

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIA MARINAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS



**CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE
MICROPLÁSTICOS PRESENTES EN EL OSTIÓN DE
CULTIVO *CRASSOSTREA GIGAS* EN BAHÍA DE TODOS
SANTOS Y BAHÍA SAN QUINTÍN**

TESIS

**QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS PARA
OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

PRESENTA:

EDUARDO A. LOZANO HERNÁNDEZ

Ensenada B.C., México, agosto de 2020

Resumen

En este trabajo se determinó la presencia de MPs en el ostión de cultivo *Crassostrea gigas* en Bahía de Todos Santos (BTS) y Bahía San Quintín (BSQ). Se analizaron por triplicado ($n = 15$) ostiones de talla comercial (> 6 cm) en invierno y verano, provenientes de dos empresas acuícolas en BTS y de seis en BSQ. Las partículas halladas estuvieron compuestas por microfibras y solo una pequeña fracción por fragmentos (6.7 %) y fueron analizadas por medio de FTIR-ATR para determinar su composición química. Se encontraron MPs en todas las muestras de los sitios examinados. Se evaluaron diferencias espacio-temporales en la concentración de MPs y se determinó la existencia de diferencias significativas en la concentración promedio de MPs en tejido (MPs-T) entre invierno y verano de los organismos cultivados en BTS ($n = 6$) (t-Student; $P = 0.008$) y BSQ ($n = 18$) (U Mann-Whitney; $P = 0.035$), con las mayores concentraciones en invierno. Entre bahías, durante invierno se presentaron diferencias significativas en la concentración promedio de MPs-T (t-Student; $P = 0.011$), con la mayor concentración en organismos de BTS ($n = 6$) con 0.066 ± 0.027 MPs g^{-1} de tejido fresco (TF). Los ostiones del sitio BTS2 en invierno presentaron la mayor concentración promedio de MPs-T con 0.075 ± 0.016 MPs g^{-1} TF. Se comparó el contenido de MPs entre el sistema digestivo y el resto del tejido blando en organismos de cada sitio en verano y solo se encontraron diferencias significativas en los organismos de BSQ6 (t-student; $P = 0.006$). La mayor concentración fue encontrada en el tejido blando de los organismos de BTS2 con 0.378 ± 0.139 MPs g^{-1} TF. Los principales polímeros sintéticos encontrados fueron poliéster, poliacrilonitrilo y rayón como polímero semisintético. Además, se encontró polietileno, polipropileno, poliestireno, nylon y T. elastómero. Se estableció que debido a la concentración de MPs encontrada en los ostiones analizados, su consumo no representa un riesgo para la salud humana. Además, que la concentración de MPs en los organismos, responde a distintas variables como la temporalidad, la dinámica de circulación dentro de las bahías y de la presión poblacional existente.

Palabras clave: *Microplásticos, Ostión, Riesgo humano, FTIR-ATR,*

**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS
POSGRADO EN OCEANOGRAFÍA COSTERA**

**CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE
MICROPLÁSTICOS PRESENTES EN EL OSTIÓN DE
CULTIVO *CRASSOSTREA GIGAS* EN BAHÍA DE TODOS SANTOS
Y BAHÍA SAN QUINTÍN**

TESIS

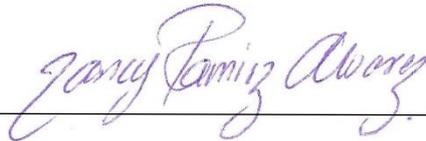
Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

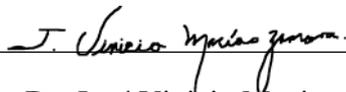
EDUARDO ANTONIO LOZANO HERNÁNDEZ

APROBADA POR:



Dra. Nancy Ramírez Álvarez

Directora de tesis



Dr. José Vinicio Macías

Zamora

Sinodal



Dra. Lorena M. Ríos

Mendoza

Sinodal

Agosto de 2020

Dedicatoria

A mi madre, mi padre y mis hermanas
por siempre apoyarme...

Agradecimientos

A mi directora de tesis la Dra. Nancy Ramírez Álvarez, por aceptarme dentro del proyecto, por su orientación, por brindarme todo su apoyo, sus consejos y por siempre estar al pendiente.

A mi sinodal el Dr. J. Vinicio Macias Zamora por sus consejos, comentarios, sugerencias, sus historias, por compartir su conocimiento y por motivarme a seguir investigando.

A mi sinodal la Dra. Lorena M. Ríos Mendoza por permitirme realizar una estancia de investigación en la UW-Superior, por su ayuda, sus ideas, por brindarme todas las facilidades para realizar este estudio y enseñarme nuevas técnicas de análisis. A José porque sin él no hubiera sido posible terminar esta investigación a tiempo y a los dos por hacerme sentir como en casa.

Al Dr. Félix A. Hernández Guzmán por todas sus ideas, su apoyo y estar siempre dispuesto a ayudar.

Al Dr. José Luis Sánchez Osorio por brindar todas las facilidades para realizar esta investigación.

Al Dr. Adán Mejía Trejo por su tiempo, sus consejos y su apoyo.

A todo el equipo del laboratorio Cristina, Mariana y en especial a Claudia por su amistad y ayuda.

Al proyecto SEP-CONACYT No. 11521 “Fuentes, concentraciones, impactos y destinos de microplásticos en dos bahías de Baja California, México” del cual forma parte esta investigación.

A todos mis compañeros del posgrado por toda su ayuda y buenos momentos.

A Itzel por acompañarme y compartir en todo momento sus conocimientos.

A Cecilia por ayudarme siempre.

Y a todos los que hicieron posible esta investigación.

Contenido

ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. TIPOS DE PLÁSTICOS	1
1.2. MICROPLÁSTICOS	2
1.3. MICROPLÁSTICOS EN LA CADENA TRÓFICA.....	4
1.4. PRESENCIA Y EFECTO DE MICROPLÁSTICOS EN MOLUSCOS BIVALVOS.....	4
1.5. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE <i>CRASSOSTREA GIGAS</i>	5
1.6. IMPORTANCIA DEL OSTIÓN <i>CRASSOSTREA GIGAS</i> EN LA ACUACULTURA	5
2. JUSTIFICACIÓN	6
3. HIPÓTESIS	6
4. OBJETIVOS.....	7
4.1. GENERAL.....	7
4.2. ESPECÍFICOS.....	7
5. MATERIALES Y MÉTODOS	8
5.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	8
5.2. OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS.....	9
5.3. PREVENCIÓN DE CONTAMINACIÓN EN LABORATORIO.....	12
5.4. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS	13
5.5. DIGESTIÓN DE LAS MUESTRAS BILÓGICAS	14
5.6. CUANTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS.....	16
5.7. CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS	17
6. RESULTADOS.....	20

6.1. MICROPLÁSTICOS EN OSTIONES CULTIVADOS EN BAHÍA DE TODOS SANTOS	21
6.2. MICROPLÁSTICOS EN OSTIONES CULTIVADOS EN BAHÍA SAN QUINTÍN	27
6.3 COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE MPS ENTRE OSTIONES DE BTS Y BSQ.....	37
6.4 COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE MPS ENTRE EL MUSCULO Y EL SISTEMA DIGESTIVO DE LOS OSTIONES DEL MUESTREO DE VERANO EN BTS Y BSQ.....	38
6.5 ANALISIS DE LAS ARTES UTILIZADAS PARA EL CULTIVO DE OSTION EN BTS Y BSQ.....	39
7. DISCUSIÓN	39
7.1 COMPARACIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE MPS DE OSTIONES DE BTS Y BSQ CON OTROS SITIOS	39
7.2 DIFERENCIAS ESPACIALES Y TEMPORALES EN LA CONCENTRACIÓN DE MPS.....	42
7.3 TIPOS DE POLÍMEROS ENCONTRADOS EN BTS Y BSQ	44
7.4 FUENTES Y TIPOS DE POLÍMEROS SINTÉTICOS DE LOS MPS.....	46
8. CONCLUSIÓN.....	49
LITERATURA CITADA.....	49
ANEXOS	55

Índice de figuras

Figura 1. Sitios de muestreo en Bahía San Quintín.	10
Figura 2. Sitios de Muestreo en Bahía San Quintín.....	10
Figura 3. Muestra de ostión <i>Crassostrea gigas</i> proporcionada por los productores.	11
Figura 4. Cuerdas utilizadas en el cultivo de ostión en BTS1 (PP: polipropileno; HDPE: polietileno de alta densidad).....	11
Figura 5. Cuerdas, mallas y cintas utilizadas en el cultivo de ostión en BTS2 (PP: polipropileno; LDPE: polietileno de baja densidad; HDPE: polietileno de alta densidad; PVC: cloruro de polivinilo; PE: polietileno; * Copolímero).....	12
Figura 6. Cuerdas, malla y cintas utilizadas en el cultivo de ostión en BSQ (PE: polietileno; HDPE: polietileno de alta densidad; PP: polipropileno; PA: poliamida)	12
Figura 7. Equipo utilizado para realizar la biometría y disección de los organismos, se cubrieron con aluminio todos los objetos plásticos posibles.....	14
Figura 8. Muestras de ostión durante el primer día de adición de KOH al 30% (m/v) y H ₂ O ₂ al 30% (v/v).	15
Figura 9. Muestras de ostión en proceso de digestión en baño maría y con agitación constante.....	15
Figura 10. Cabina de cristal con el equipo de filtración al vacío utilizado para el proceso de filtración de las muestras.	16
Figura 11. Microscopio estereoscópico Olympus SZX7 (70X) dentro de una cabina de cristal, utilizado para la cuantificación de MPs.....	17
Figura 12. Equipo Nicolet™ iN™10 de espectroscopía infrarroja por Transformadas de Fourier.....	18

Figura 13. Pellets vírgenes utilizados para ampliar la biblioteca de polímeros sintéticos.	18
Figura 14. Fibras y fragmentos de polímeros sintéticos y semisintéticos que se encontraron con mayor frecuencia en los ostiones analizados. A) Polietileno de alta densidad, B) Copolímero de poliacrilonitrilo, C) Rayón y D) Polietileno de alta densidad.....	20
Figura 15. Concentración promedio (n=6) de MPs totales (tejido y líquido intervalvar) y MPs en tejido de ostiones durante invierno (INV) y verano (VER) en BTS.	22
Figura 16. Concentración promedio de MPs totales (tejido y líquido intervalvar) (n = 3) como fibras (FIT) y fragmentos (FRT) y concentración promedio de MPs como fibras (FI) y fragmentos (FR) encontrados solo en tejido de ostiones de BTS1 y BTS2 durante invierno (INV) y verano (VER).	23
Figura 17. En el eje izquierdo se muestra la concentración promedio de MPs totales (tejido y líquido intervalvar) en ostiones de BTS1 y BTS2 durante las dos temporadas de muestreo. En el eje derecho los círculos indican los MPs totales promedio (TL) por 100 g de tejido fresco, mientras que los triángulos (T) muestran el contenido promedio de MPs en el tejido por cada 100g de TF.	24
Figura 18. Polímeros sintéticos y semisintéticos encontrados en tejido (T) y líquido intervalvar (L) de ostiones de BTS en invierno (INV) y verano (VER).....	25
Figura 19. Composición de colores de los MPs encontrados en tejido (T) y líquido intervalvar (L) en ostiones de BTS en invierno (INV) y verano (VER).....	26
Figura 20. Clasificación por tamaños de las fibras (FI) y fragmentos (FR) de los MPs encontrados en tejido de ostiones de BTS1 y BTS2 en invierno (INV) y verano (VER).....	26
Figura 21. Clasificación por tamaños de las fibras (FI) y fragmentos (FR) de los MPs encontrados en líquido intervalvar de ostiones de BTS1 y BTS2 en invierno (INV) y verano (VER).	27

