una relación entre estas variables la abundancia de MP's y el peso del estómago de los organismos de barracudas esto durante la temporada de lluvias

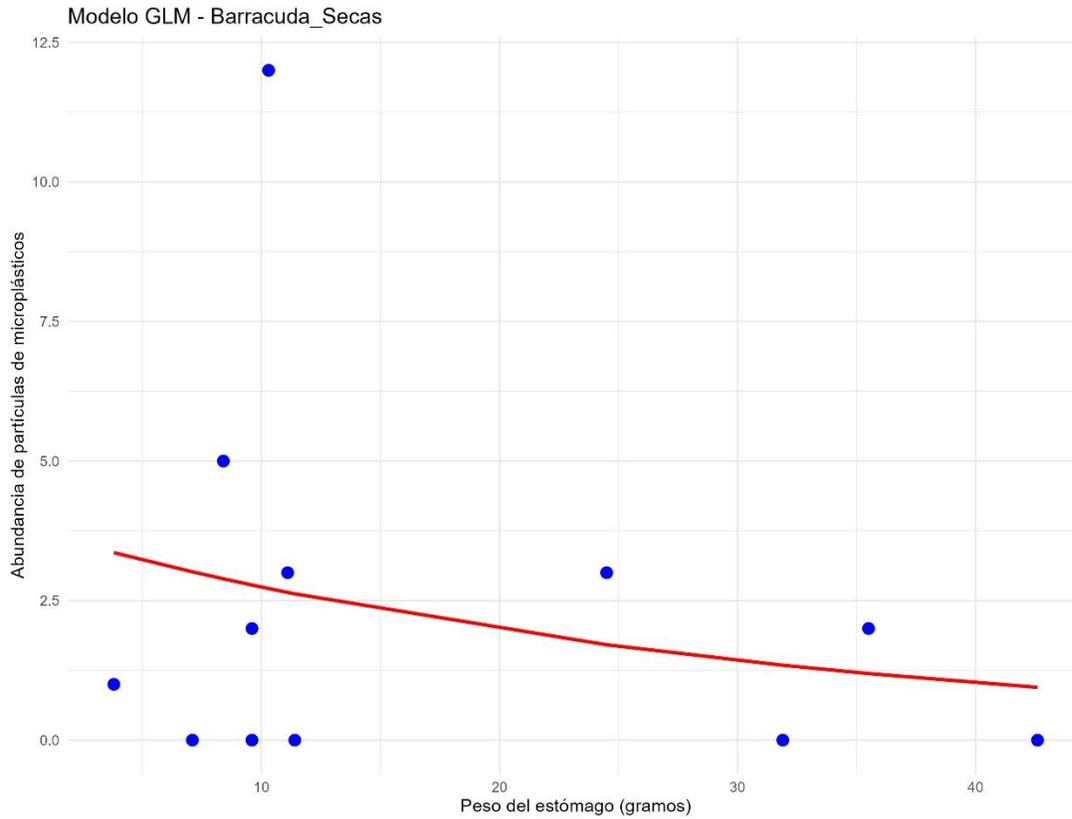


Figura 37. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso del estómago de la barracuda. Presenta el número de partículas registradas con relación al peso de los organismos en temporada de secas.

Presenta el resultado de 0.09036633 el cual está arriba de 0.05, determinando que tampoco existe una relación entre el peso del estómago con el número de partículas encontradas, durante la temporada de secas.

peso estómago	-0.03265835	0.01928489	-1.69346847	0.09036633
----------------------	--------------------	-------------------	--------------------	-------------------

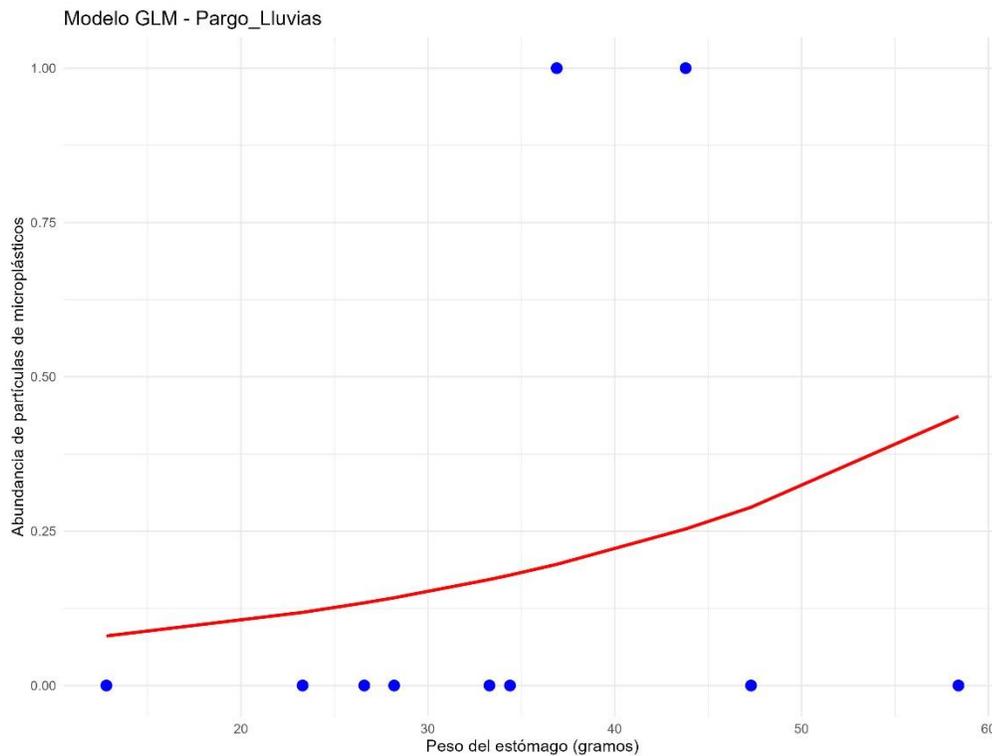


Figura 38. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso del estómago del pargo. Presenta el número de partículas registradas con relación al peso de los organismos en temporada de lluvias.

Peso estómago	0.03711776	0.05608922	0.66176278	0.50812326
----------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

Con GLM se obtuvo un valor de 0.50812326 que es un valor mayor a $p < 0.05$ por lo que no existe una relación entre la abundancia de MP's y el peso del estómago del organismo, estos colectados en temporada de lluvias.

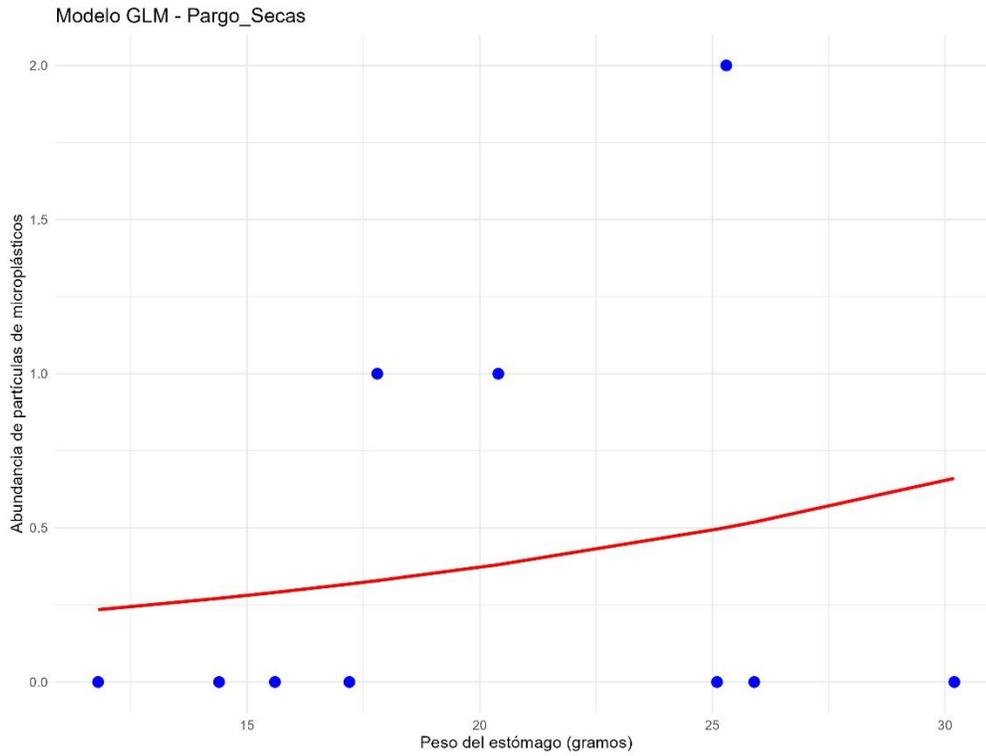


Figura 39. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso del estómago del pargo. Presenta el número de partículas registradas con relación al peso de los organismos en temporada de secas.

Peso estómago	0.05626982	0.08823376	0.63773575	0.52364571
----------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

Se obtuvo el valor de 0.52364571 el cual es mayor a $p < 0.05$, esto quiere decir que no existe tal relación entre las variables de abundancia de MP's y el peso de los estómagos del pargo, durante la temporada de secas, sin embargo, al comparar con la temporada de lluvias se puede observar que hubo una similitud de valores, y en ambos no hubo una relación.

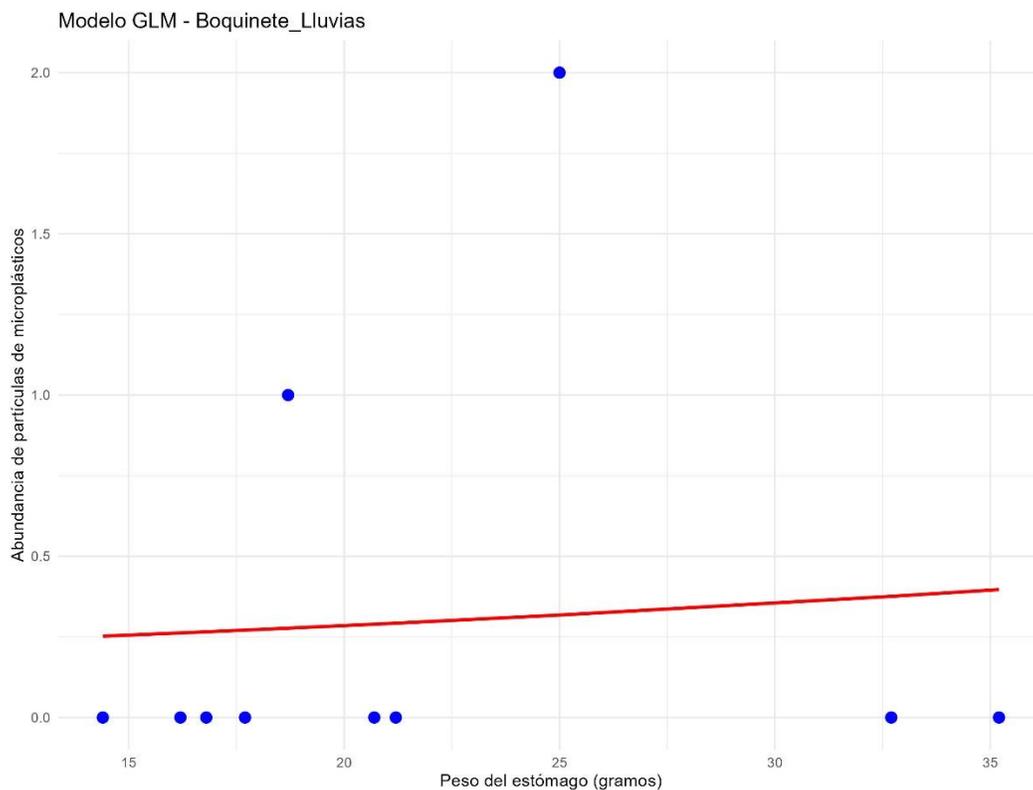


Figura 40. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso del estómago del boquinete. Presenta el número de partículas registradas con relación al peso de los organismos en temporada de lluvias.

Peso estómago	0.02177494	0.08114911	0.26833251	0.78844339
---------------	------------	------------	------------	------------

El valor que se obtuvo de 0.78844339 es mayor que $p < 0.05$, al igual que los resultados anteriores, por lo que no existe relación entre la variable de abundancia de MP's y el peso del estómago de los boquinetes.

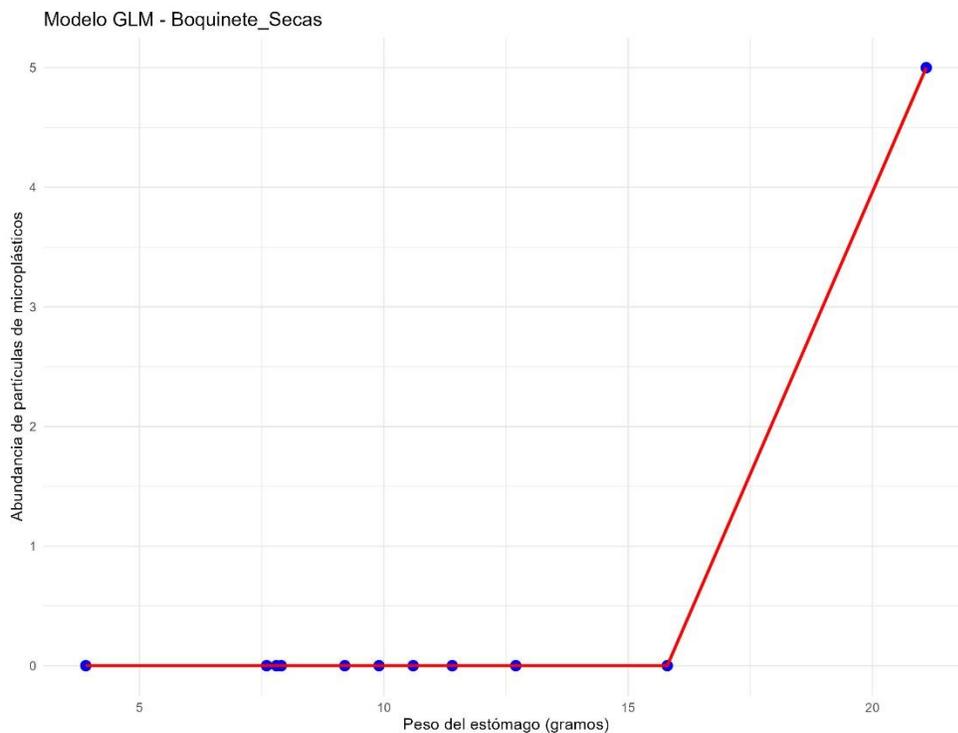


Figura 41. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y peso del estómago del boquinete. Presenta el número de partículas registradas con relación al peso de los organismos en temporada de secas.

Peso estómago	4.50795548	7892.36685	0.00057118	0.99954426
---------------	------------	------------	------------	------------

El valor obtenido en relación a los variables fue de 0.99954426 por lo que es mayor a $p < 0.05$. Por lo tanto, no hay una relación.

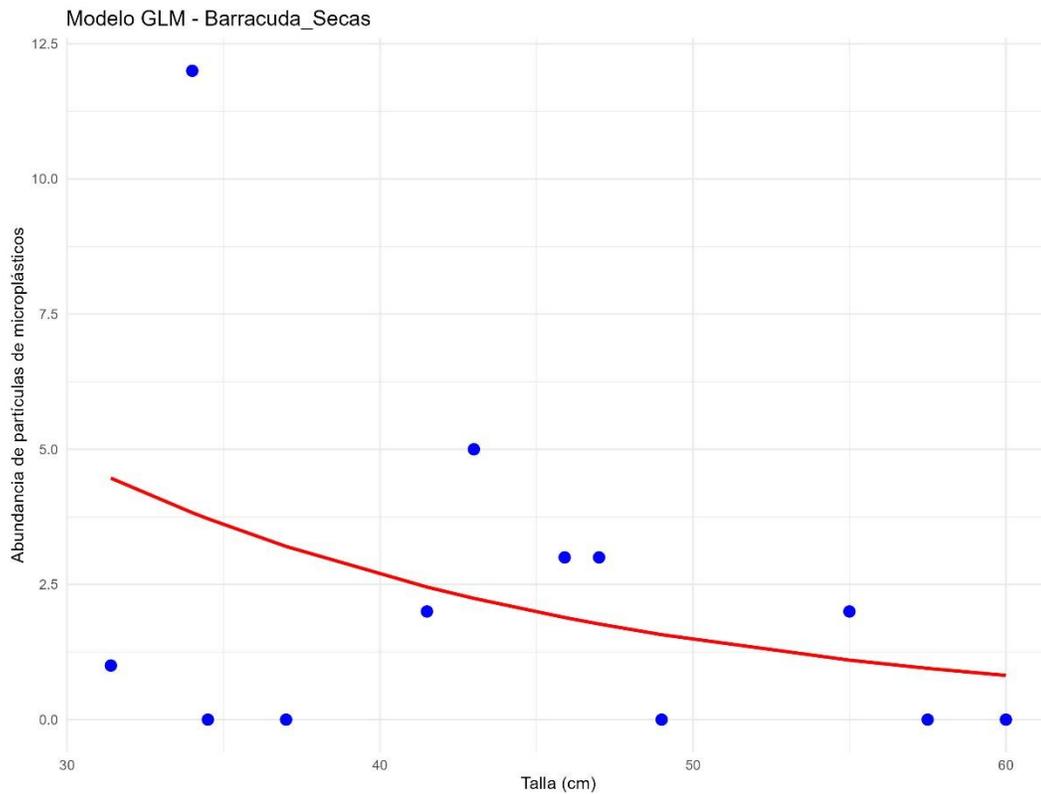


Figura 42. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y talla de los organismos de la barracuda. Presenta el número de partículas registradas con relación a la talla de la barracuda.

Talla	-0.05936994	0.02371387	-2.50359568	0.01229384
--------------	--------------------	-------------------	--------------------	-------------------

Se presenta lo obtenido que fue 0.01229384 que se encuentra por debajo de $p < 0.05$ lo que determina que si hay una relación con respecto a la abundancia de partículas microplásticas y la talla de los organismos.

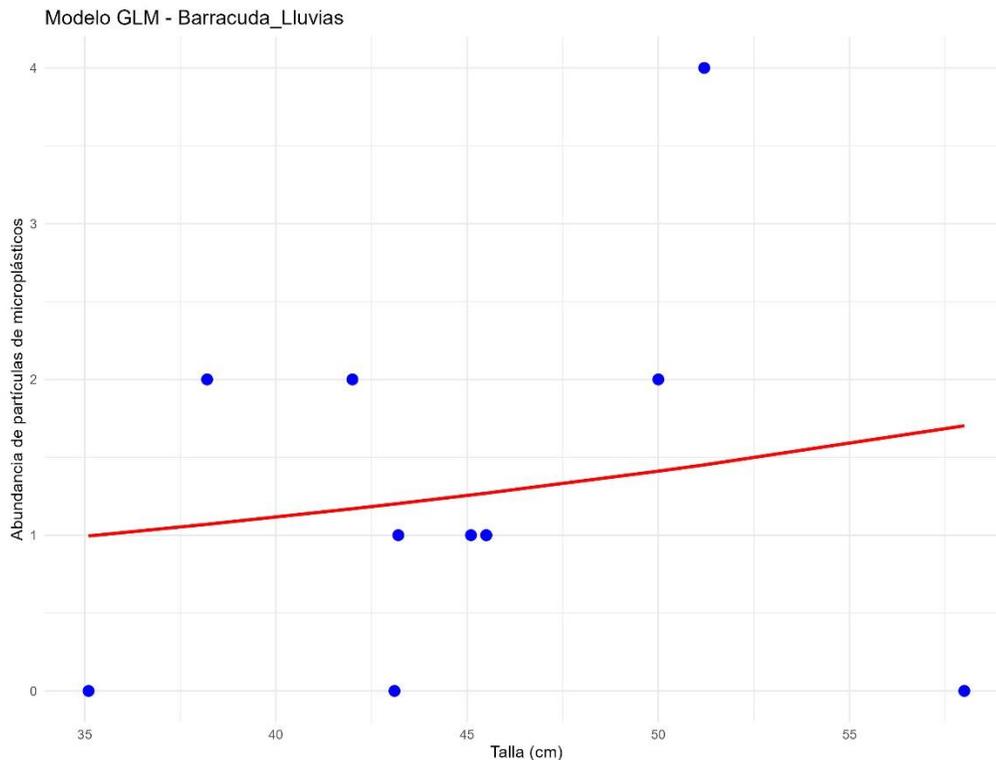


Figura 43. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y talla de los organismos de la barracuda. Presenta el número de partículas registradas con relación a la talla de la barracuda en temporada de lluvias

Talla	0.02345514	0.04343096	0.54005577	0.58915857
-------	------------	------------	------------	------------

De acuerdo con $p < 0.05$, el resultado que se obtuvo al ser mayor con 0.5891 no existe una relación entre las variables de talla del organismo y la abundancia de MP's. Al comparar ambas temporadas se puede apreciar la diferencia que hubo, pero aun así no hubo relación para ninguna de las temporadas con respecto a las variables.

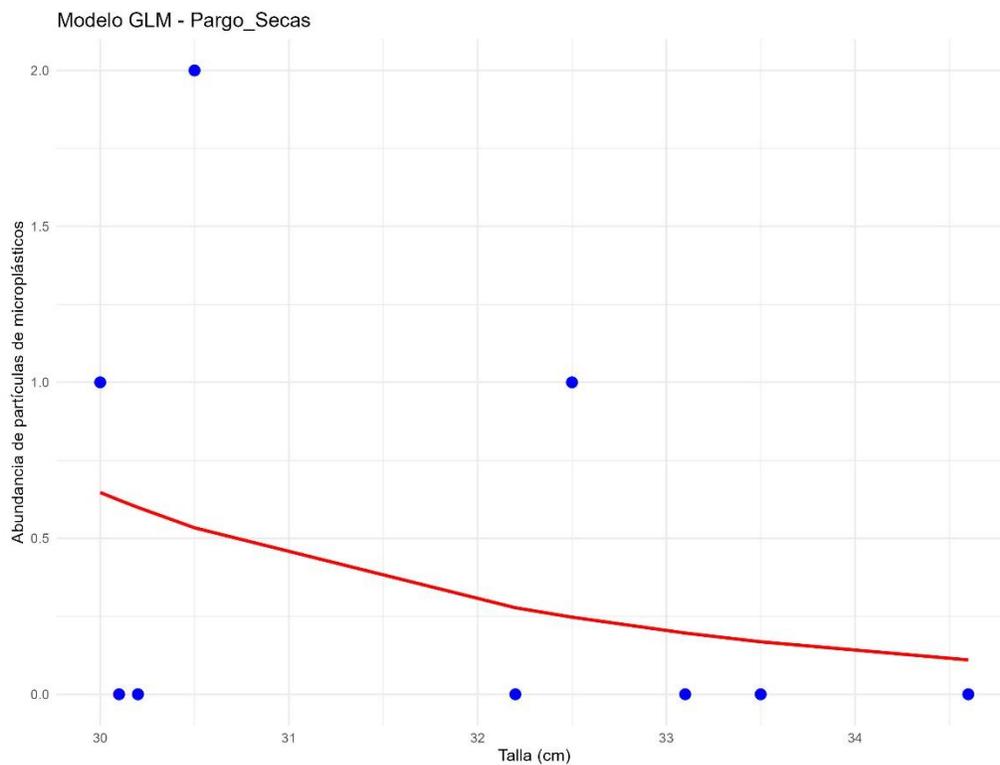


Figura 44. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y talla de los organismos del pargo. Presenta el número de partículas registradas con relación a la talla del pargo en temporada de secas.