- Figura 22. Concentración promedio de MPs totales (tejido y liquido intervalvar) y MPs en tejido de ostiones durante invierno (INV) y verano (VER) en BSQ. 29
- Figura 23. Concentración promedio de MPs totales (tejido y liquido intervalvar) (n = 3) como fibras (FIT) y fragmentos (FRT) y concentración promedio de MPs como fibras (FI) y fragmentos (FR) encontrados solo en tejido de ostiones de BSQ en invierno. 29
- Figura 24. Concentración promedio de MPs totales (tejido y liquido intervalvar) (n = 3) como fibras (FIT) y fragmentos (FRT) y concentración promedio de MPs como fibras (FI) y fragmentos (FR) encontrados solo en tejido de ostiones de BSQ en verano..... 30
- Figura 25. En el eje izquierdo se muestra la concentración promedio de MPs totales (tejido y liquido intervalvar) en ostiones de BSQ durante las dos temporadas de muestreo. En el eje derecho los círculos indican los MPs promedio totales (TL) por 100 g de tejido fresco, mientras que los triángulos (T) muestran el contenido promedio total de MPs únicamente en el tejido por cada 100g de TF..... 31
- Figura 26. Proporción de polímeros sintéticos y semisintéticos encontrados en tejido de ostiones de BSQ en invierno (INV) y verano (VER). 32
- Figura 27. Proporción de polímeros sintéticos y semisintéticos encontrados en liquido intervalvar de ostiones de BSQ en invierno (INV) y verano (VER). 33
- Figura 28. Composición de colores de los MPs encontrados en tejido de ostiones de BSQ en invierno (INV) y verano (VER). 34
- Figura 29. Composición de colores de los MPs encontrados en liquido intervalvar de ostiones de BSQ en invierno (INV) y verano (VER). 34
- Figura 30. Clasificación por tamaños de las fibras de MPs encontrados en tejido en invierno (INV) y verano (VER). 35

Figura 31. Clasificación por tamaños de los fragmentos de MPs encontrados en tejido en invierno (INV) y verano (VER).	35
Figura 32. Clasificación por tamaños de las fibras de MPs encontrados en líquido intervalvar en invierno (INV) y verano (VER).	36
Figura 33. Clasificación por tamaños de los fragmentos de MPs encontrados en líquido intervalvar en invierno (INV) y verano (VER).	36
Figura 34. Concentración promedio de MPs totales en los ostiones analizados de BTS y BSQ.....	37
Figura 35. Concentración promedio (n = 3) de MPs en el sistema digestivo y gonada (SD) y el resto del tejido blando (TEJ) de ostiones de BTS y BSQ durante verano.	38
Figura 36. Proporción de polímeros totales (tejido y líquido intervalvar) encontrados como fibras (Fi) y fragmentos (FR) en ostiones de BTS en invierno (INV) y verano (VER).....	45
Figura 37. Proporción de polímeros totales (tejido y líquido intervalvar) encontrados como fibras (F) y fragmentos (f) en ostiones de BSQ en invierno (I) y verano (V).....	46

Índice de tablas

Tabla 1. Principales polímeros reportados en ambientes marinos, aplicaciones comunes y su densidad. Tomado de GESAMP, (2015); Wang et al., (2016).....	3
Tabla 2. Coordenadas de los sitios de muestreo en Bahía San Quintín.	9
Tabla 3. Coordenadas de los sitios de muestreo en Bahía de Todos Santos.	10
Tabla 4. Total de partículas clasificadas como posibles MPs encontradas en los ostiones de BTS y BSQ, total de partículas analizadas, y validadas como MPs por FTIR-ATR, así como el porcentaje de MPs y no MPs encontrados en las muestras. 19	
Tabla 5. Peso húmedo (g) de cada submuestra de ostiones (n = 15), cantidad de MPs totales (tejido y liquido intervalvar) y MPs en tejido de los organismos de BTS1 y BTS2 durante invierno y verano.	21
Tabla 6. Concentración promedio (MPs g ⁻¹ TF ± D.S.) (n = 3) de MPs totales y MPs en el tejido de los ostiones de BTS en invierno y verano.	23
Tabla 7. Peso húmedo (g) de cada submuestra de ostiones (n = 15), cantidad de MPs totales (tejido y liquido intervalvar) y MPs en tejido de los organismos de BSQ durante invierno y verano.	28
Tabla 8. Concentración promedio (pp/ g TF ± D.S.) (n = 3) de MPs totales y MPs en el tejido de los ostiones de BSQ en invierno y verano.....	31
Tabla 9. Materiales utilizados en las artes de cultivo de ostión en BTS y BSQ.	39
Tabla 10. Estudios donde se ha determinado el contenido de MPs en el ostión <i>Crassostrea gigas</i> (modificado de Cho et al. (2019) y Teng et al. (2019)).	40
Tabla 11. Estudios donde se ha determinado el contenido de MPs en algunas especies de cultivo acuícola (modificado de Cho et al. (2019)).....	40
Tabla 12. Concentraciones de MPs reportadas en otras bahías alrededor del mundo.	43

1. Introducción

En la actualidad, los desechos compuestos por plásticos y microplásticos (MPs) representan una de las principales amenazas para los organismos marinos (Guzzetti et al., 2018). Estos desechos plásticos están conformados por polímeros sintéticos y semisintéticos. Generalmente se producen a partir de combustibles fósiles como petróleo crudo (UNEP, 2016) y compuestos orgánicos como la celulosa (Lusher et al., 2017).

El término plástico abarca una amplia gama de familias de diferentes materiales, cada uno con diferentes propiedades funcionales. El éxito de la comercialización de los plásticos es debido principalmente a su bajo costo de producción, alta durabilidad y su gran resistencia a la degradación (Lo et al., 2018). Desde los años 1950s, la producción de plástico ha aumentado exponencialmente dejando de lado a otros materiales tradicionales como el vidrio. Lo anterior debido a que el plástico presenta una mayor maleabilidad y es posible conseguir una variedad de formas (Lusher et al., 2017).

Tan solo en el año 2018, la producción mundial de plástico fue de 359 millones de toneladas y se espera que para el año 2025 la producción supere los 600 millones de toneladas (Plastics-Europe, 2019). Se estima que el 10% de estos plásticos terminaran en el océano debido al aumento en la producción y su consumo, así como la mala gestión de sus desechos (Teng et al., 2019). Una vez en el medio ambiente, se consideran a estos desechos plásticos como contaminantes persistentes, ya que su proceso de degradación puede durar cientos a miles de años y en el océano puede llegar a ser aún mayor (Barnes et al., 2009).

Entre el 60 - 80% de los desechos marinos están compuestos por algún tipo de plástico y causan un impacto directo en el ecosistema, la fauna marina y la economía (Beaman & Bergeron, 2016; Lusher et al., 2017). Se ha estimado que entre el 80 - 90% de los plásticos en el océano provienen de fuentes terrestres y que un muy bajo porcentaje de genera de actividades marinas como la pesca, acuicultura o la navegación (Gallo et al., 2018).

1.1. Tipos de plásticos

Los plásticos se dividen en 3 categorías: termoplásticos, termoestables y elastómeros (Lusher et al., 2017). Los termoplásticos se vuelven suaves al calentarse y se endurecen al enfriarse, esta característica es reversible. Entre ellos se encuentran el polietileno (PE),

polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), tereftalato de polietileno (PET), poliamidas (PA), poliestireno (PS) y policarbonato (PC). Los plásticos termoestables una vez que son calentados y moldeados, ya no pueden volver a fundirse y moldearse (Plastic-Europe, 2019). Algunos de estos compuestos son el poliuretano (PU), resinas epóxicas y la baquelita (UNEP, 2016). Por último los elastómeros, estos son polímeros elásticos, que pueden volver a su forma original después de ser forzados. Algunos de estos materiales son el caucho sintético y el neopreno (Lusher et al., 2017). Actualmente hay más de 5000 diferentes tipos de combinaciones de polímeros sintéticos (Plastic-Europe, 2019), lo que complica su estudio, seguimientos y evaluación de consecuencias negativas.

1.2 Microplásticos

Los MPs se definen como partículas de plástico con un tamaño menor a 5 mm de diámetro (GESAMP, 2015), pero aún no hay un consenso para delimitar el límite inferior. Sin embargo, Rios Mendoza y Balcer, (2019) recomiendan utilizar el rango de 100 nm a 5 mm establecido por la Comisión Europea, (2019). Law y Thompson (2014) mencionan que probablemente los MPs sean los desechos plásticos más abundantes en el océano y son considerados la fracción más potencialmente dañina (Zhang, 2017). Tienen orígenes diversos, se encuentran en un amplio rango de tamaños, formas y colores. Además, están compuestos de una variedad de polímeros con distintos aditivos químicos (Rochman et al., 2019). Están reconocidos mundialmente como una amenaza ecológica y ambiental (Zhang, 2017). Los MPs se encuentran en todos los ambientes marinos, desde las playas, hasta sedimentos de aguas profundas, en la columna de agua y flotando en la superficie (Gallo et al., 2018).

Los MPs se clasifican en primarios y secundarios. Los MPs primarios son fabricados intencionalmente a un tamaño < 5 mm, se encuentran en distintos productos de cuidado personal como son cosméticos, pastas dentales y bloqueadores solares, también como pellets que son materia prima en la fabricación de otros productos plásticos y son utilizados asimismo como abrasivos industriales (GESAMP, 2015). Los MPs secundarios se derivan del rompimiento o fragmentación de plásticos de mayor tamaño, debido a procesos físicos, químicos y biológicos. Ejemplo de estos son las fibras sintéticas que se desprenden durante el lavado de ropa, la fragmentación del plástico generado por el intemperismo que sufre una vez que llega al medio ambiente (GESAMP, 2015; Lusher et al., 2017) y también la fragmentación de plásticos que ocurre producto de mordeduras

por animales de gran tamaño al intentar ingerirlos y que posteriormente son liberados al medio (Oluniyi Solomon & Palanisami, 2016). El proceso de fragmentación es muy variado, debido a que depende del tipo de polímero y de las condiciones ambientales (Rochman et al., 2019).

Los MPs se clasifican según su morfología y se ha sugerido comúnmente en 5 categorías: fibras, fragmentos, cuentas o bolitas, microesferas y espumas (Lusher et al., 2017). Las fibras han llegado a constituir hasta el 91% de los MPs totales en muestras de agua alrededor del mundo (Woods et al., 2018). En la tabla 1 se muestran los polímeros que son reportados con mayor frecuencia en el ambiente marino.

Tabla 1. Principales polímeros reportados en ambientes marinos, aplicaciones comunes y su densidad. Tomado de GESAMP, (2015); Wang et al., (2016).

Tipo de plástico	Abreviación	Aplicaciones	Densidad (g L⁻¹)
Polipropileno	PP	Cuerdas, tapas de botellas, líneas de pesca	0.90 - 0.92
Poliétileno de baja densidad	LDPE	Bolsas, anillos de six packs, redes, popotes	0.91 - 0.93
Poliétileno de alta densidad	HDPE	Botellas de limpiadores, contenedores de alimentos	0.94
Poliestireno expandido	EPS	Hieleras, boyas, vasos desechables	1.01 - 1.05
Poliestireno	PS	Contenedores de comida	1.04 - 1.09
Cloruro de polivinilo	PVC	Tuberías, plástico para emplayar	1.16 - 1.30
Poliamida o Nylon	PA	Redes de pesca, cuerdas, líneas de pesca	1.13 - 1.15
Tereftalato de polietileno	PET	Botellas, fibras textiles	1.34 - 1.39
Resina de poliéster + fibra de vidrio	UP + FIB	Embarcaciones	> 1.35
Acetato de celulosa	CA	Filtros de cigarros	1.22 - 1.24

En el medio ambiente los MPs tienen una distribución espacial muy compleja. Sin embargo, en sitios con alta densidad poblacional donde se desarrollan actividades costeras recreativas y turísticas, se encuentran las concentraciones más altas de MPs (Baechler et al., 2019, Ramirez et al., 2020). Se ha reportado que los MPs tienen la capacidad de adsorber contaminantes orgánicos persistentes (COPs) tales como pesticidas organoclorados (POCs), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), bifenilos policlorados (BPCs) y también metales traza como cobre y plomo (Rios Mendoza y Jones, 2015; Rainieri y Barranco, 2019; Rochman et al., 2019). No obstante, la adsorción de

estos compuestos depende de las propiedades químicas y físicas del polímero, así como el área superficial de los MPs, entre otros factores (Rochman et al., 2019).

1.3 Microplásticos en la cadena trófica

Debido al pequeño tamaño de los MPs y a que pueden ser muy parecidos al alimento natural, los MPs son consumidos accidental o intencionalmente por los organismos acuáticos y es así como entran directamente a la cadena trófica (Crawford, C. B., & Quinn, 2017). Por esto es que la contaminación por MPs es preocupante, ya que trae consigo consecuencias negativas importantes en los ecosistemas marinos, los servicios ecosistémicos brindados; como son la comida y agua limpia, así como posiblemente en la salud humana (GESAMP, 2016). Lo anterior no solamente por su concentración o cantidad, sino por su capacidad de concentrar compuestos tóxicos.