Talla	-0.38492283	0.39880409	-0.96519279	0.33444826
--------------	--------------------	-------------------	--------------------	-------------------

Se obtuvo un valor de 0.33444826 el cual es mayor a $p < 0.05$ por lo tanto, no existe relación entre las variables de abundancia de MP's y la talla del pargo durante la temporada de secas.

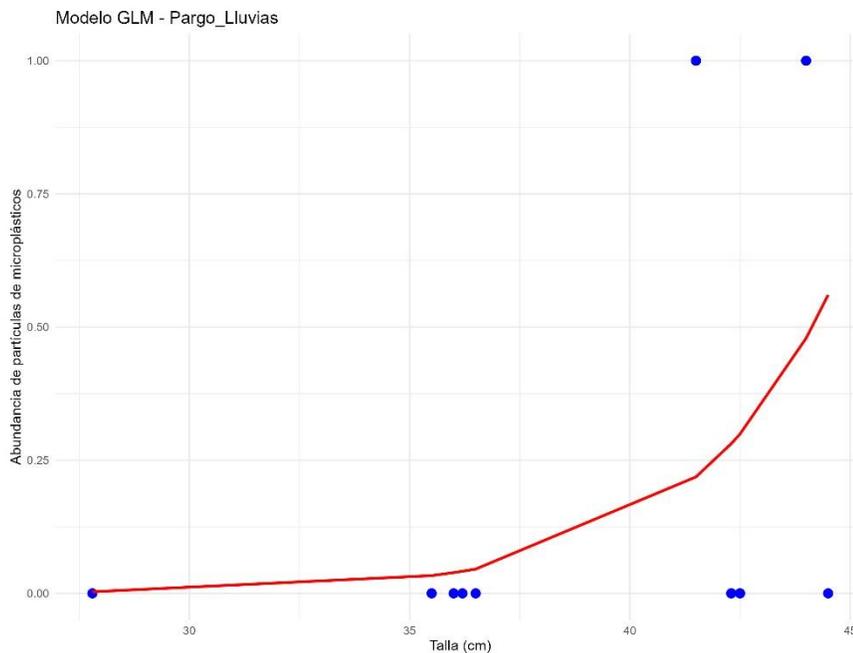


Figura 45. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y talla de los organismos del pargo. Presenta el número de partículas registradas con relación a la talla del pargo en temporada de lluvias.

Talla	0.31371946	0.30677805	1.02262679	0.30648434
--------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

De acuerdo con el valor de $p < 0.05$, y se obtuvo el valor de 0.30648434 el cual es mayor, entonces no hay una relación entre las variables analizadas.

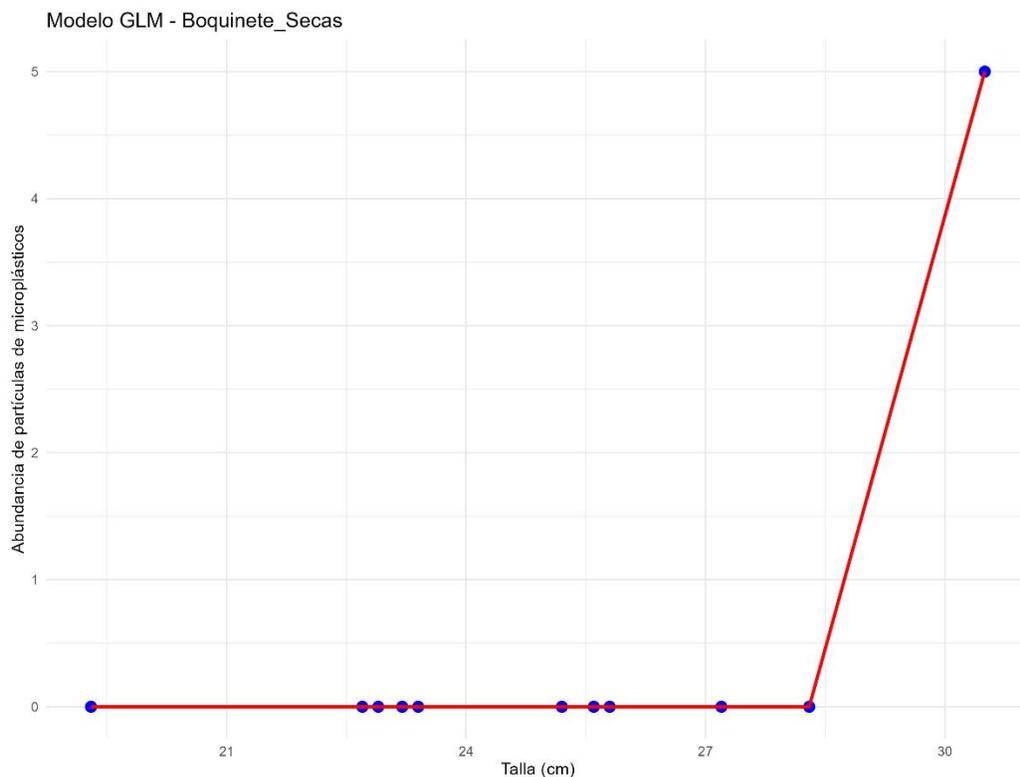


Figura 46. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y talla de los organismos del boquinete. Presenta el número de partículas registradas con relación a la talla del boquinete en temporada de secas.

Talla	10.9635617	21305.6641	0.00051458	0.99958942
--------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

El valor obtenido 0.99958942 es mayor al valor de $p < 0.05$. Lo que determina que no hay una relación, por lo tanto, las variables presentadas no se relacionan, es decir la abundancia de MP's y la talla del boquinete no está influida por la temporada de secas.

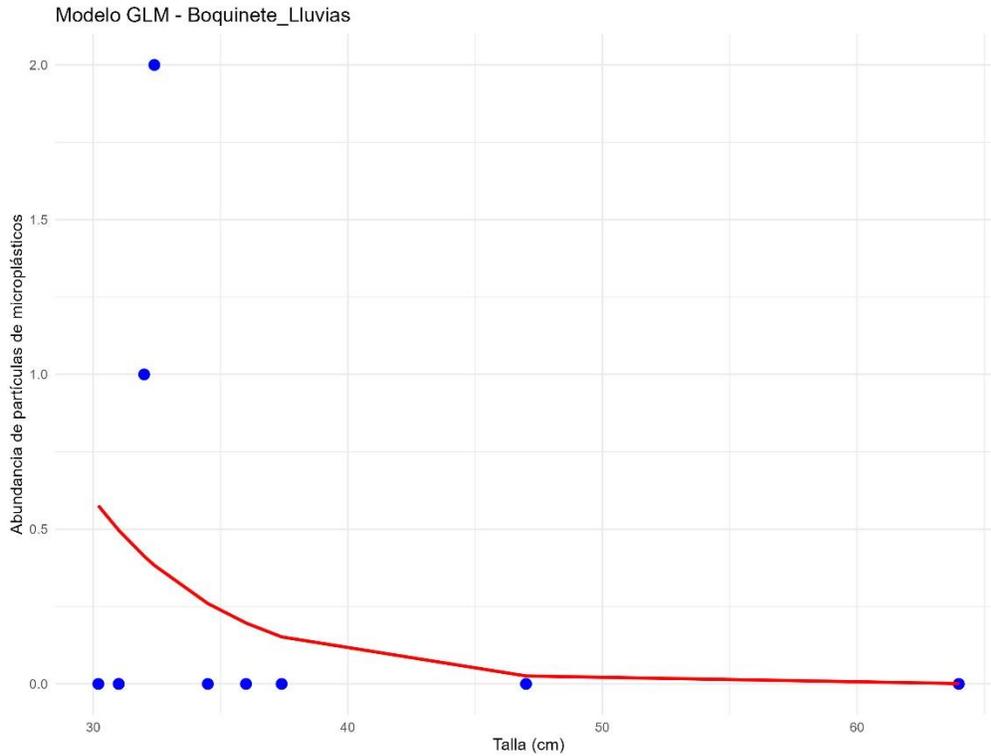


Figura 47. Modelo GLM abundancia de partículas microplásticas y talla de los organismos del boquinete. Presenta el número de partículas registradas en relación a la talla del boquinete en temporada de lluvias.

Talla	-0.18516297	0.23057112	-0.80306227	0.42193874
--------------	--------------------	-------------------	--------------------	-------------------

El valor que se obtuvo con GLM fue de 0.42193874 el cual es mayor al valor de $p < 0.05$ por lo que indica que no existe la relación entre las variables de abundancia y talla del boquinete en temporada de lluvias, sin embargo, al comparar con la temporada de secas se puede ver la diferencia de valores.

IDENTIFICACIÓN DE POLÍMEROS (peces)

La identificación de los microplásticos se realizó mediante el análisis de las bandas de los espectros de FTIR obtenidos, así como de la comparación de éstos con los reportados en la literatura reportada actualmente.

En la figura 48, se presenta el espectro (FTIR) de la microfibra transparente que fue encontrada en el contenido estomacal de la barracuda. Este espectro presentó bandas de 3350 y 2910 cm^{-1} , (figura 30) dichos estiramientos pertenecen a los enlaces de N-H y C-H, también muestra bandas de 1650 cm^{-1} , a 1540 cm^{-1} se relaciona con el carbonilo perteneciente a un grupo amida (amida I), donde se presentan las vibraciones de los estiramientos en C-N y una flexión del grupo N-H (amida II), y a 1430 cm^{-1} causado por una deformación del grupo N-H y vibración en forma de tijera de los grupos metilenos (Lee *et al.*, 2020; Fayyaz *et al.*, 2023; Rodríguez *et al.*, 2021; Peets *et al.*, 2019). Las presencias de estas bandas sugieren que el espectro que arrojó la muestra de la microfibra transparente, que es una poliamida, comúnmente conocido como NYLON. Cabe mencionar que las bandas de 1050 cm^{-1} son de las principales características de las poliamidas, aunque es probable que esto se deba a la degradación de los polímeros por acciones biológicas y físicas.

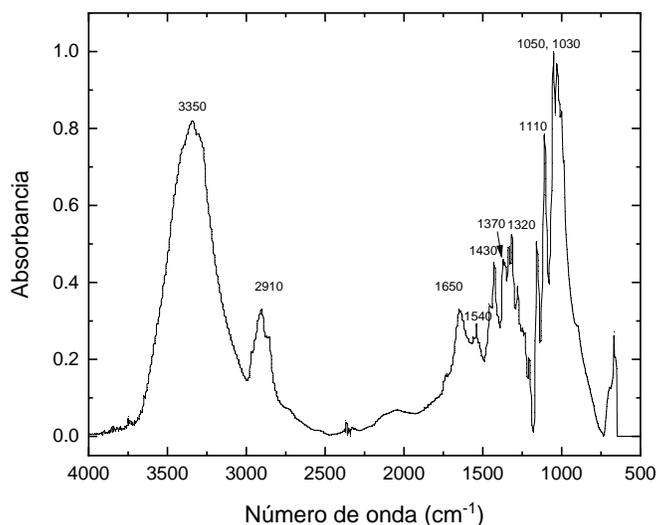


Figura 48. Espectro de FTIR de una microfibra transparente encontrada en el estómago de una barracuda (nylon).