La ingestión de MPs por organismos marinos, además de causar daños físicos como el bloqueo del tracto digestivo, puede generar daños toxicológicos. Estos daños no dependen solamente de los contaminantes adsorbidos, si no de los aditivos utilizados durante la fabricación del plástico. Aditivos como retardantes de flama, estabilizantes y plastificantes que pueden llegar a filtrarse hacia la superficie de los MPs debido a que estos aditivos nos están unidos químicamente al polímero de plástico. Estos aditivos tienden a acumularse en los organismos (Baini et al., 2016; Wright & Kelly, 2017).

1.4 Presencia y efecto de microplásticos en moluscos bivalvos

Alrededor del mundo existen estudios que reportan la presencia de MPs en moluscos bivalvos, principalmente en especies como ostión, mejillón y almeja de poblaciones naturales y de cultivo (Mathalon & Hill, 2014; De Witte et al., 2014; Li et al., 2015; Murphy, 2018; Cho et al., 2019). A su vez, se han hecho distintos estudios en laboratorio donde se han identificado los efectos nocivos de los MPs en los organismos. En *Mytilus edulis* se ha reportado acumulación en el tejido digestivo y traslocación a hemolinfa, también cambios en las células digestivas con una fuerte respuesta inflamatoria (Mark A. Browne et al., 2008; Von Moos et al., 2012). En *Mytilus galloprovincialis* los efectos incluyen alteraciones en la respuesta inmunológica, el comportamiento lisosomal, el sistema antioxidante, así como efectos neurotóxicos y aparición de genotoxicidad (Avio et al., 2015). Para la especie *Scrobicularia plana*, Ribeiro et al. (2017) reportó efecto en la capacidad antioxidante, daño en el ADN, neurotoxicidad y daño oxidativo en la almeja.

1.5 Descripción de la especie *Crassostrea gigas*

El ostión *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) también conocido como ostión japonés u ostión del Pacífico, es endémico de las costas de Japón y Corea (Chávez-Villalba, 2014). Se considera la especie de ostión con mayor distribución en el mundo (Harris, 2008), ya que ha sido introducida en distintas regiones, principalmente con fines acuícolas, debido a que presenta un rápido crecimiento y una gran tolerancia a distintas condiciones ambientales (Chávez-Villalba, 2014). Es un molusco bivalvo que presenta una concha sólida y rugosa. La valva inferior es cóncava, mientras que la valva superior es plana. Sin embargo, la forma de la concha puede variar de acuerdo a las condiciones ambientales. En su ambiente natural habita desde la zona intermareal y puede llegar hasta los 40 m de profundidad (FAO, 2014). Es un organismo filtrador, que se alimenta de partículas suspendidas en el agua, como fitoplancton y materia orgánica (Baechler et al., 2019). Tiene la capacidad de filtrar un volumen de agua entre 2 y 5 L h⁻¹ g⁻¹ de peso seco (Barnabé y Barnabé-Quet, 2000).

1.6 Importancia del ostión *Crassostrea gigas* en la acuicultura

La producción mundial acuícola en 2016 fue de 110.2 millones de toneladas, con un valor estimado de 243,500 millones de USD. La producción de moluscos fue de 17.1 millones de toneladas, con un valor de 29,200 millones de USD, de las cuales 574,000 toneladas fueron de ostión *Crassostrea gigas* (FAO, 2018).

En Baja California la producción de ostión en 2017 fue de 2120 toneladas con un valor de casi 60 millones de MXN (~ 3.5 millones de USD), es la tercera especie con mayor porcentaje de aportación económica y la segunda en volumen de producción con un 27% del total de la producción por acuicultura del Estado (SAGARPA, 2017). Esta actividad genera alrededor de 250 empleos directos y casi 2000 empleos indirectos en Baja California. Existen 23 empresas privadas en Bahía San Quintín y 4 en Bahía de Todos Santos dedicadas al cultivo de la especie.

2. Justificación

La producción acuícola de ostión *Crassostrea gigas* en Baja California, México es una actividad económica muy importante. Por ello es crucial conocer el estado de salud de los organismos y los factores que pueden influir en él. Debido a que el cultivo de esta especie está destinado para consumo humano, a que preferentemente se consume completo al ser desconchado y a que es una especie que está en mayor riesgo de contaminación por MPs ya que tiene la capacidad de filtrar grandes volúmenes de agua, es posible considerar al ostión como un vector de transferencia de MPs hacia el hombre. Es por ello que es necesario determinar la presencia de MPs en el organismo, así como conocer la morfología de estos para tener la posibilidad de establecer su origen y plantear medidas de control.

3. Hipótesis

Se espera que el ostión *Crassostrea gigas* cultivado en Bahía de Todos Santos y Bahía San Quintín contenga MPs como consecuencia de la ingestión de estos durante el proceso de alimentación.

La concentración de MPs en el ostión cultivado en Bahía de Todos Santos será mayor por ser una zona urbana, que en Bahía San Quintín que es considerada una zona rural.

Las concentraciones de MPs en los organismos colectados en condiciones de invierno serán mayores que en verano, ya que durante la temporada de lluvia se incrementa la escorrentía de aguas pluviales; que son una fuente importante de contaminación a los cuerpos costeros marinos y que además aumentan el volumen de agua que llega a los sistemas de tratamiento de aguas residuales, lo que genera una disminución en la capacidad de tratamiento de estas plantas.

Los organismos cultivados en zonas con circulación restringida o cercanos a praderas de pastos marinos, presentan mayor concentración de MPs que los cultivados en zonas de mayor circulación.

4. Objetivos

4.1. General

Caracterizar y determinar la concentración de microplásticos presentes en el ostión de cultivo *Crassostrea gigas* en Bahía de Todos Santos y Bahía San Quintín.

4.2. Específicos

- Cuantificar la concentración de MPs presente en el ostión *Crassostrea gigas* cultivado en Bahía de Todos Santos y Bahía San Quintín bajo condiciones de invierno y verano.
- Identificar y caracterizar la química del polímero sintético del MP presente en el ostión de cultivo en Bahía de Todos Santos y Bahía San Quintín.
- Comparar la concentración de MPs entre organismos cultivados en zonas con circulación restringida o cercanos a praderas de pastos marinos y cultivados en zonas expuestas y de mayor circulación.
- Establecer si existen diferencias significativas entre la concentración de MPs de los ostiones cultivados en invierno y verano en cada bahía y entre ellas.
- Determinar si existen diferencias significativas entre la concentración de MPs de los ostiones cultivados en invierno entre bahías y entre sitios de cada bahía.
- Identificar si existen diferencias significativas entre la concentración de MPs de los ostiones cultivados en verano entre bahías y entre sitios de cada bahía.
- Determinar si existen diferencias significativas entre la concentración de MPs en el sistema digestivo y el resto del tejido blando de los ostiones cultivados en cada sitio de Bahía de Todos Santos y Bahía San Quintín durante verano.

5. Materiales y métodos

5.1. Descripción del área de estudio

5.1.1 Bahía de Todos Santos

La Bahía de Todos Santos (BTS) se localiza al noroeste de la península de Baja California, México. Es una pequeña bahía semicerrada, con un área de 330 km². Tiene una profundidad promedio de 50 m y un cañón submarino que alcanza hasta 400 m de profundidad. Tiene dos entradas de agua que conectan la bahía con el océano Pacífico, al noroeste entre Isla de Todos Santos y Punta San Miguel con una longitud de 10 km y al suroeste entre Punta Banda e Isla de Todos Santos con una longitud aproximada de 5 km. Al sureste está limitada por una laguna costera llamada Estero de Punta Banda con una barra de arena que conecta con la bahía con una sola boca (Meillon-Menchaca & Álvarez-Borrego, 1997; Flores-Vidal et al., 2015; Mateos & Marinone, 2017).

La circulación en BTS está determinada por el Sistema de la Corriente de California, el estrés por viento y el forzamiento por mareas (Ramírez-Álvarez et al., 2020).

De manera contigua a BTS se encuentra la ciudad de Ensenada, esta tiene una población cercana a los 500,000 habitantes (INEGI, 2017). En este sitio se desarrollan distintas actividades que afectan a BTS, como pesca y actividades portuarias. Además, existe la descarga de aguas residuales y escorrentía agrícola. En la región la temporada de lluvias abarca de diciembre a febrero, durante esta fecha existe una contribución de agua a BTS por parte del arroyo Ensenada y arroyo el Gallo. El resto del año no existe aporte por estas fuentes. Por otro lado, existe un aporte constante de agua dulce a la bahía por parte de las descargas de aguas residuales de las plantas de tratamiento municipales: El Gallo, El Naranja y El Sauzal (Ramírez-Álvarez et al., 2020).

5.1.2 Bahía San Quintín

La Bahía San Quintín (BSQ) está localizada en la costa oeste de la península de Baja California, México. Es una laguna costera en forma de “Y” compuesta por dos brazos y una sola entrada de agua no mayor a 1 km que conecta la bahía con el océano Pacífico. El brazo este llamado Bahía San Quintín (Bsq), tiene una longitud de 11.5 km y el brazo oeste llamado Bahía Falsa (BF) tiene una longitud aproximada de 5.6 km. BSQ tiene una extensión de alrededor de 42 km² y una profundidad promedio de 2 m, sin embargo puede

alcanzar hasta 15 m cercano a la boca en el canal de marea principal (Flores Vidal, 2006; Chanes, 2016). En este sitio no existe un aporte constante de agua dulce, el aporte de agua por escorrentía es mínimo durante la temporada de lluvias en invierno y no existe la descarga directa de aguas residuales. El tiempo de residencia del agua dentro de la bahía va desde los 16 días en las partes más altas de BSQ, mientras que en la boca es de un par de horas (Zertuche-Chanes, 2016). En BSQ existen praderas de *Zostera marina* que se distribuyen a lo largo de la bahía y llegan a ocupar hasta un 45% del área total (Sandoval-Gil et al., 2016), con patrones de abundancia máximos en verano y mínimos en invierno (Jacobs y McRoy, 1984).

5.2. Obtención de las muestras

Se realizaron dos muestreos, uno durante la estación de invierno (temporada de lluvias) y otro durante el verano (temporada de sequía) en BTS y BSQ. Se colectaron 60 organismos (Figura 3) por sitio que fueron proporcionados directamente por los productores acuícolas de ostión. Los sitios se eligieron de acuerdo a los polígonos de cultivo establecidos en las bahías. En BSQ (Figura 1) se seleccionaron 6 puntos distribuidos desde la boca, la parte media y la parte alta de la bahía (Tabla 2). En el caso de BTS (Figura 2), se escogieron los únicos 2 sitios donde están establecidos cultivos de ostión (Tabla 3).

Tabla 2. Coordenadas de los sitios de muestreo en Bahía San Quintín.

Sitio	Latitud	Longitud
BSQ1	30°24'42.22"N	115°59'43.11"O
BSQ2	30°25'48.38"N	115°59'50.44"O
BSQ3	30°24'25.47"N	115°59'27.65"O
BSQ4	30°26'33.21"N	115°57'18.63"O
BSQ5	30°24'40.69"N	115°57'12.94"O
BSQ6	30°27'1.77"N	116° 1'8.69"O



Figura 1. Sitios de muestreo en Bahía San Quintín.

Tabla 3. Coordenadas de los sitios de muestreo en Bahía de Todos Santos.

Sitio	Latitud	Longitud
BTS1	31°44'54.95"N	116°40'31.62"O
BTS2	31°45'52.25"N	116°37'9.84"O

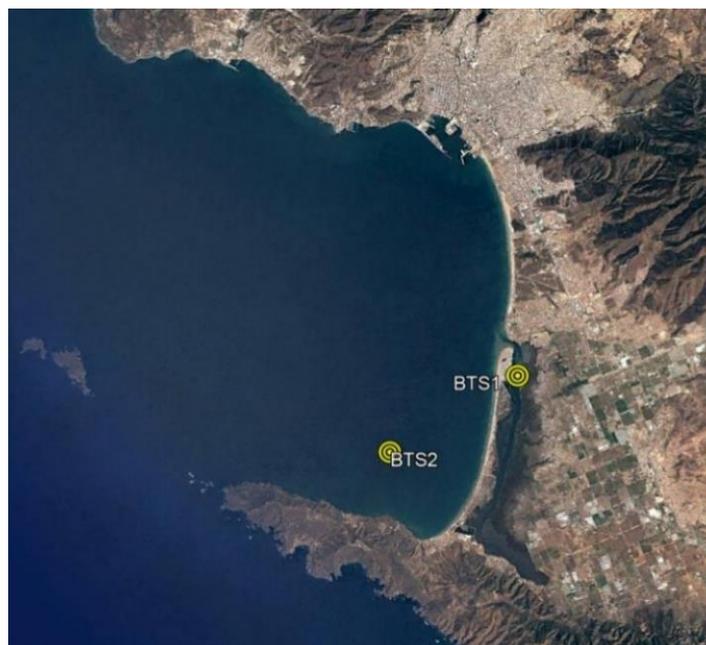


Figura 2. Sitios de Muestreo en Bahía San Quintín



Figura 3. Muestra de ostión *Crassostrea gigas* proporcionada por los productores.