Este espectro obtenido de una microfibras roja (figura 49) encontrada en el contenido estomacal de la barracuda, destacaron las bandas de 2937, 2242, 1735, 1456 y 1245 cm^{-1} . De acuerdo con Peet *et al.*, (2019) la fibra sintética comercial conocida comúnmente como poliacrítica o bien fibras acrílicas, están se obtienen de la copolimerización del acrilonitrilo con un monómero, por ejemplo, el acetato de vinilo (Gupta *et al.*, 2018). Entonces, las bandas de 2937 cm^{-1} pertenece al estiramiento asimétrico de los metilenos, mientras que la banda 2242 cm^{-1} se relaciona con el estiramiento del enlace $\text{C}\equiv\text{N}$. La banda de 1735 cm^{-1} corresponde al estiramiento del carbonilo del acetato de vinilo, por lo que la banda a 1456 cm^{-1} debido a una flexión de los grupos metileno y; la de 1245 cm^{-1} al estiramiento del enlace C-O del acetato (Karacan *et al.*, 2012).

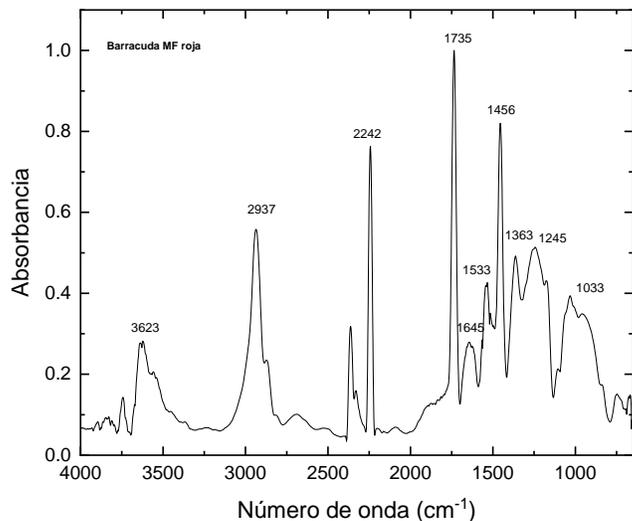


Figura 49. Espectro de FTIR de una microfibras color roja, encontrada en el estómago de una barracuda (poliacrítico).

IDENTIFICACIÓN DE POLÍMEROS (AGUA)

Temporada lluvias

El espectro (figura 50) que se obtuvo de la microfibra transparente encontrada en agua durante la temporada de lluvias, presentó una banda intensa de 3346 cm^{-1} , que se podría relacionar con el estiramiento del enlace N-H u O-H. También se aprecia la banda a 2912 cm^{-1} que pertenece al estiramiento C-H. Cabe mencionar que las bandas con más intensidad son de 1160 y 1029 cm^{-1} las cuales se relacionan con el estiramiento del enlace C-O. Este espectro también presenta bandas más pequeñas de 1732, 1643, 1594, 1508 y 1423 cm^{-1} las cuales se podrían relacionar con el éster aromático, probablemente el PET, sin embargo, el espectro también tiene una similitud con el espectro del algodón que fue reportado por Peets *et al.*, 2019.

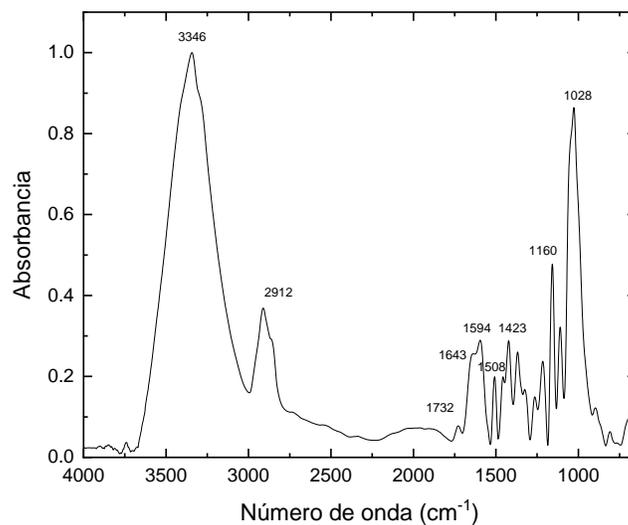


Figura 50. Espectro de FTIR de un microplástico encontrado en el agua en temporada de lluvias.

TEMPORADA SECAS

El espectro (figura 51) que se obtuvo con FTIR de la microfibra transparente encontrada en el agua en temporada de secas, presentó bandas de 3320 cm^{-1} que pertenece al estiramiento del enlace N-H, de igual manera presentó bandas a 3087, 2985 y 2858 cm^{-1} , las cuales corresponden al estiramiento asimétrico y simétrico del enlace C-H (Lee *et al.*, 2020; Fayyaz *et al.*, 2023; Rodríguez *et al.*, 2021; Peets *et al.*, 2019). El espectro también presenta bandas a 1656 cm^{-1} , que está relacionada con el carbonilo de un grupo amida (amida I); a 1554 cm^{-1} , debido a las vibraciones de estiramiento C-N y flexión del grupo N-H (amida II) y; a 1452 cm^{-1} , debido al deformación del grupo N-H y vibración en tijera de los grupos metileno (Lee *et al.*, 2020; Fayyaz *et al.*, 2023; Rodríguez *et al.*, 2021; Peets *et al.*, 2019). Todas estas bandas son muy parecidas a las exhibidas por el nylon 6,6 (una poliamida).

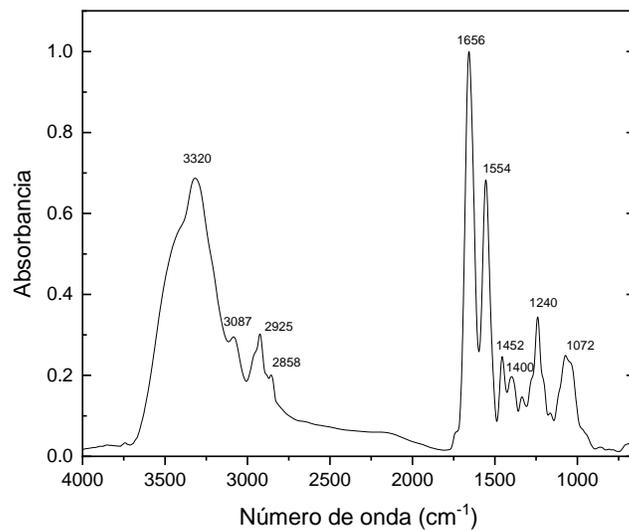


Figura 51. Espectro de FTIR de una microfibra encontrada en el agua en temporada de secas.

Con el microscopio de barrido se obtuvieron micrografías para poder observar los microplásticos que se registraron en los peces y agua. Se puede observar que las fibras (figura52) se han deteriorado, esto podría ser por las interacciones que tuvo en el medio en el que se encontraba. Las microfibras se encontraron en diferentes matrices, en contenido estomacal y agua marina. las micrografías nos sirven para observar de manera más detallada y cercana para apreciar la superficie de las partículas microplásticas, así como la obtención de información sobre la composición, tamaño y forma de los MP's.

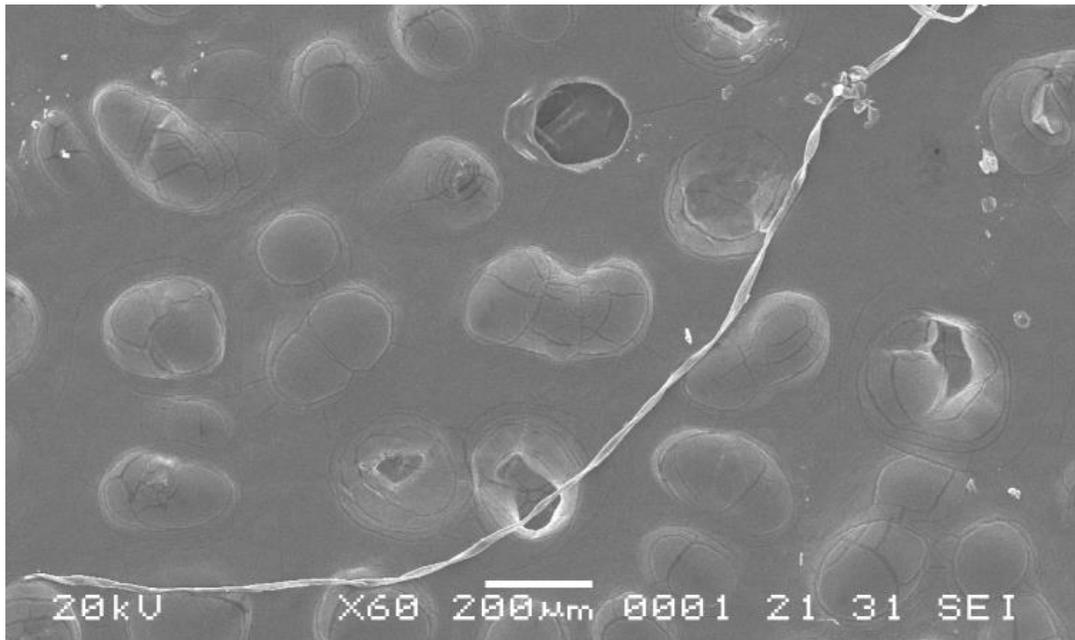
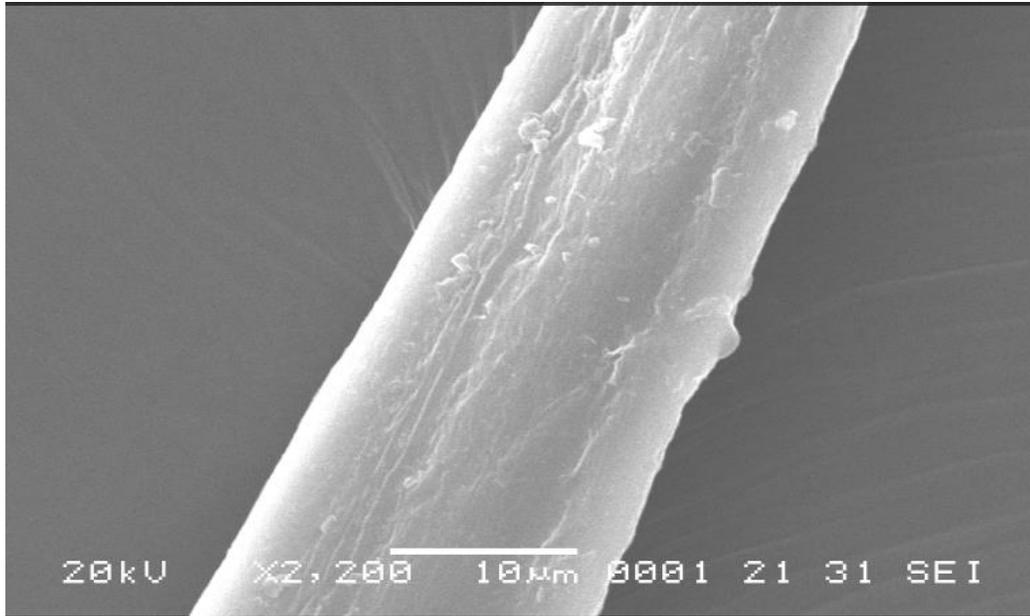
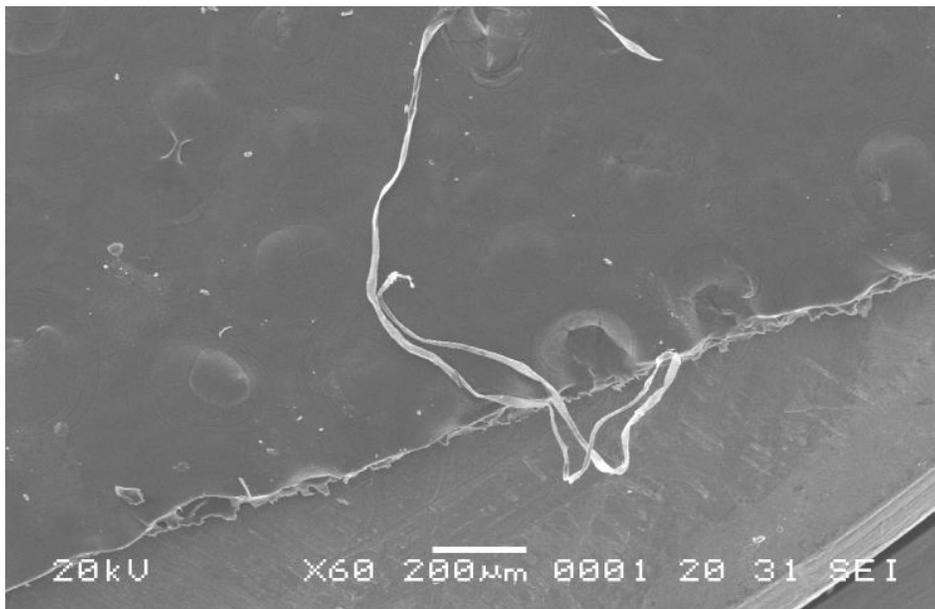


Figura 52. Micrografía de SEM de una fibra.

Realizada por Silvia Andrade CICY, 2024.

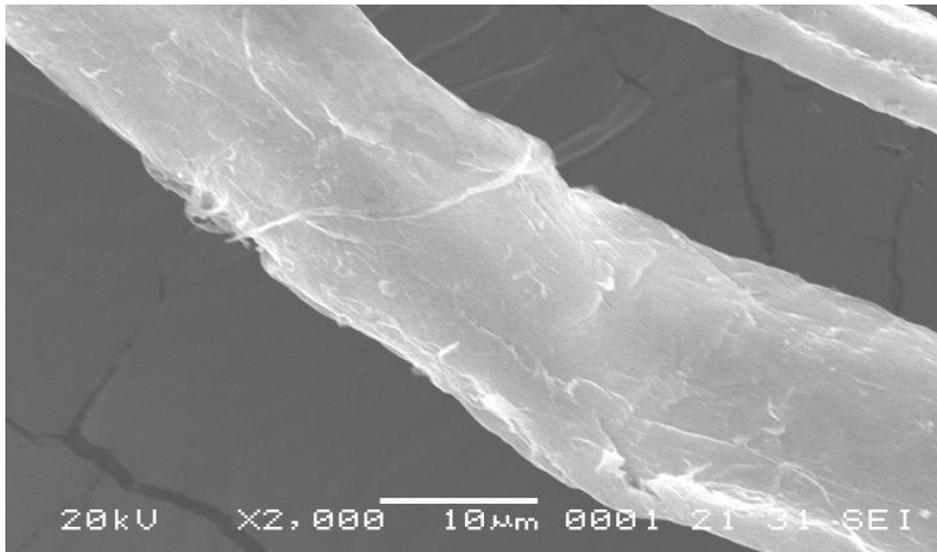


**Figura 53. Micrografía de SEM de una fibra.
Realizada por Silvia Andrade CICY, 2024.**



**Figura 54. Micrografía de SEM de una fibra.
Realizada por Silvia Andrade CICY; 2024.**

Esta micrografía fue obtenida de un microplástico (microfibra) (figura 55) se puede observar detalles que en el microscopio óptico o estereoscópico no podemos ver, como las pequeñas degradaciones que ya tiene, que ya no es al cien por ciento una fibra completa, si no que ya sufrió cambios por estar en un medio, este caso medio marino, donde hay diversos factores que fueron afectando su composición.



**Figura 55. Micrografía de SEM de una fibra.
Realizada por Silvia Andrade CICY; 2024.**

3.2 DISCUSIÓN

Este trabajo presenta el primer registro de ingesta de MPS en tres especies de peces en el norte del Caribe mexicano.

De acuerdo con los resultados que se obtuvieron, los microplásticos poco a poco se han ido sumando a la lista de “presas” de los organismos marinos, en este caso en el de los peces. Por lo que, la presencia de microplásticos en el contenido estomacal de los peces analizados, demuestra que la ingestión es uno de los principales medios por el cual tiene contacto con los microplásticos. De las tres especies que se analizaron, dos son de importancia para la pesca comercial en la zona norte de Quintana Roo, a diferencia de la barracuda que no es potencia de comercialización. El consumo de estos microplásticos se puede dar de dos formas, según Ory *et al*, 2017, menciona que existe el consumo directo e indirecto. El consumo directo puede considerarse cuando consumen a sus presas y junto a ellas se consumen otras partículas, este podría ser caso de las especies que presentaron una mayor presencia de MP's como en la barracuda, que fue una de las especies que presento una mayor cantidad de MP's y la indirecta es cuando el depredador consume partículas microplásticas a través de sus presas, las cuales podrían haber consumido MP's por confusión de presa (Cole *et al.*, 2011)

En peces comerciales han evidenciado la presencia de microplásticos en el contenido estomacal en tres especies pelágicas, pez espada (*Xiphias gladius*), atún de aleta azul (*Thunnus thynnus*) y atún blanco (*Thunnus alaluna*), en estas especies se registraron desde microplásticos hasta mesoplásticos, en donde mencionan que el atún de aleta azul especie pelágica que se alimenta de agua pocas profundas (Romeo *et al.*, 2015). Mientras tanto en las especies boquinete y pargo la cantidad de MP's registrados fue de menor cantidad, asumiendo que estas especies no están ingiriendo los MP's.

En el estudio realizado en Puerto Morelos, las principales partículas microplásticas encontradas fueron: fragmentos, gránulos y fibras. Obtuvieron un total de 1069 partículas microplásticas, estas fueron analizadas con FTIR e identificaron polímeros sintéticos en el 37% de las muestras analizadas, pero igual identificaron poliéster, acetato de etilvinilo, nailon, poliestireno, polipropileno y poliacrilato. Las principales especies de peces que tuvieron presencia de MP's fueron *Lachnolaimus maximus*, *Lutjanus vivanus* y *Lutjanus synagris*. Encontraron las 1069 piezas en 241 peces, aproximadamente 2.5 MP's por individuo (Rivera-Garibay *et al*, 2024). Mencionan

que las especies comerciales son las que tienen mayor presencia de microplásticos, sin embargo, haciendo una comparación en este estudio donde la barracuda que no es una especie comercial resultó ser la especie que tuvo un mayor registro de MP's.

Ahora bien, considerando que analizaron las muestras de MP's y obtuvieron los polímeros que conforman dichas partículas plásticas, entre ellas mencionan al nylon, el cual también se obtuvo en los espectros de FTIR de una microfibrilla obtenida del contenido estomacal de una barracuda.

Las especies que fueron analizadas en este estudio se encuentran en zonas pelágicas y bentónicas donde se alimentan de pequeños peces, crustáceos, cefalópodos los cuales con estudios han registrado que en sus estómagos se han encontrado MP's (Marcillo *et al.*, 2023), por lo tanto, las tres especies evaluadas presentaron al menos un registro de MP's en su contenido estomacal.

Los microplásticos por su densidad se pueden encontrar en todo el océano, desde la superficie, columna de agua y en la profundidad (Rocha- Santos *et al.*, 2017). En comparación con el estudio de Marcillo *et al.*, 2023, es probable que pueda influir la zona donde habitan los peces en este caso, para el boquinete que en Puerto Morelos tuvo mayor presencia de registro de MP's en su contenido estomacal, mientras que los individuos que fueron revisados de la zona de Puerto Juárez no presentaron una cantidad mayor, en este estudio fue la barracuda que tuvo un registro de MP's con mayor frecuencia.

La barracuda al ser una especie pelágica presentó mayor cantidad de MP's en comparación a las otras dos especies, una de las posibles causas es que se esté alimentando de los MP's confundiéndolos con sus presas y la segunda sería al consumir sus presas, dichas presas previamente hayan ingerido MP's. Es importante recalcar que no hay otros estudios donde la especie de la barracuda haya sido analizada, y no hay algún registro de la presencia de microplásticos en su contenido estomacal. En el caso del pargo y boquinete que son especies bentónicas tuvieron una menor cantidad de MP's en su contenido estomacal, estos se alimentan de crustáceos que en estudios anteriores registraron la presencia de microplásticos, como, por ejemplo, el camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) (Curren *et al.*, 2020).

A nivel trófico, cada especie de pez tiene un hábito alimenticio diferente. La barracuda es una especie depredadora, se encuentra en las zonas de manglar y de los arrecifes, considerando que tiene como principal alimento a los peces, crustáceos y cefalópodos (De Sylva, 1963), por lo que son carnívoros, estudios han demostrado que algunos peces y crustáceos consumen microplásticos (Lozano, 2020), por lo que pueden ser una de las causas que se haya encontrado la presencia de

microplásticos en el contenido estomacal de la barracuda. No solo se alimenta de crustáceos también de peces, las presas también pueden estar alimentándose de MP's siendo una de las fuentes indirectas de ingesta de MP's. En el caso del boquinete que es una especie bentónica tiene un hábito alimenticio carnívoro considerando que suelen alimentarse de invertebrados bentónicos, peces pequeños, cangrejos y moluscos (Randall y Warmke 1967; Muñoz *et al.*, 2010). En estudios previos han registrado la presencia de MP's en moluscos (Aguirre, 2023). Por lo tanto, que algunos individuos de la especie de *Lachonalaimus maximus* tenga presencia de microplásticos en su estómago / contenido estomacal es porque se ha estado alimentando de presas que posiblemente se alimentaron mucho antes de microplásticos, entonces los MP's llegan de manera indirecta a su estómago. El pargo con un hábito alimenticio carnívoro y es bentónica, se alimenta principalmente por crustáceos, peces pequeños, así como camarones y cefalópodos. Si tuvo presencia de MP's en su contenido estomacal, pero fue mucho menor en comparación a las especies anteriores, sin embargo, esto puede variar dependiendo de la alimentación y de que se alimente.