Además, se colectaron 12 muestras de los diferentes materiales utilizados en las artes de cultivo de ostión en BTS (Figura 4 y 5) y 5 muestras en BSQ (Figura 6). Estas muestras consistieron en fragmentos de cuerdas, mallas y cintas.

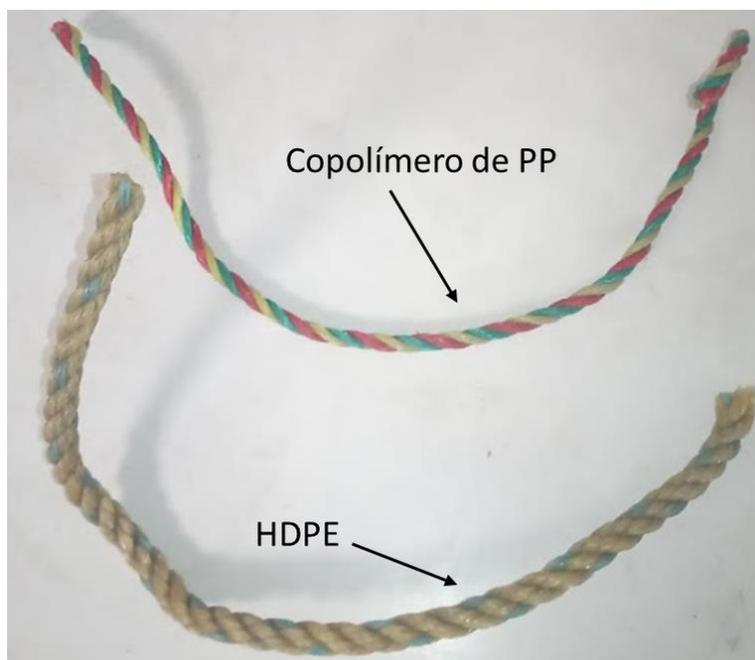


Figura 4. Cuerdas utilizadas en el cultivo de ostión en BTS1 (PP: polipropileno; HDPE: polietileno de alta densidad).

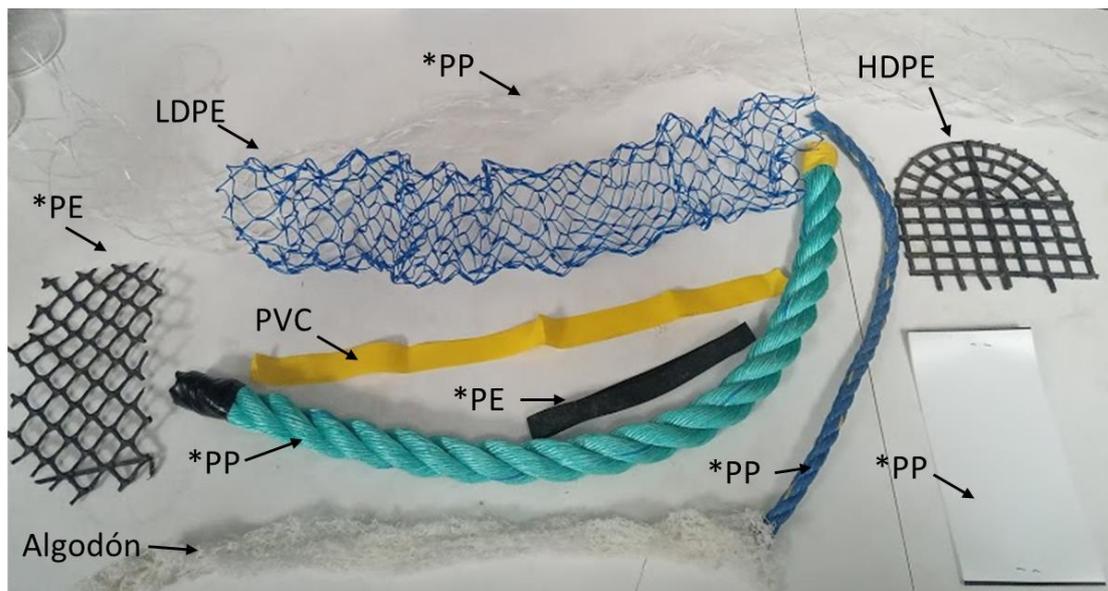


Figura 5. Cuerdas, mallas y cintas utilizadas en el cultivo de ostión en BTS2 (PP: polipropileno; LDPE: polietileno de baja densidad; HDPE: polietileno de alta densidad; PVC: cloruro de polivinilo; PE: polietileno; * Copolímero).

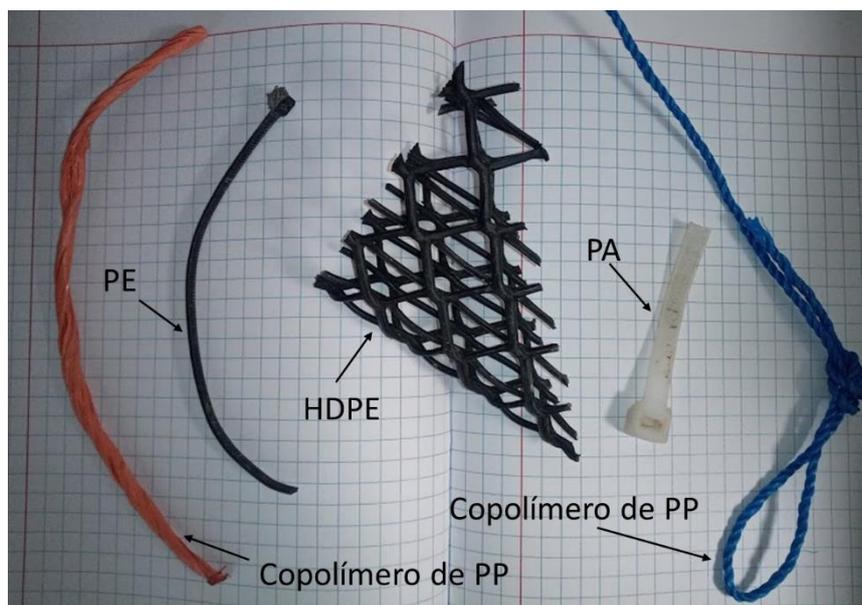


Figura 6. Cuerdas, malla y cintas utilizadas en el cultivo de ostión en BSQ (PE: polietileno; HDPE: polietileno de alta densidad; PP: polipropileno; PA: poliamida)

5.3. Prevención de contaminación en laboratorio

Para evitar la contaminación de las muestras por partículas externas, se modificaron los protocolos establecidos por Li et al. (2015), Jabeen et al. (2017) y Ramírez et al. (2020). Se evitó el uso de objetos plásticos cercanos a la zona de trabajo en el laboratorio y se implementó el uso de batas 100 % de algodón. La cristalería, navajillas de aluminio y

filtros Whatman® fueron quemados en el horno a 400 °C por 4 horas. Además, toda la cristalería, navecillas y equipo de disección, antes de ser utilizados se enjuagaron con metanol, acetona y por último agua destilada filtrada a 1.2 µm (Whatman® GF/C). El proceso de filtración y análisis en el microscopio se llevó a cabo dentro de cabinas especiales de vidrio para evitar la contaminación de las muestras y además se utilizó una caja Petri de vidrio por sitio que fungió como control de contaminación al ser colocada al lado de las muestras en el área de trabajo y se abrió cada vez que las muestras estuvieron expuestas al ambiente.

5.4. Preparación de las muestras

Una vez en el laboratorio, los organismos de cada sitio fueron divididos en 3 submuestras de 15 organismos cada una. Las conchas de los ostiones enteros fueron lavadas y cepilladas con un cepillo de alambre para eliminar cualquier suciedad que pudiera estar adherida. Una vez limpios los organismos, se procedió a realizar la biometría (Figura 7). Con un vernier se tomó la longitud de los mismos, además, con una báscula digital se capturo el peso entero de los ostiones. Posteriormente, se procedió a abrir los organismos con ayuda de un cuchillo para ostiones. El líquido intervalvar de los ostiones de cada submuestra se reservó en un vaso precipitado, después de separo el tejido de la concha y se tomó el peso en una báscula digital. De igual manera, el tejido de los organismos de cada submuestra se almaceno junto en un vaso de precipitado. Este procedimiento se llevó a cabo para los organismos colectados en invierno.

Para los organismos colectados en verano se realizó el mismo procedimiento anterior. Sin embargo, posteriormente se llevó a cabo la separación del sistema digestivo (incluyendo la gónada) del resto del tejido blando, esto se realizó con un equipo de disección. Se tomo el peso del sistema digestivo incluyendo la gónada y el peso del resto del tejido blando en una báscula digital y se almacenaron por separado en vasos de precipitado. Todos los vasos de precipitado fueron cubiertos con aluminio y se almacenaron a – 20°C para su posterior análisis.

Las muestras obtenidas de los materiales utilizados en las artes de cultivo, se cortaron en fragmentos de menor tamaño y se almacenaron en sobres hechos de papel aluminio hasta su análisis.

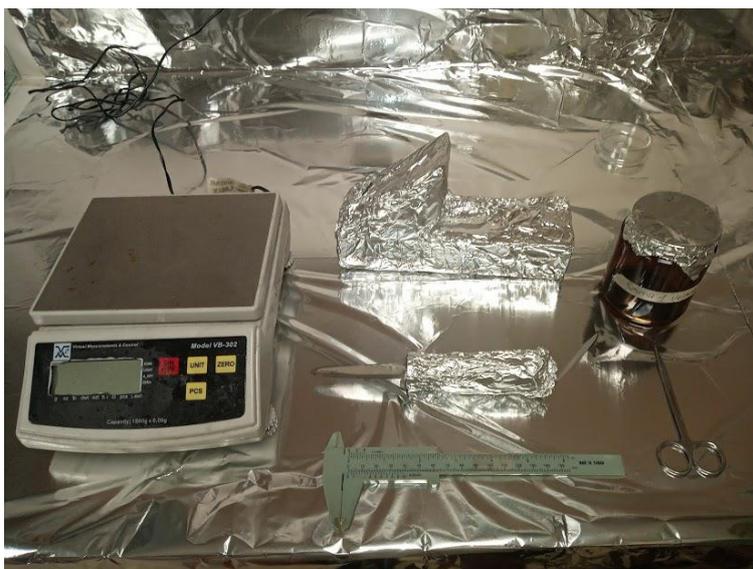


Figura 7. Equipo utilizado para realizar la biometría y disección de los organismos, se cubrieron con aluminio todos los objetos plásticos posibles.

5.5. Digestión de las muestras biológicas

Para eliminar la materia orgánica de las muestras de ostión, se modificaron los protocolos establecidos por Munno et al. (2018) y Thiele et al. (2019). Se utilizó una mezcla de KOH al 30% (m/v) y H₂O₂ al 30% (v/v). Una vez descongeladas las muestras, se dividieron en vasos de precipitado de 600 mL, agregando un volumen de muestra no mayor a 100 mL por vaso. Posteriormente se agregó KOH 30% (m/v) en una proporción 3 veces mayor al volumen de la muestra y se agregaron 10 mL de H₂O₂ 30% (v/v) diariamente hasta que no hubo más efervescencia en la muestra (Figura 8). Las muestras se mantuvieron en baño maría con agitación a una temperatura entre 40 ± 5 °C por al menos 72 hrs o hasta que las muestras tomaran un color amarillo claro (Figura 9). Una vez terminada la digestión de las muestras, la solución fue filtrada sobre un filtro Whatman® GF/D de 4.7 cm diámetro utilizando un sistema de filtración al vacío (Figura 10). Los filtros obtenidos fueron secados en el horno a 40 ± 5 °C en navecillas cubiertas de aluminio y se almacenaron para ser analizados posteriormente.



Figura 8. Muestras de ostión durante el primer día de adición de KOH al 30% (m/v) y H_2O_2 al 30% (v/v).