Para 2050, han estimado que los MP's serán más que los mismos peces que habitan el océano, por lo que otros organismos se estarán alimentando de ellos, involucrando diferentes grupos taxonómicos y niveles tróficos (FAO, 2017). Los MP's son contaminantes que permanecerán por mucho tiempo en las aguas del mar por lo que se acumularán y estarán presentes en la columna de agua, fondo marino etc., (Vancauwenberghe *et al.*, 2014; Industry Agenda, 2016). Todos los peces, sin importar su hábito de alimentación presentaron MP's en el tracto digestivo. Dos de las especies tiene un hábitat relacionado a zona bentónicas a excepción de la barracuda que es más pelágica, sin embargo, esta especie fue la que tuvo mayor presencia de MP's en el contenido estomacal. Esto podría determinar que la cantidad de MP's que fueron encontradas es a causa de la cercanía de la urbanización del sitio de estudio. De tal manera que la ingestión de MP's está relacionada con la disposición de estos en el medio marino y los factores que se ven relacionados son la distancia a la costa, la urbanización cercana, contaminación y el nivel de profundidad (Bermúdez- Guzmán *et al.*, 2020). Los peces que han estado ingiriendo MP's, a lo largo del tiempo tendrán complicaciones físicas como biológicas, puesto que la bioacumulación de estos en sus organismos genera complicaciones, desde daño en el tracto digestivo, así como el poder seguirse alimentando, causándole la muerte. Sin embargo, en otros estudios han registrado que algunas especies diferentes a los peces defecan los MP's puesto que se han encontrado presencia de microplásticos en heces fecales, contenido estomacal, branquias de distintos organismos. Baalkhuyur *et al.*, (2018) realizó

un estudio con peces comerciales y no comerciales, en donde identificaron que los peces que se encuentran en los arrecifes presentaron una mayor ingesta de MP's. otro estudio (Bessa *et al.*, 2018), menciona que en especies bentopelágicas se obtuvo una mayor ingesta de MP's, caso contrario a las especies que fueron analizadas en este estudio que presentaron menor presencia de MP's en el tracto digestivo. Cada pez tiene una estrategia de alimentación por lo tanto esta influye en la ingesta de los microplásticos. Walkinshaw *et al.*, 2020, menciona que los peces con una alimentación planctívora tienden a consumir más microplásticos en su medio a comparación de los carnívoros o piscívoros que obtienen los microplásticos a través de la llamada “trasferencia trófica” es decir a través de sus presas o como una ingestión incidental. Los MP's puede afectar a los niveles menores de la red trófica, por ejemplo, los zooplancton y plancton (Zhang *et al.*, 2017).

Ahora bien, las muestras de aguas colectadas si tuvieron registro de presencia de MP's. Los microplásticos que fueron encontrados en las muestras de agua de dos temporadas climáticas (secas lluvias) en Puerto Juárez, no muestran gran diferencia de cantidad de MP's por temporadas. Las formas principales de MP's identificados fueron fibras transparentes, negras y azules, las cuales se encontraron en todas las muestras colectadas. Además de la forma de los MP's, el color es otra característica importante. Los colores que se encontraron fueron: transparente, negro, azul, rojo, y verde. Algunas microfibras que se identificaron tenían una combinación entre color azul y transparente. Para ambas temporadas de secas y lluvias los colores predominantes fueron el color azul y negro. El color negro tuvo una presencia mayor en la temporada de secas y el color azul. El agua de mar ya se encuentra totalmente infestado de microplásticos los cuales serán difíciles de erradicar debido a su tamaño y esto va de la mano con la ingesta por parte de los peces que habitan estas aguas. Es necesario llevar acabo un monitoreo de la contaminación con microplásticos en el agua de mar, porque nos brindará más información sobre la cantidad de plásticos que están llegando y, por ende, quedan en permanencia en el mar, sin poderlos retirar.

En el Mar de Bohai de China, donde registraron un valor de 0.33 ± 0.34 MP/m³l. los principales polímeros que identificaron fueron polietileno (PE), polipropileno (PP) y poliestireno (PS). El de mayor frecuencia fue el PE de entre 1-5mm mientras que del PP fueron < 1 mm. Indagan que la presencia de estos MP's es a causa de las zonas donde a través de mecanismos de transporte, como viento y las corrientes de agua, ayudan a la dispersión de estas partículas (Zhang *et al.*, 2017).

En el Salvador al realizar un estudio de presencia de microplásticos en agua superficial de las costas, colectaron muestras durante la época de secas y lluviosas con manta trawl, realizaron tamizajes y obtuvieron 906 partículas, clasificándolas por colores, entre estos se encuentran el color negro, azul y el transparente (Barraza *et al*, 2021). Las muestras de agua que fueron colectadas en Puerto Juárez presentaron partículas de color azul, negro y trasparente, determinando que son los colores principales que destacan en el agua del mar. Las microfibras fueron las partículas con más frecuencia en todas las muestras analizadas. La presencia de los microplásticos en el agua, específicamente en este caso de mar, los MP's son muy persistentes, por lo que seguirán presentes durante mucho tiempo, mientras la población a nivel mundial siga creciendo, habrá más producción de plásticos y más contaminación a los océanos, acumulación de estas partículas microplásticas en grandes cantidades, generando consecuencias en los organismos marinos y acuáticos que lo habitan. Con este estudio se demuestra la contaminación que tienen en el tracto digestivo las especies analizadas, así como el hábitat en el que se encuentran. Los resultados obtenidos con los análisis estadísticos marco las diferencias significativas entre cada variable, por ejemplo, para la barracuda no hubo diferencias en cuanto al peso total del organismo y la temporada climática esto puede ser a causa de las temporadas marcadas que tiene en cuanto a su apareamiento y reproducción y requerimiento de recursos de alimentación. Comparando con las otras especies podemos notar que el pargo durante lluvias el peso fue mayor puesto que se encuentra en el pico de su etapa de reproducción donde necesita mayor peso y lo mismo sucede con el boquinete, sus etapas reproductivas se asocian con las temporadas climáticas de lluvias en este caso. Sin embargo, también al obtener los resultados de las cajas y bigotes se pudo apreciar que durante la temporada de lluvias fue menos la presencia de MP's en el agua, principalmente en la superficie de 3- 5mts que fue donde se colectó el agua, pensaríamos que sería más probable la mayor presencia de estas partículas, pero también puede deberse a que las corrientes son más fuertes por los vientos y con ayuda de, algunos MP's se distribuyen a otras zonas del océano, recordando que los microplásticos pueden encontrarse desde la superficie hasta las profundidades. Con los GLM se pudo tener resultados significativos los cuales, presentaron si había o no una relación entre las variables que se analizaron, principalmente peso total, peso del estómago, talla y la abundancia de los MP's durante las temporadas de secas y lluvias. En donde la barracuda en temporada de secas y de acuerdo con su peso hubo una relación entre la abundancia de MP's registradas, en comparación de las otras dos especies las cuales no hubo tal relación entre variables. Así mismo también se

presenta la relación entre la talla y la abundancia de MP's durante la temporada de secas, esto quiere decir que hubo mayor presencia de MP's en esa temporada por la cual igual las presas pudieron haberse alimentado de las partículas.

CONCLUSIONES.

De acuerdo con los resultados de esta investigación se logró confirmar la presencia de microplásticos en estas tres especies de peces de la zona norte de Quintana Roo.

Los peces han estado ingiriendo los MP's esto es independiente a su tamaño y zona en la que se encuentre. La barracuda es una de las especies con mayor presencia de partículas plásticas en su contenido estomacal. Además, por ser una especie pelágica es mucho más probable que tienda a contaminarse a través de la ingesta directa o indirecta de tales MP's. En cambio, las especies comerciales presentaron menor cantidad de MP's esto puede ser causado a la zona en la que se encuentra o donde ellos nadan y se encuentran alimento, es posible que lo que consumen no tenga en grandes cantidades MP's.

Los microplásticos más representativos fueron las microfibras de color negro, azul, rojo y transparente.

El agua de mar está contaminada totalmente de partículas microplásticas, las cuales son muy difíciles de extraer, y no solo es una zona. A nivel mundial se encuentran los parches de plásticos que son la acumulación de los microplásticos.

Es de importancia a nivel mundial el tener información más detallada de otras especies de peces, sea o no sea comercial, que se analicen para determinar si hay presencia o no de microplásticos en su contenido estomacal, esto como objetivo de saber también el grado de contaminación para los organismos marinos y de qué manera influirá en la red trófica, afectando su crecimiento, alimentación y reproducción.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbasi, S., Soltani, N., Keshavarzi, B., Moore, F., Turner, A., Hassanaghaei, M. (2018). Microplastics in different tissues of fish and prawn from the Musa Estuary, Persian Gulf. *Chem.*205:80–87. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.076>.
- Adomat, Y., Grischek, T. (2020). Sampling and processing methods of microplastics in river sediments. A review. *Sci. Environ.* 758: 143691: <https://doi.org/10.016/j.scitoenv.2020.143691>
- Alfaro-Núñez., A, Astorga, D., Cáceres- Farías, L., Bastidas, L., Soto, C., Macays, K., Christensen. J. (2021). Microplastic pollution in seawater and marine organisms across the Tropical Eastern Pacific and Galápagos. *Nat.* 11: 6424. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85939-3>
- Alomar, C., Deudero, S. (2017). Evidence of microplastic ingestion in the shark *Galeus melastomus Rafinesque, 1810* in the continental shelf off the western Mediterranean Sea. *Environ. Pollut.* :223, 223–229. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.015>
- Anderson, A., Andrady, A., Arthur, C., Baker, J., Bouwman, H., Gall, S., Hildalgo-Ruz, V., Köhler, A., Lavender-Law, K., Leslie, H.A., Kershaw, P., Pahl, S., Potemra, J., Ryan, P., Joon Shim, W., Thompson, R., Takada, H., Turra, A., Vethaak, A.D. y Wyles, K. (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. Reports and Studies GESAMP. Disponible en: https://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/pdf/GESAMP_microplastics%20full%20study.pdf
- 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
- Astorga Pérez, A., Ulate-Naranjo, K., Abarca-Guerrero, L. (2022). Presencia de microplásticos en especies marinas del Parque Nacional Marino las Baulas⁴. *Tecnología en Marcha*. Vol. 35- 2. Pp 27-38. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i2.5466>
- Avio, C.G., Gorbi, S., Milan, M., Benedetti, M., Fattorini, D., D’Errico, G; Pauletto, M; Bargelloni, L y Regoli, F. (2015). Pollutants bioavailability and toxicological risk from microplastics to marine mussels. *Environmental. Pollution.* 198: 211–222. doi: 10.1016/j.envpol.2014.12.021.

- Avio, C.G., Gorbi, S. y Regoli, F. (2016). Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat. *Marine Environmental Research*. 128. 10.1016/j.marenvres.2016.05.012.
- Barboza, L., Vieira, G.A, Guilhermino, L., (2018). Single and combined effects of microplastics and mercury on juveniles of the European seabass (*Dicentrarchus labrax*): Changes in behavioural responses and reduction of swimming velocity and resistance time. *Environ. Pollut.* 236, 1014–1019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.082>
- Barboza, L., Vethaak, A., Lavorante, B. R., Lundeye, A.K. y Guilhermino, L. (2018). Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Mar. Pollut. Bullet.* 133, 336–348.
- Barnes, D. (2005). Remote islands reveal rapid rise of southern hemisphere, sea debris. *The Scientific World Journal*. No.5: 915–921. <http://10.1100/tsw.2005.120>.
- Barnes, D.K., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaz, M.A. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Bio. Sci.* 364, 1526.
- Barraza, J., Melara, V., Cristhop, R., Hernández, A., Muñoz, R., Buscher, W., Ventura, J., Humberstone, J., Sanz, A. (2021). Microplásticos en agua superficial de la costa de El Salvador. *Realidad y reflexión*. No. 54. 140-155.
- Batel, A., Linti, F., Scherer, M. Erdinger, L., Braunbeck, Thomas. (2016). Transfer of benzo[a]pyrene from microplastics to *Artemia nauplii* and further to zebrafish via a trophic food web experiment: CYP1A induction and visual tracking of persistent organic pollutants. *Environ. Toxicol. Chem.* 35, 1656–1666
- Bergmann, M., Wirzberger, V., Krumpfen, T., Lorenz, C., Primpke, S., Tekman, M.B., Gerdt, G. (2017). High Quantities of Microplastic in Arctic Deep-Sea Sediments from the HAUSGARTEN Observatory. *Environment. Science Technology*. 51, 11000-11010. <http://10.1021/acs.est.7b03331>
- Bermúdez-Guzmán, L., Alpízar-Villalobos, C., Gatgens-García, J., Jiménez-Huezo, G., Rodríguez-Arias, M., Molina, H., Villalobos, J. (2020). Microplastic ingestion by a herring *Opisthonema* sp, in the Pacific coast of Costa Rica. *Marine Science* 38: 101367. doi: 10.1016/j.rsma.2020.101367

- Bessa, F., Barría, P., Neto, J.M., Frias, J.P.G.L., Otero, V., Sobral, P., Marques, J.C. (2018). Occurrence of microplastics in commercial fish from a natural estuarine environment. *Mar. Pollut Bull.* Vol.128 :575-584. [http://: 10.1016/j.marpolbul.2018.01.044](http://10.1016/j.marpolbul.2018.01.044).
- Bouwmeester, H., Hollman, P. C., Peters, R. J. (2015). Potential health impact of environmentally released micro- and nanoplastics in the human food production chain: Experiences from nanotoxicology. *Environ. Sci. Technol.* 49: 8932–8947. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01090>
- Cabrera, D. (2018). Determinación de la presencia de microplásticos en playas de Tenerife. Trabajo de grado. Universidad de La Laguna. España.
- Carrquiriborde-Haripse, L. (1994). Principales especies de importancia económica en la bahía de Chetumal y zonas adyacentes. En: E. Suárez-Morales (comp.), *Estudio integral de la frontera México-Belice*. CIQRO, Chetumal, 177-196.
- Castañeta, G., Gutierrez, A., Nacurette, F., Manzano C. (2020). Microplásticos: Un Contaminante Que Crece En Todas Las Esferas Ambientales, Sus Características Y Posibles Riesgos Para La Salud Pública Por Exposición. *Revista. Boletín. Química.* Vol. 37. No. 3, pp. 160-175. Universidad Mayor de San Andrés.
- Chan, H.S.H., Dingle, C. y Not, C. (2019). Evidence for non-selective ingestion of microplastic in demersal fish. *Marine Pollution. Bulletin.* 149: 110523. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110523>
- Claro, R., A. García-Cagide, y R. Fernández de Alaiza. (1989). Características biológicas del pez perro, *Lachnolaimus maximus* (Walbaum), en el Golfo de Batabanó, Cuba. *Revista Investigaciones del Mar* 10(3): 239-252
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. y Galloway, T. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Mar. Pollut Bull.* 62(12):2588–2597.
- Copello, S., Quintana, F. (2003). Marine debris ingestion by Southern Giant Petrels and its potential relationships with fisheries in the Southern Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin.* 46, 1513–1515.
- Curren, Leaw, C.P., Lim, P.T. y Leong, S.C. (2020). Evidence of Marine Los microplásticos en el comercio de mariscos cosechados. (B. 8. 562760, Ed.) *Bioeng.* doi:10.3389/fbioe.2020,562760

- Derraik, J. (2002). The Pollution of the Marine Environment by Plastic Debris: A Review. *Marine Pollution Bulletin*. 44. 842-52. [10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5).
- De Sá, L.C., Luís, L.G., Guilhermino, L. (2015). Effects of microplastics on juveniles of the common goby (*Pomatoschistus microps*): Confusion with prey, reduction of the predatory performance and efficiency, and possible influence of developmental conditions. *Environment Pollution*. 196, 359–362. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2014.10.026>
- De Sylva, D. (1963). Systematics and Life History of the Great Barracuda, *Sphyrna barracuda* (Walbaum), Institute of Marine Science. University of Miami. 179p.
- Ding, J., Sun, C., Jiang, F., Ju, P., Qu, L., Zheng, Y. y He, C. (2019). Detection of microplastics in local marine organisms using a multi-technology system. *Royal Societcity Chem*. 11, 78–87.
- Escobar, P. (2021). Análisis del impacto de los macros y microplásticos sobre La Fauna Marina: Estado del arte. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guayaquil. Ecuador.
- Espinosa, C., Esteban, M.Á. y Cuesta, A. (2016). Microplastics in Aquatic Environments and Their Toxicological Implications for Fish. *Toxicology. INTECH. New Aspects to This Scientific Conundrum*. 113-141. <http://dx.doi.org/10.5772/64815>
- FAO. (2017). Los microplásticos en los sectores de pesca y acuicultura. <https://www.fao.org/3/ca3540es/ca3540es.pdf>
- Fayyaz, A., Asghar, H., Wagas, M., Kamal, A., Al-Onazi, W., Al-Mohaimeed, A. (2023). Multi-Spectroscopic Characterization of MgO/Nylon (6/6) Polymer: Evaluating the Potential of LIBS and Statistical Methods. *Polymers* vol. 15, 3156.
- Fendall, L.S., Sewell, M.A. (2009). Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Mar. Pollut. Bull.* <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.04.025>
- Free, C.M., Jensen, O.P., Mason, S.A., Eriksen, M., Williamson, N.J., Boldgiv, B. (2014). High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Mar. Pollut. Bull.* <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.001>
- Galloway, T.S. (2015). Micro- and Nano-plastics and Human Health. In: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (eds) *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_13

- Galloway, T., Cole, M., Lewis, C. (2017). Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem. *Nat Ecol Evol*. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0116>
- Geyer, R., Jambeck, J.R y Law, K.L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.* 3 <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- GESAMP. 2016. “Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment” (Kershaw, P.J., and Rochman, C.M., eds). (IMO/FAO/UNESCOIOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 93, 220 p.
- Giménez, E., Anderes, B., Moreno, V.J. y Burgos, R. (2001). Aspectos de la conducta alimentaria del mero (*Epinephelus morio*) del Banco de Campeche. INP. SAGARPA. México. *Ciencia Pesquera* No. 15
- Góngora, J.P. (2014). La industria del plástico en México y el mundo. *Comercio Exterior*. Vol. 64, No. 5, 6-9.
- Gupta, B., Afshari, M. (2018). Polyacrylonitrile fibers (Chapter 15), In *The Textile Institute Book Series, Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres (Second Edition)*, Editor(s): Anthony R. Bunsell, Woodhead Publishing, pp. 545-593.
- Halden, R. (2010). Plastics and Health Risks. *Annual review of public health*. 31(1), 179–194. doi: 10.1146/annurev.publhealth.012809.10371
- Hall, N. M., Berry, K. L. E., Rintoul, L. y Hoogenboom, M.O. (2015). Microplastic ingestion by scleractinian corals. *Marine Biology*, 162(3), 725–732. <https://doi.org/10.1007/s00227-015-2619-7>
- Hanvey, J., Lewis, P., Lavers, J., Crosbie, N., Posa, K y Clarke, B. (2016). *Analytical Methods*. <https://doi.org/10.1039/C6AY02707E>.
- Herrera-Silveira, J.A. (1994). Nutrients from underground water discharges in a coastal lagoon (Celestun, Yucatan, Mexico). *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 25(3), 1398-1401. <https://doi.org/10.1080/03680770.1992.11900401>
- Hernández, A., Ventura, J., Muñoz, R., Humberstone, J., Christoph, R., Barraza, E. y Melara, V. (2018) Estudio de contaminación por microplásticos en el lago de Coatepeque, Santa Ana, El Salvador. *El Salvador Ciencia y Tecnología*, 23(36), 28-34. Disponible en: https://issuu.com/nuevoconacyt/docs/revista_escyt_articulos_2018_6

<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM23quintanaroo/regionalizacion.html>

Jambeck, J., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T., Perryman, M., Andrady, T., Nayaran, R., Lavender, K. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*. 327:768-761
<https://doi.org/10.1126/science.126035>.

Julia Smit, M. (2020). Estudio de la ingesta de microplásticos en doradas expuestas a una dieta enriquecida con plásticos (Tesis de Licenciatura, Universidad de les Illes Balears, Facultad de Ciencias) Repositorio Institucional.

Jung, M.R., Horgen, F.D., Orski, S.V., Rodriguez C, V., Beers, K.L., Balazs, G.H., Jones, T. T., Work, T.M., Brignac, K.C., Royer, S.J., Hyrenbach, K.D., Jensen, B.A., Lynch, J. M., (2018). Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms. *Marine Pollution Bulletin*. 127, 704–716.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.061>

Karacan, I., Erdogan, G. (2012). The influence of thermal stabilization stage on the molecular structure of polyacrylonitrile fibers prior to the carbonization stage. *Fibers and Polymers*. Vol.13, No.3, pp. 295-302.

Law, K., Moret-Ferguson, S., Maximenko, N., Proskurowski, G., Peacock, E., Hafner, J., Reddy, C.M. (2010). Plastic accumulation in the North Atlantic sub-tropical Gyre. *Science*.
<https://doi.org/10.1126/science.119232>

Lebreton, L.C.M., Van der Zwet, J., Damsteeg, J.W., Slat, B., Andrady, A. y Reisser, J. (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Commun* 8: 15611. doi:10.1038/ncomms15611

Lee, J., Busquets, R., Choi, I., Lee, S., Kim, J., Campos, L. (2020). Photocatalytic Degradation of Polyamide 66; Evaluating the Feasibility of Photocatalysis as a Microfibre-Targeting Technology. *Water*,12, 3551.

Lenz, R., Enders, K., Stedman, C. A., Mackenzie, D.M.A. y Nielsen, T.G. (2015). Acritical assessment of visual identification of marine microplastic using Raman spectroscopy for analysis improvement. *Marine Pollution Bulletin* <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.09.026>.

- Li, C., Zhu, L., Wang, X., Liu, K., Li D. (2022). Cross-oceanic distribution and origin of microplastics in the subsurface water of the South China Sea and Eastern Indian Ocean. *Sci. Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150243>.
- Loder, M.G.J., Kuczera, M., Mintenig, S., Lorenz, C., Gerdtts, G. (2015). Focal plane array detector-based micro – Fourier transform infrared imaging for the analysis of microplastics in environmental samples. *Environ. Chem.* <https://doi.org/10.1071/EN14205>.
- Lozano, E. (2020). Cuantificación y caracterización de microplásticos presentes en el ostión de cultivo *Crassostrea gigas* En Bahía De Todos Santos y Bahía San Quintín. Tesis de Maestría. Ensenada B.C., México
- Macías, N. (2022). Presencia de microplásticos en peces pelágicos pequeños, *Auxis thazard* y *Scomber japonicus*, en el puerto pesquero de la ciudad de manta, provincia de Manabí-Ecuador. Tesis de Licenciatura, UPSE, Ecuador.
- Maes, T., Van der Meulen, M.D., Devriese, L.I., Leslie, H.A., Huvet, A., Frére, L., Robbens, J., Vethaak, A.D. (2017). Microplastic baseline surveys at the wáter surface and sediments of the North-East Atlantic. *Front. Mar. Sci.* <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00135>
- Masura, J., Baker, J., Foster, G. y Arthur, C. (2015). Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum.
- Messias, M.A., Alves, T.I., Melo, C.M., Lima, M., Rivera-Rebella, C., Rodrigues, D. F. y Madi, R.R. (2019). Ethnoecology of Lutjanidae (snappers) in communities of artisanal fisheries in northeast Brazil. *Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104866>
- Mintenig, S.M., Loder, M.G.J., Primpke, S. y Gerdtts, G. (2019). Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground wáter sources. *Science Environment* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.178>
- Moore, C.J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environ Res.* <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.07.025>
- Munno, K., Helm, P., Rochman, C., George, T., Jackson, D.A. (2021). Microplastic contamination in Great Lakes fish. *Conserv. Biol.* <https://doi.org/10.1002/cobi.13794>.