Figura 9. Muestras de ostión en proceso de digestión en baño maría y con agitación constante.

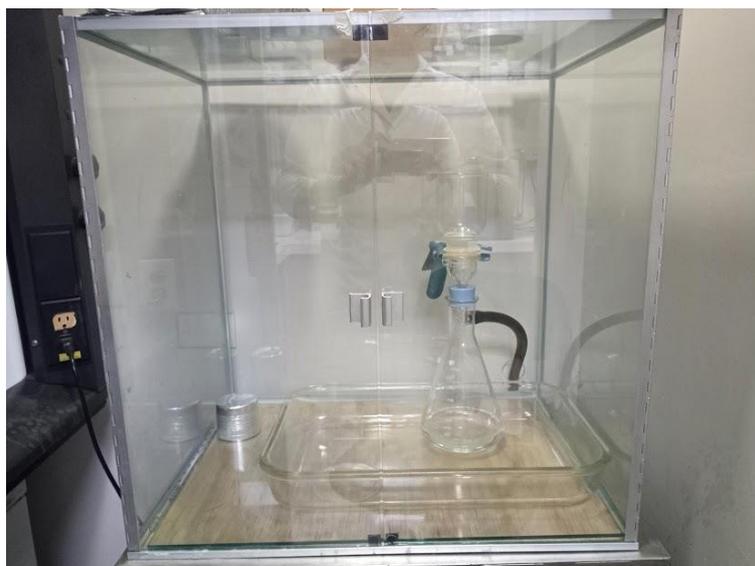


Figura 10. Cabina de cristal con el equipo de filtración al vacío utilizado para el proceso de filtración de las muestras.

5.6. Cuantificación y clasificación de microplásticos

Los filtros fueron analizados en un microscopio estereoscópico Olympus SZX7 (70X) (Figura 11) adaptado con una cámara Olympus LC30 para la captura de fotografías. Se cuantificaron las partículas que de acuerdo a las características físicas establecidas en la “Guía de identificación de microplásticos” (Marine & Environmental Research Institute, 2015) cumplían con las condiciones para ser consideradas como posibles MPs. Además se llevó a cabo la prueba de la “aguja caliente” establecida por De Witte et al. (2014), que consiste en calentar un alambre fino de acero y acercarlo tanto como sea posible a la partícula, si esta se enriza o derrite se puede considerar como posible MP. La clasificación de las partículas se llevó a cabo de acuerdo a la forma (fibras, fragmentos y cuentas o bolitas), color y tamaño de partícula. Se capturó una fotografía individual de cada partícula considerada como posible MP para su posterior medición (largo y ancho) utilizando el software de imagen cellSens de OLYMPUS.



Figura 11. Microscopio estereoscópico Olympus SZX7 (70X) dentro de una cabina de cristal, utilizado para la cuantificación de MPs.

Por último, se cuantificaron todas las partículas encontradas en las cajas Petri que fueron utilizadas como control de contaminación.

5.7. Caracterización de microplásticos

La identificación y caracterización de las partículas clasificadas como posibles MPs se realizó por medio de espectroscopía infrarroja por Transformadas de Fourier equipado con un accesorio de reflectancia total atenuada (FTIR-ATR), en un equipo Nicolet™ iN™10 (Figura 12) con un cristal de diamante (D-SlidIR) y un detector de telururo de mercurio y cadmio enfriado por nitrógeno líquido. Para lograr una correcta identificación de las partículas, previamente se llevó a cabo el enriquecimiento de la “biblioteca de identificación”. Esta biblioteca cuenta con un conjunto de espectros de una biblioteca comercial (Thermo Scientific Inc.) y una biblioteca desarrollada en el laboratorio de la UW-Superior elaborada con pellets vírgenes de industrias de plástico (Figura 13) y otros materiales de plástico de uso rutinario. Esta biblioteca, se enriqueció agregando el espectro de distintos materiales, entre ellos distintos estándares de materiales naturales

como el algodón, lana y papel. Así como algunos polímeros sintéticos como polietileno de alta y baja densidad (HDPE y LDPE), polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), policarbonato (PC), tereftalato de polietileno (PET), cloruro de polivinilo (PVC), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), T. elastómero y Nylon. También polímeros semisintéticos como el celofán y rayón.

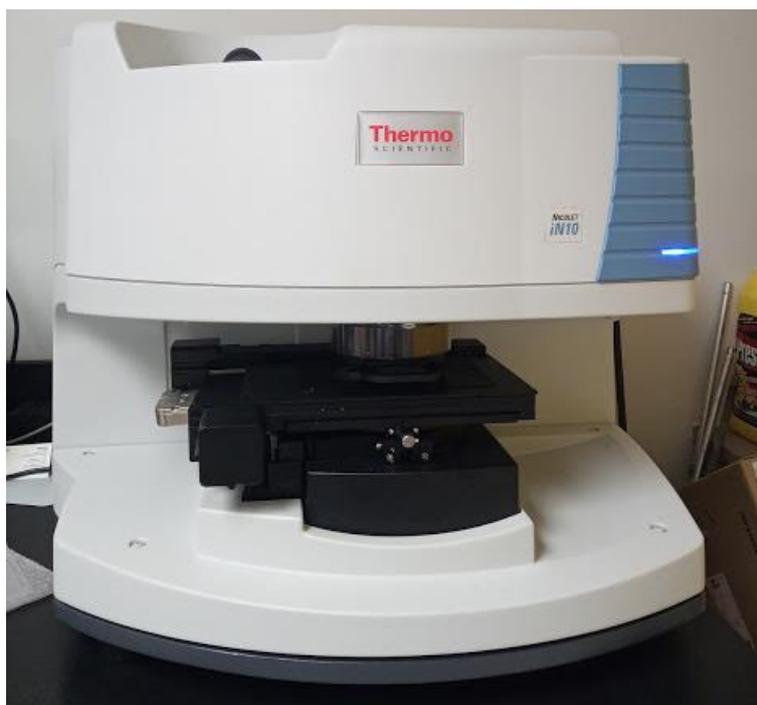


Figura 12. Equipo Nicolet™ iN™10 de espectroscopía infrarroja por Transformadas de Fourier.



Figura 13. Pellets vírgenes utilizados para ampliar la biblioteca de polímeros sintéticos.

Para el análisis de las partículas que fueron clasificadas como posibles MPs, la metodología consistió en seleccionar individualmente partículas directamente de los filtros, tomándolas con una pinza de acero inoxidable de punta fina y con ayuda de una aguja de disección colocarla sobre un portaobjetos de cristal limpio, el cual a su vez se colocó sobre la platina del espectrómetro. Posteriormente se realizó el centrado y enfoque de la partícula con ayuda de los controles del equipo. Una vez hecho esto se procedió a la lectura de la muestra. Este proceso se realizó individualmente para cada partícula.

La lectura de las muestras se hizo a una presión de entre 15 y 25 psi, con una apertura entre 150 x 150 μm y 250 x 250 μm , los espectros se registraron como el promedio de 16 escaneos en el rango espectral de 650-4000 cm^{-1} a alta resolución de 4 cm^{-1} . Se analizaron al menos el 40% de las partículas clasificadas como posibles MPs de cada sitio y el 100% de las partículas encontradas en los controles de contaminación. Las muestras de las artes de cultivo fueron analizadas bajo las mismas condiciones de lectura.

La identificación química de los polímeros sintéticos se aceptó en el rango de 54 – 74 % de concordancia con los estándares de polímeros en las librerías del espectrómetro FTIR. Después de una primera serie de análisis, se descartaron como MPs y no fueron analizadas las partículas que guardaron similitudes físicas con las fibra y fragmentos previamente analizados y que resultaron ser de origen natural (Tabla 4). En los resultados se consideraron solo las partículas que fueron confirmadas como MPs mediante el análisis de FTIR-ATR.

Tabla 4. Total de partículas clasificadas como posibles MPs encontradas en los ostiones de BTS y BSQ, total de partículas analizadas, y validadas como MPs por FTIR-ATR, así como el porcentaje de MPs y no MPs encontrados en las muestras.

Sitio		Invierno	Verano
Bahía de Todos Santos	Posibles MPs (P-MPs)	359	195
	P-MPs analizados por FTIR-ATR	210	151
	MPs	27.1 %	28.2 %
	No MPs	72.9 %	71.8 (%)
Bahía San Quintín	Posibles MPs (P-MPs)	909	482
	P-MPs analizados por FTIR-ATR	487	337
	MPs	16 %	24.2 %
	No MPs	84 %	75.3 %

6. Resultados

Se encontraron MPs en todas las muestras analizadas de ostiones cultivados en Bahía de Todos Santos y Bahía San Quintín durante la temporada de invierno y verano.

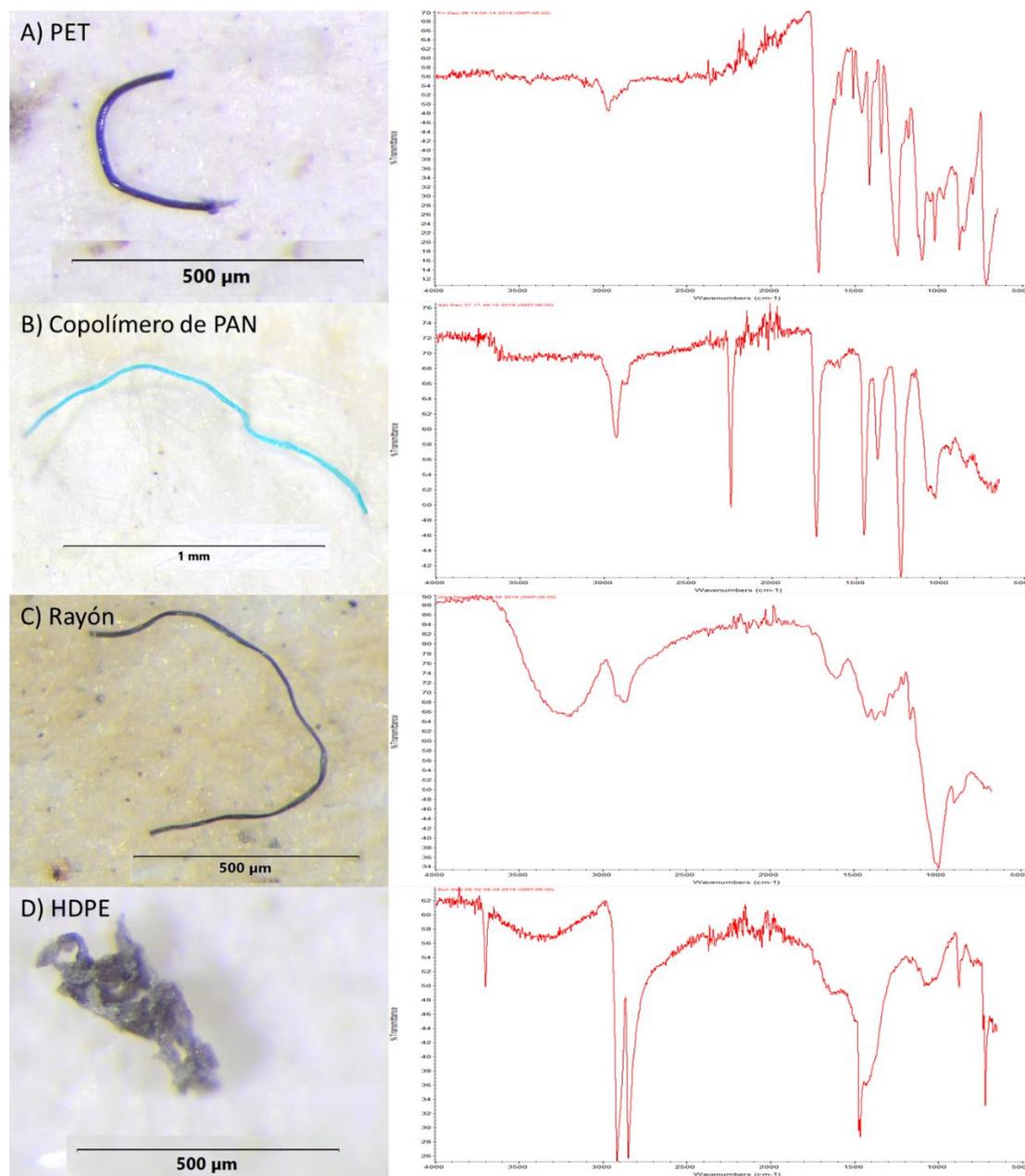


Figura 14. Fibras y fragmentos de polímeros sintéticos y semisintéticos que se encontraron con mayor frecuencia en los ostiones analizados. A) Polietileno de alta densidad, B) Copolímero de poliacrilonitrilo, C) Rayón y D) Polietileno de alta densidad.

Las partículas clasificadas como posibles MPs, se conformaron por un 93.3 % de fibras y 6.7 % de fragmentos. No se encontraron partículas con morfología distinta a las anteriores. En los controles utilizados para evaluar la contaminación se encontraron en mayor proporción fibras de origen natural, únicamente hubo una fibra de Nylon que comprendió el 1 % del total de las fibras.

En la figura 14 se muestran algunas fibras y fragmentos de los polímeros sintéticos y semisintéticos más frecuentemente encontrados en las muestras, así como su espectro obtenido por FTIR-ATR.

6.1. Microplásticos en ostiones cultivados en Bahía de Todos Santos

Se encontraron MPs en las muestras de ostión de los sitios BTS1 y BTS2 en las dos temporadas de muestreo. Durante el invierno en los organismos se encontró la mayor cantidad de MPs totales, la cual comprende los MPs encontrados en el tejido y líquido intervalvar juntos, con 97 partículas. Únicamente en el tejido se encontraron 91 partículas en total durante el invierno (Tabla 5). Se realizó esta distinción entre MPs totales y MPs solo en el tejido, para determinar la contribución de MPs por parte del líquido intervalvar.

Tabla 5. Peso húmedo (g) de cada submuestra de ostiones (n = 15), cantidad de MPs totales (tejido y líquido intervalvar) y MPs en tejido de los organismos de BTS1 y BTS2 durante invierno y verano.

Sitio	Submuestra	Invierno			Verano		
		Peso húmedo (g)	MPs totales	MPs tejido	Peso húmedo (g)	MPs totales	MPs tejido
BTS1	1	238.95	22	22	256.70	5	2
	2	237.80	5	5	249.70	4	2
	3	220.20	12	12	270.90	11	9
BTS2	1	242.35	16	15	307.85	13	8
	2	226.03	19	16	278.65	10	8
	3	225.05	23	21	251.20	12	11
TOTAL			97	91		55	40

Se comparó la concentración promedio de MPs totales (tejido y líquido intervalvar) y la concentración promedio de MPs en el tejido de los ostiones de BTS durante invierno y verano (Figura 15). Los resultados mostraron que las mayores concentraciones fueron las obtenidas en invierno; la concentración promedio de MPs totales fue de 0.070 ± 0.030 MPs g⁻¹ de tejido fresco (TF). Mientras que la concentración promedio de MPs

únicamente en tejido fue de 0.066 ± 0.027 MPs g^{-1} de TF. Se encontraron diferencias significativas entre el contenido promedio de MPs totales entre invierno y verano (t-student, $P = 0.020$) y en el contenido promedio de MPs en tejido (t-student: $P = 0.008$).

En la figura 16 se muestra las concentraciones en que fueron encontrados los principales tipos de MPs en las muestras de ostión en BTS1 y BTS2 durante las dos temporadas de muestreo. La concentración más elevada en fibras se presentó en el tejido de los organismos de BTS2 en invierno con 0.072 ± 0.011 MPs g^{-1} de TF. En cambio, la mayor concentración de fragmentos se encontró en el tejido de los ostiones de BTS1 en invierno con 0.012 ± 0.007 MPs g^{-1} de TF.

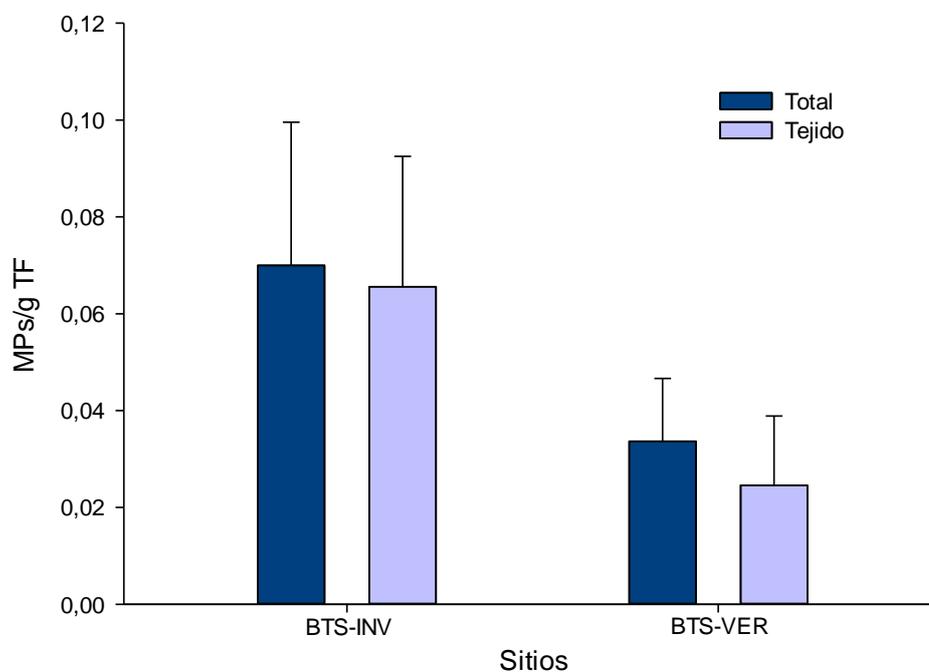


Figura 15. Concentración promedio ($n=6$) de MPs totales (tejido y líquido intervalvar) y MPs en tejido de ostiones durante invierno (INV) y verano (VER) en BTS.

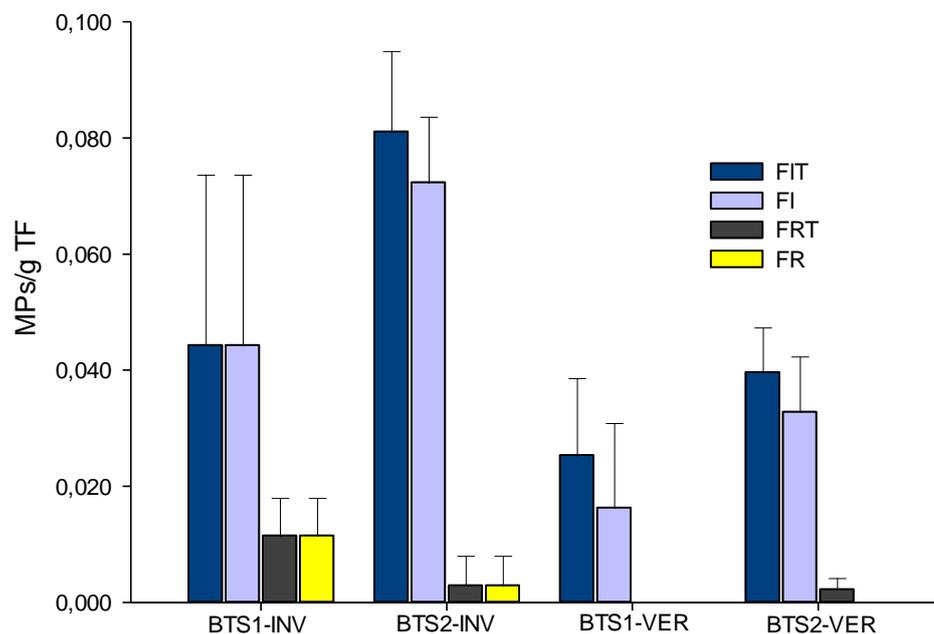


Figura 16. Concentración promedio de MPs totales (tejido y líquido intervalvar) ($n = 3$) como fibras (FIT) y fragmentos (FRT) y concentración promedio de MPs como fibras (FI) y fragmentos (FR) encontrados solo en tejido de ostiones de BTS1 y BTS2 durante invierno (INV) y verano (VER).

Las concentraciones de MPs totales y en tejido de ostión por sitio (BTS1 y BTS2) se muestran en la tabla 6. La más alta concentración se encontró en los organismos de BTS2 en invierno con 0.084 ± 0.018 MPs g^{-1} de TF, mientras que la más baja se presentó en los ostiones de BTS1 en verano con 0.025 ± 0.013 MPs g^{-1} de TF (Figura 16). Al comparar las concentraciones de MPs entre los ostiones de BTS1 y BTS2 se determinó que no hubo diferencias significativas entre los organismos entre ambos sitios en invierno (U Mann-Whitney; $P = 0.400$), ni en verano (t-Student; $P = 0.120$).

Tabla 6. Concentración promedio (MPs g^{-1} TF \pm D.S.) ($n = 3$) de MPs totales y MPs en el tejido de los ostiones de BTS en invierno y verano.

Sitio	Invierno		Verano	
	MPs totales	MPs tejido	MPs totales	MPs tejido
BTS1	0.056 ± 0.036	0.056 ± 0.036	0.025 ± 0.013	0.016 ± 0.015
BTS2	0.084 ± 0.018	0.075 ± 0.016	0.042 ± 0.006	0.033 ± 0.010

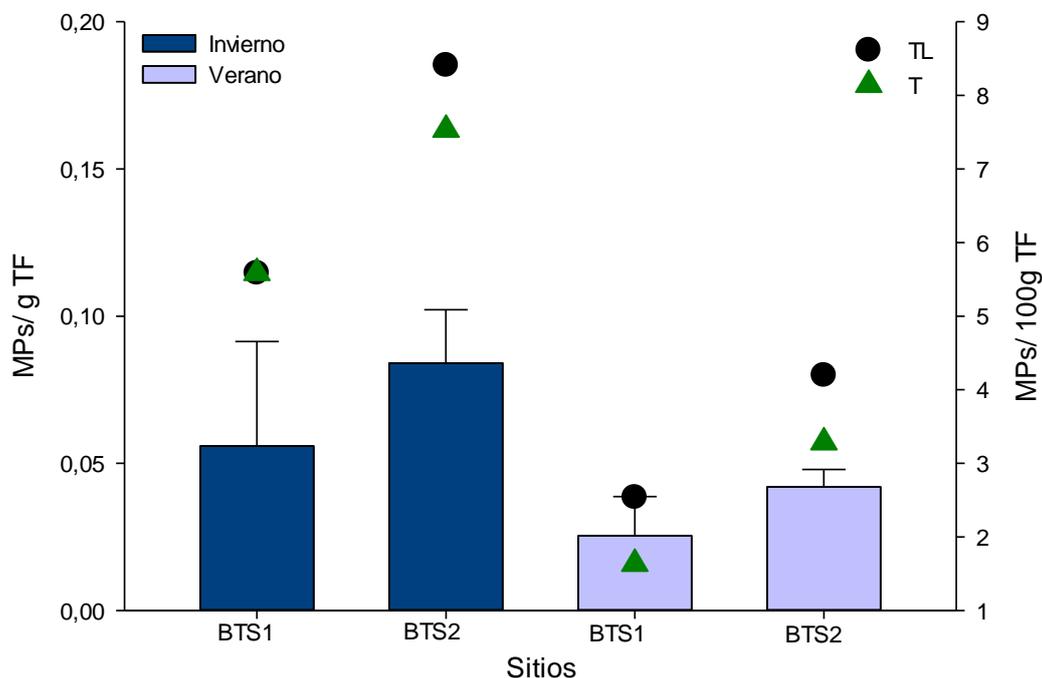


Figura 17. En el eje izquierdo se muestra la concentración promedio de MPs totales (tejido y líquido intervalvar) en ostiones de BTS1 y BTS2 durante las dos temporadas de muestreo. En el eje derecho los círculos indican los MPs totales promedio (TL) por 100 g de tejido fresco, mientras que los triángulos (T) muestran el contenido promedio de MPs en el tejido por cada 100g de TF.

Se hizo una aproximación a la cantidad que representaría una ingesta de 100g de tejido de ostión, considerando que esto equivale aproximadamente a 6 organismos. Se determinó que la concentración promedio de MPs totales más elevada la representan los organismos de BTS2 en invierno, con 8.40 ± 1.80 MPs 100 g^{-1} de TF. Mientras que los MPs considerando solo el tejido fue de 7.53 ± 1.61 MPs 100 g^{-1} de TF (Figura 17).