- Munro, J.L. (Ed.). (1983). Caribbean coral reef fishery resources (Vol. 7). WorldFish.
- Nelms, S.E., Galloway, T.S., Godley, B.J., Jarvis, D.S., Lindeque, P.K., (2018). Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. *Environment Pollution*. 238, 999–1007. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.016>.
- Nelson, J.S. (2007). *Fishes of the World*. 3rd Edition. United States: Wiley. 425 p.
- Obbard, R.W. (2018). Microplastics in polar regions: The role of long range transport. *Environ. Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.10.004>
- Pattira, K. y Wipavee, T. (2020). Microplastics Ingestion by Freshwater Fish in the Chi River, Thailand. *International Journal of GEOMATE*. <https://doi.org/10.21660/2020.67.9110>
- Plastics Europe Plastics-the Facts. (2020). An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data. 2020, p. 44. Available online: <http://www.Plast.org> (acceso 22 marzo 2022).
- Pereiras, M. (2019). Contaminación marina por plásticos. Tesis de licenciatura. Universidad Da Coruña. España.
- Peets, P., Kauprmees, K., Vahur, S., Leito, I. (2019). FT-IR spectroscopy as a viable option for textile fiber identification. *Heritage Science* Vol. 7 pp. 93.
- Pivokonsky, M., Cermakova, L., Novotna, K., Peer, P., Cajthaml, T. y Janda, V. (2018). Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water. *Science Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.102>.
- Pozo, K., Gómez, V., Torres, M., Núñez, D., Oyarzun, P., Mendoza, G., Clarke, B., Fossi, M., Bains, M., Příbylová, P. y Klanova, J. (2019). Presence and characterization of microplastics in fish of commercial importance from the Biobío region in central Chile. *Mar. Pollut. Bull.* <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.025>
- Ramírez-Álvarez, Nancy., Ríos, L., Macías-Zamora, J., Oregel-Vázquez, L., Álvarez-Aguilar, A., Hernández-Guzmán, F., Sánchez-Osorio, J., Moore, C., Silva-Jiménez, H., Navarro Olache, L. (2019). Microplastics: Sources and Distribution in Surface Waters and Sediments of Todos Santos Bay, Mexico. *Sci. Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134838>.

- Randall, J.E. (1996). Caribbean Reef Fishes, Third Edition - revised and enlarged. T.F.H. Publications, Inc. Ltd., Hong Kong. 368 pp.
- Randall, J. E. y Warmke, G.L. (1967). The food habits of the hogfish (*Lachnolaimus maximus*), a labrid fish from the Western Atlantic. Caribb. Journal Science. 7: 141–144
- Reyes-Bonilla, H., Alvarez-Filip, L., Rivera, O., Pérez, H; Santillo, D., Olivera-Bonilla, A., Pérez-Cervantes, E. y Rivas-Soto, M. (2019). Estudio sobre el impacto de la contaminación por microplásticos en peces de México. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31686.63049>
- Rivera-Garibay, O., Méndez, M., Torres, E., Rivas, M., Santillo, D. y Álvarez, L. (2024). Presence of microplastic in target species of small scale fisheries and possible social implications on the local communities. Marine Biology. 171:78 <https://doi.org/10.1007/s00227-024-04399-1>
- Robertson, D.R y Allen, G.R. (2015). Peces Costeros del Pacifico Oriental Tropical: Sistema de Información en Línea. Versión 2.0 Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa, Republica de Panamá. <https://biogeodb.stri.si.edu/sfstep/es/pages>. Consultado el 12 de agosto del 2022.
- Rocha-Santos, T. y Duarte, A.C. (2017). Characterization and Analysis of Microplastics. En D. Barceló (Ed.), Comprehensive Analytical Chemistry (Vol. 75). <https://doi.org/10.1002/macp.200800286>
- Rochman, C.M., Brown, M.A., Underwood, A.J., van Franeker, J.A., Thompson, R.C. y Amaral-Zettler, L.A. (2016). The ecological impacts of marine debris: Unraveling the demonstrated evidence from what is perceived. Ecol. <https://doi.org/10.1890/14-2070.1>
- Rochman, C., Browne, M., Halpern, B., Hentschel, B., Hoh, Eunha., Karapanagioti, H., Ríos-Mendoza, Takada, G., Teh, S. y Thompson, R. (2013). Classify plastic waste as hazardous. Nat. 494, 169–171.
- Rodríguez, M., Vázquez-Vélez, E., Martínez., H., Torres, A. (2021). Superficial Surface treatment using atmospheric plasma on recycled nylon 6,6. Journal Nuclear Physics Material Science. Vol. 8, No. 2, pp.191–196.
- Sánchez, M.E., Rangel, N.C., Beltrán, M., Vázquez, A. y Alvarez, J.C. (2016), Separación y caracterización de micro-plásticos en playas mexicanas, Encuentro de expertos en residuos sólidos:

Los residuos sólidos como fuente de materiales y energía. Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos A.C. Universidad Autónoma de Querétaro, 27-33.

Sánchez, L. (2018). Evaluación de la presencia de microplásticos en peces comerciales, agua y sedimento del estuario de Tecolutla, Veracruz. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 88pp.

Saint Petersburg State University. (2012). FT-IR spectrometer Nicolet 8700 (Thermo Scientific). <https://laser.spbu.ru/en/equipment-eng/nicolet8700-eng.html>. Consultado el 3 de noviembre del 2022.

Sarria-Villa, R.A y Gallo-Corredor, J.A. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencias e Ingeniería*. 8 (1): 21-27, 2016. ISSN 2145-2628.

Savoca, S. Capillo, G., Mancuso, M., Bottari, T., Crupi, R., Branca, C., Romano, V., Faggio, C., D'Angelo, G. y Spanò, N. (2019). Microplastics occurrence in the Tyrrhenian waters and in the gastrointestinal tract of two congener species of seabreams, *Environmental Toxicology and Pharmacology*. (67): 35-41. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.01.011>.

Savoca, S., McInturf, A.G. y Hazen, E.L. (2021). Plastic ingestion by marine fish is widespread and increasing. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.15533>

STAP. (2011). Marine Debris as a Global Environmental Problem: Introducing a solutions based framework focused on plastic. A STAP Information Document. Global Environment Facility, Washington, DC.

SEMAR. (s/a). CANCÚN, Q. ROO – DIGAOHM. (acceso 27 de octubre del 2022). <https://digaohm.semar.gob.mx/derrotero/cuestionarios/cnarioCancun.pdf>

SEMAR. (s/a). PUERTO MORELOS, Q. ROO - DIGAOHM. (acceso 27 de octubre del 2022). <https://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioPtomorelos.pdf>

Sequeira, I.F., Prata, J.C., Da Costa, J.P., Duarte, A.C. y Rocha-Santos, T. (2020). Worldwide contamination of fish with microplastics: a brief global overview. *Mar. Pollut. Bull.* <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020>.

- Schmidt, C., Krauth, T. Wagner, S. (2017). Export of plastic debris by rivers into the sea. *Environ. Sci. Technol.* <https://doi.org/doi: 10.1021/acs.est.7b02368>
- Smith, M., Love, D.C., Rochman, C. M. y Neff, R.A. (2018). Microplastics in seafood and the implications for human health. *Curr Environ Health Rep.* <https://doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z>.
- Seltenrich, N. (2015). New link in the food chain? Marine plastic pollution and seafood safety. *Environ. health persp.* <https://doi.org/10.1289/ehp.123-A34>
- Soledad, R. (2021). Estudio de microplásticos en la columna de agua, sedimento intermareal y biota residente en la costa del estuario del Río de la Plata (Franja Costera Sur). Tesis de doctorado. Ciencias Naturales. UNLP. Argentina.
- Suaría, G, Achtypi, A, Perold, V., Lee, J.R., Pierucci, A, Bornman, T.G., Aliani, S, Ryan, P.G. (2020). Microfibers in oceanic surface waters: A global characterization. *Science Advance.* Jun 5;6(23). doi: 10.1126/sciadv. aay8493.
- Sylvestre, S., Sebastian, S., Edwin, M., Amalanathan, S., Ayyapan, T., Jayavarthanam, K., Oudayakumar, S. Solomon. (2014). Vibrational spectra (FT-IR and FT-Raman), molecular structure, natural bond orbital, and TD-DFT analysis of L-Asparagine Monohydrate by Density Functional Theory approach, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, Vol. 133pp. 190-200.
- Tanaka, K. y Takada, H. (2016). Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters. *Sci. Rep.* <https://doi.org/10.1038/srep34351>
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G. (2004). Lost at sea: where is all the plastic? *Sci.* <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
- Ulibarri, A. H. (2021). *El Espectador*. En 2020 en el mundo se produjo un poco menos de plástico: <https://www.elespectador.com/ambiente/en-2020-en-el-mundo-se-produjo-un-poco-menos-de-plastico/>
- UNEP. (2016). Marine plastic debris and microplastics. Global lessons and research to inspire action and guide policy change. Nairobi, Kenia: wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7720/Marine_plastic_debris_and_microplastics_Global_lessons_and_research_to_inspire_action_and_guide_policy_change-

2016Marine_Plastic_Debris_and_Micropla.pdf? sequence=3& is Allowed=. Consultado el 22 de marzo del 2022.

Van Cauwenberghe, L., M. Claessens, M. B. Vandegehuchte y C. R. Janssen. (2015). Microplastics are taken up by mussels (*Mytilus edulis*) and lugworms (*Arenicola marina*) living in natural habitats. *Environmental Pollution*, 199: 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.01.008>

Walkinshaw, C., Lindeque, P.K., Thompson, R., Tolhurst, T., Cole, M. (2020). Microplastics and seafood: lower trophic organisms at highest risk of contamination. *Ecotoxicol Environ Saf* 190:110066. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110066>

Wang, J., Tan, Z., Peng, J., Qiu, Q. y Li, M. (2016). The behaviors of microplastics in the marine environment. *Marine Environment Res.* <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.10.014>.

Wei, L; Wang, D; Aierken, R; Wu, F; Dai, Y; Wang, X; Fang, C; Zhao, L; Zhen, Y. (2022). The prevalence and potential implications of microplastic contamination in marine fishes from Xiamen Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*. 174. 113306. [10.1016/j.marpolbul.2021.113306](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113306). WHO (2019) Microplastics in Drinking Water. World Health Organization report. Switzerland. Available from: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/326499/9789241516198-eng.pdf?ua=1>. Consultado: 20 de abril de 2022.

Woodall, L.C., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., Paterson, G.L., Coppock, R., Sleight, V., Calafat, A., Rogers, D.A., Narayanaswamy, E.B., Thompson, R.C. (2014) The deep sea is a major sink for microplastic debris. *R.Soc. Open. Sci.* <https://doi.org/10.1098/rsos.140317>.

Wootton, N., Reis-Santos, P., Dowsett, N., Turnbull, A., Gillanders, B. (2021). Low abundance of microplastics in commercially caught fish across southern Australia. *Environ. Pollut.* <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.110066>

Wright, S.L., Kelly, F.J. (2017). Plastic and human health: ¿a micro issue? *Environ. Sci. Technol.* <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00423>

Zhang, C., Xiaohua, C., Jiangtao, W. y Liju, T. (2017) 'Toxic effects of microplastic on marine microalgae *Skeletonema costatum*: Interactions between microplastic and algae', *Environmental Pollution*. Elsevier Ltd, 220, pp.1282–1288. doi: [10.1016/j.envpol.2016.11.005](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.005).