La composición química de los MPs analizados resultó en ocho polímeros sintéticos distintos. Los polímeros sintéticos encontrados fueron: tereftalato de polietileno (PET) también conocido como poliéster, poliacrilonitrilo (PAN), polietileno (PE), poliamida (Nylon), polipropileno (PP), poliestireno (PS), T. elastómero, y rayón como polímero semisintético. El más abundante en tejido y líquido intervalvar de los organismos de los dos sitios durante invierno y verano fue el PET por encima del 50% (Figura 18). En la gráfica el porcentaje mostrado de PAN incluye al polímero puro y los copolímeros de PAN con poli (Vinil Acetato: Etileno), poli (Etilacrilato: st: Acrilamida), poli (Acrilonitrilo: Metacrilato de metilo), poli (Estireno: Acrilonitrilo: Metacrilato de

metilo). El porcentaje de PE incluye al polímero puro, HDPE, LDPE y al copolímero de Poli (Etileno: Propileno) y Poli (Etileno: Propileno: Dieno).

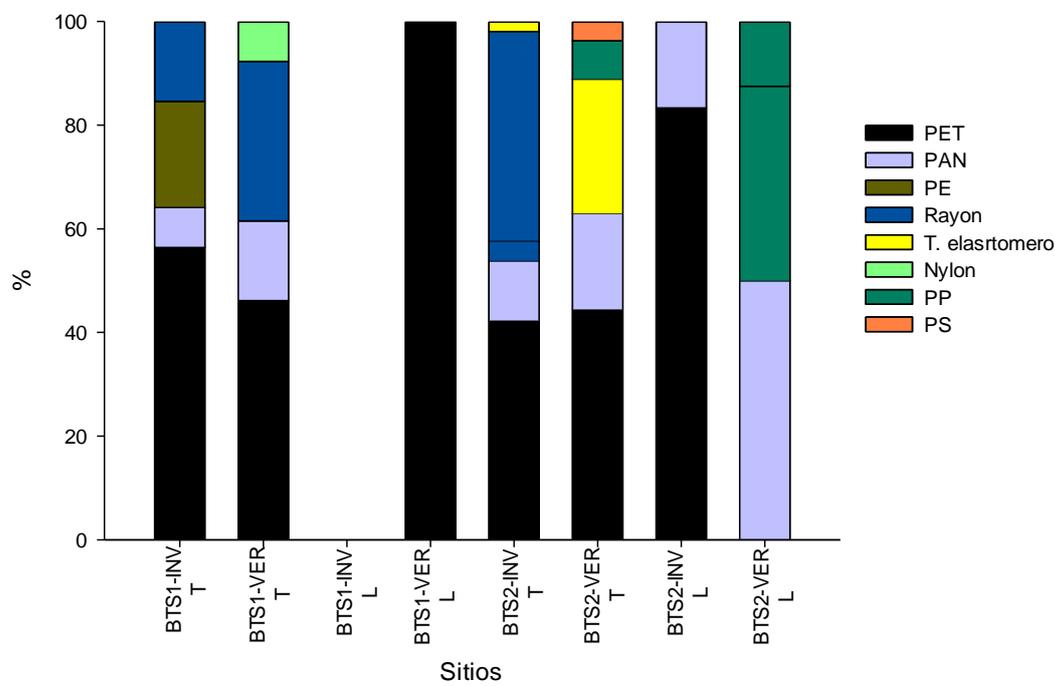


Figura 18. Polímeros sintéticos y semisintéticos encontrados en tejido (T) y líquido intervalvar (L) de ostras de BTS en invierno (INV) y verano (VER).

Los colores de los MPs se muestran en la figura 19, se encontraron 10 colores distintos, el color negro resulto ser el de mayor ocurrencia. La composición de tamaños de los MPs como fibras y fragmentos en el tejido se muestran en la figura 20. La mayor parte de las fibras en los organismos de los dos sitios y de las dos temporadas de muestreo tuvieron una longitud mayor a las 100 μm y todos los fragmentos fueron menores a 500 μm . En el líquido intervalvar (Figura 21) todas las fibras y fragmentos encontrados fueron menores a 500 μm . El ancho promedio de las fibras en los organismos de BTS en invierno fue de $12.85 \pm 3.58 \mu\text{m}$ y en verano de $13.45 \pm 12.95 \mu\text{m}$.

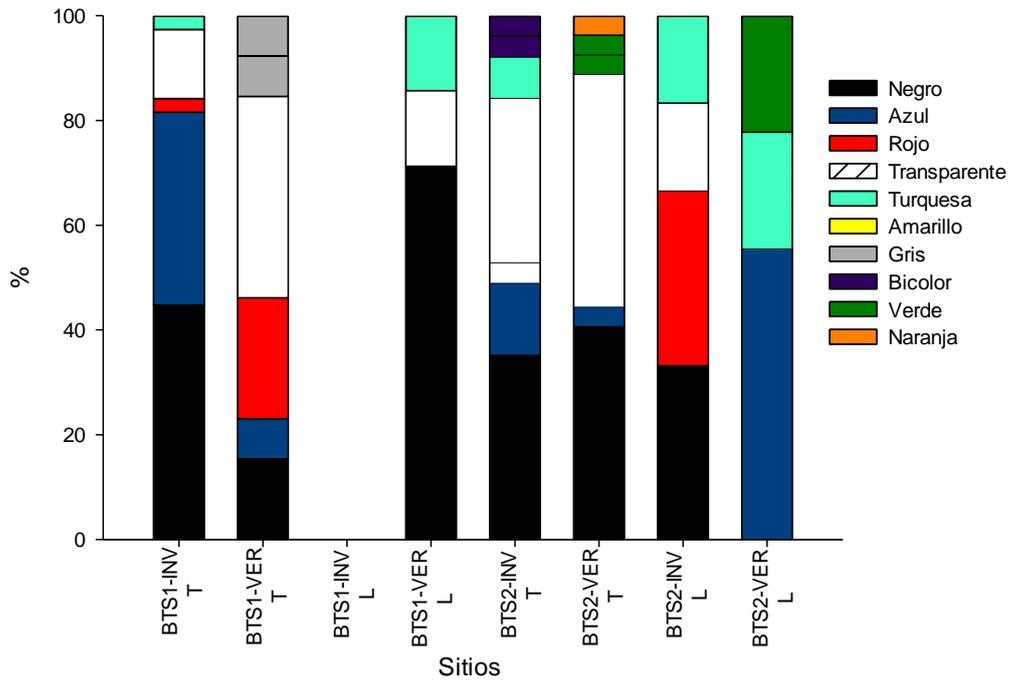


Figura 19. Composición de colores de los MPs encontrados en tejido (T) y líquido intervalvar (L) en ostiones de BTS en invierno (INV) y verano (VER).

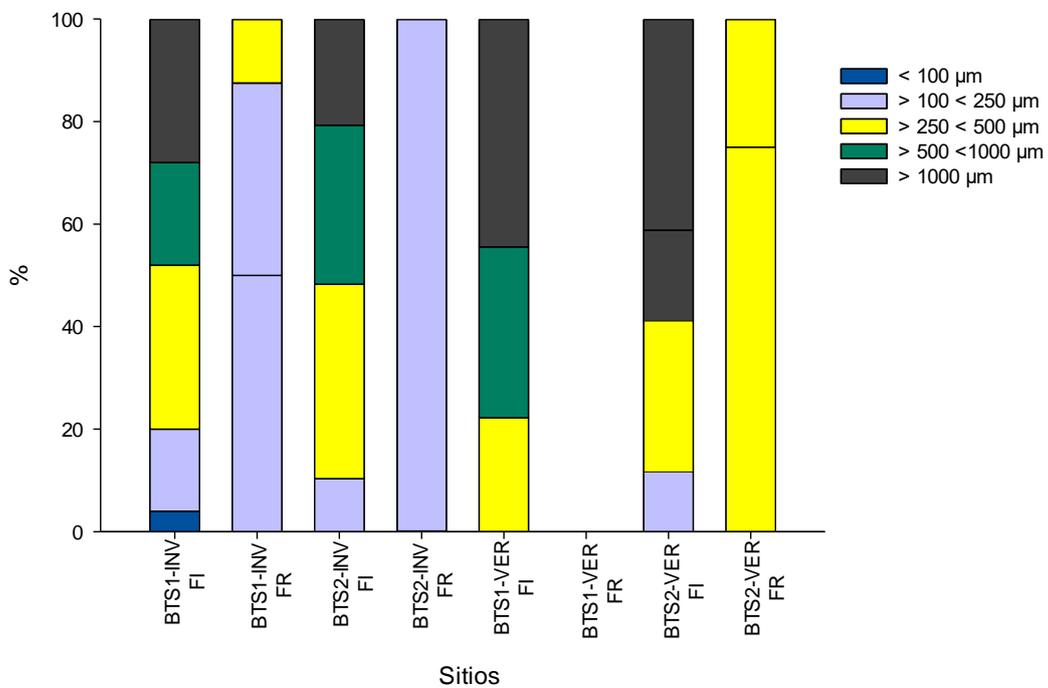


Figura 20. Clasificación por tamaños de las fibras (FI) y fragmentos (FR) de los MPs encontrados en tejido de ostiones de BTS1 y BTS2 en invierno (INV) y verano (VER).

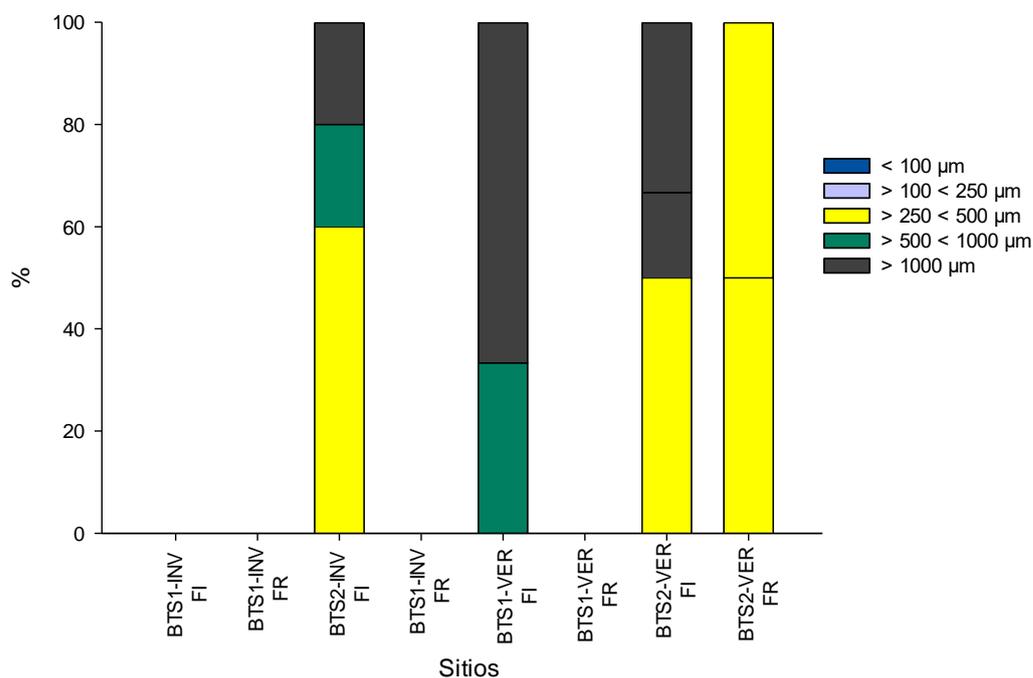


Figura 21. Clasificación por tamaños de las fibras (FI) y fragmentos (FR) de los MP encontrados en líquido intervalvar de ostiones de BTS1 y BTS2 en invierno (INV) y verano (VER).

6.2. Microplásticos en ostiones cultivados en Bahía San Quintín

Se encontraron MPs en todas las muestras de ostión de todos los sitios de BSQ durante las dos temporadas de muestreo. Durante el invierno se encontraron 146 partículas de MPs totales en los organismos, cantidad mayor que las 117 partículas encontradas en los organismos colectados en verano (Tabla 7).

No obstante, al comparar el contenido promedio de MPs totales (tejido y líquido intervalvar) entre ostiones de BSQ en invierno y verano, no se encontraron diferencias significativas (U Mann-Whitney; $P = 0.141$). Sin embargo, si hubo diferencias al comparar solo la concentración de MPs en su tejido (U Mann-Whitney; $P = 0.035$). La más alta concentración de MPs en tejido fue de 0.035 ± 0.022 MPs g^{-1} de TF en organismos colectados en la época de invierno (Figura 22).

Tabla 7. Peso húmedo (g) de cada submuestra de ostiones (n = 15), cantidad de MPs totales (tejido y líquido intervalvar) y MPs en tejido de los organismos de BSQ durante invierno y verano.

Sitio	Sub muestra	Invierno			Verano		
		Peso húmedo (g)	MPs totales	MPs tejido	Peso húmedo (g)	MPs totales	MPs tejido
BSQ1	1	163.20	6	6	123.55	4	3
	2	171.15	3	3	107.85	5	2
	3	182.50	3	3	107.85	2	1
BSQ2	1	179.90	4	3	284.20	7	6
	2	162.55	6	6	258.64	8	5
	3	161.95	8	3	244.95	10	9
BSQ3	1	142.05	11	10	233.40	5	3
	2	142.05	4	4	243.00	9	7
	3	138.35	8	8	287.65	7	5
BSQ4	1	268.37	11	8	207.55	7	5
	2	239.60	6	2	219.90	6	2
	3	228.15	16	15	176.45	5	3
BSQ5	1	191.35	10	5	246.20	9	2
	2	158.80	4	3	269.20	5	3
	3	150.20	12	8	251.20	4	3
BSQ6	1	153.10	20	13	143.15	11	8
	2	147.90	10	4	147.35	6	4
	3	156.60	4	4	162.40	7	5
TOTAL			146	108		117	76

En las figuras 23 y 24 se muestra la concentración promedio MPs totales y MPs solo en tejido encontrados como fibras y fragmentos en los organismos de los sitios de muestreo en BSQ durante invierno y verano respectivamente. La concentración más alta de fibras se obtuvo en los MPs totales del sitio BSQ6 en invierno con 0.075 ± 0.053 MPs g^{-1} de TF. No se encontraron fragmentos en todos los sitios y donde se encontraron fueron muy escasos. La mayor concentración de fragmentos se encontró en los organismos de BSQ1 con 0.006 ± 0.005 MPs g^{-1} de TF en invierno y en el sitio BSQ4 en verano con 0.006 ± 0.003 MPs g^{-1} de TF.

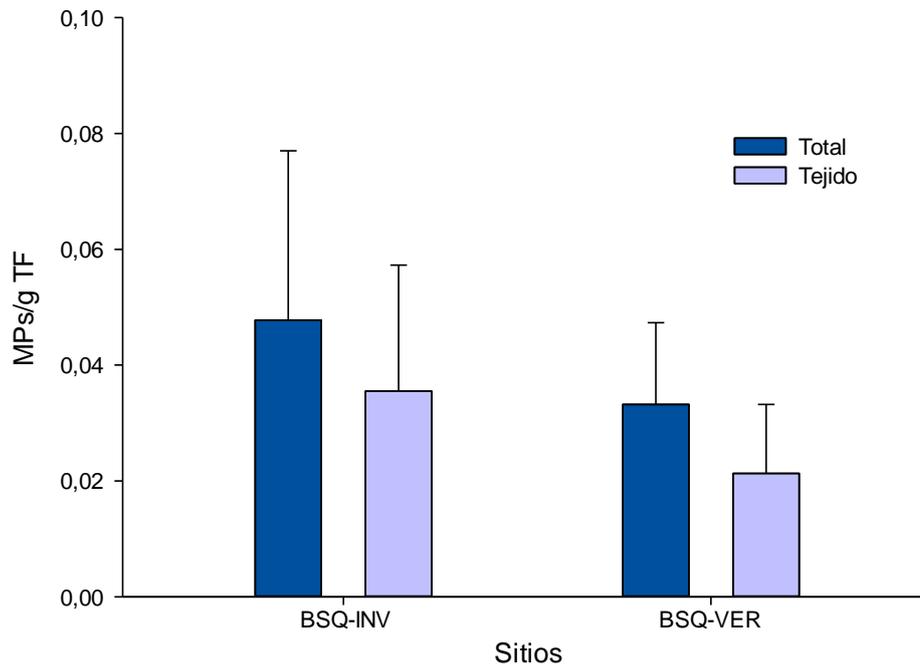


Figura 22. Concentración promedio de MPs totales (tejido y liquido intervalvar) y MPs en tejido de ostiones durante invierno (INV) y verano (VER) en BSQ.

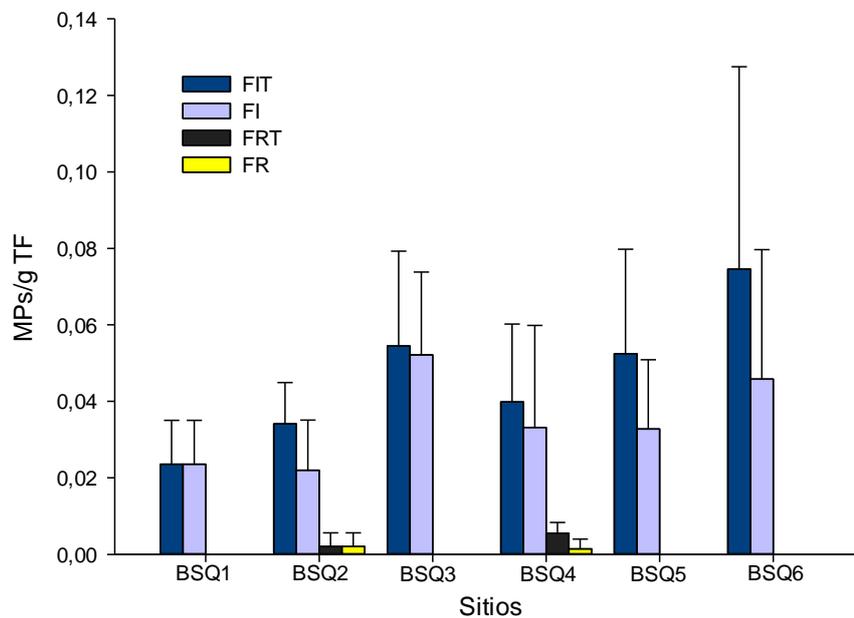


Figura 23. Concentración promedio de MPs totales (tejido y liquido intervalvar) (n = 3) como fibras (FIT) y fragmentos (FRT) y concentración promedio de MPs como fibras (FI) y fragmentos (FR) encontrados solo en tejido de ostiones de BSQ en invierno.

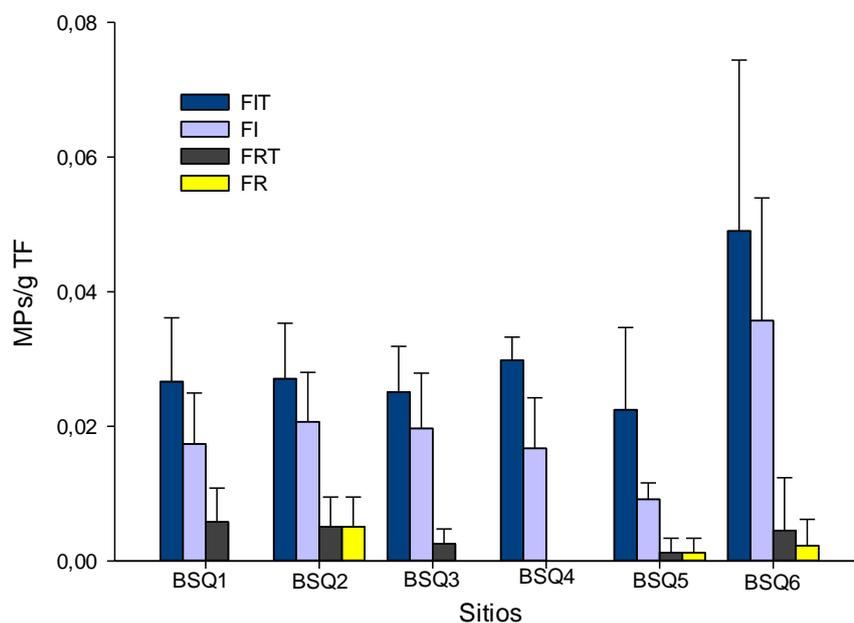


Figura 24. Concentración promedio de MPs totales (tejido y liquido intervalvar) ($n = 3$) como fibras (FIT) y fragmentos (FRT) y concentración promedio de MPs como fibras (FI) y fragmentos (FR) encontrados solo en tejido de ostiones de BSQ en verano.

En la tabla 8 se muestran las concentraciones promedio de MPs totales y MPs en el tejido de los organismos de BSQ. Se realizaron las comparaciones entre la concentración promedio de MPs totales (tejido y liquido intervalvar) entre los organismos de los 6 sitios de BSQ en invierno y en verano (Figura 25). No se encontraron diferencias significativas entre los ostiones de los sitios de BSQ en invierno (H Kruskal-Wallis; $P = 0.306$), ni en verano (ANOVA de una vía; $P = 0.115$). Esto mismo fue el caso cuando se comparó la concentración promedio de MPs en tejido. En invierno no se encontraron diferencias significativas (ANOVA de una vía; $P = 0.578$). No obstante, en verano se encontraron diferencias significativas en el contenido promedio de MPs en el tejido de ostiones (ANOVA de una vía; $P = 0.049$) entre los organismos de BSQ6 y BSQ5 (Tukey; $P < 0.050$).

Tabla 8. Concentración promedio (pp/ g TF \pm D.S.) (n = 3) de MPs totales y MPs en el tejido de los ostiones de BSQ en invierno y verano.

Sitio	Invierno		Verano	
	MPs totales	MPs tejido	MPs totales	MPs tejido
BSQ1	0.024 \pm 0.011	0.024 \pm 0.011	0.032 \pm 0.014	0.017 \pm 0.008
BSQ2	0.036 \pm 0.014	0.024 \pm 0.011	0.032 \pm 0.008	0.026 \pm 0.010
BSQ3	0.054 \pm 0.025	0.052 \pm 0.022	0.028 \pm 0.008	0.020 \pm 0.008
BSQ4	0.045 \pm 0.023	0.035 \pm 0.29	0.030 \pm 0.003	0.017 \pm 0.008
BSQ5	0.052 \pm 0.027	0.033 \pm 0.018	0.024 \pm 0.11	0.010 \pm 0.002
BSQ6	0.075 \pm 0.053	0.046 \pm 0.034	0.054 \pm 0.020	0.038 \pm 0.016

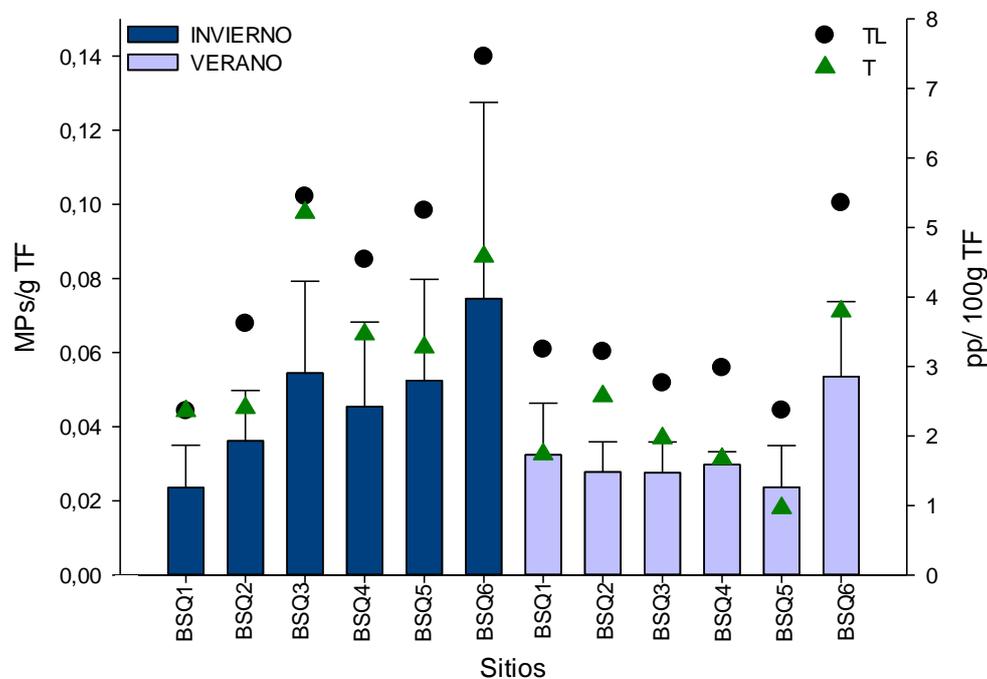


Figura 25. En el eje izquierdo se muestra la concentración promedio de MPs totales (tejido y líquido intervalvar) en ostiones de BSQ durante las dos temporadas de muestreo. En el eje derecho los círculos indican los MPs promedio totales (TL) por 100 g de tejido fresco, mientras que los triángulos (T) muestran el contenido promedio total de MPs únicamente en el tejido por cada 100g de TF.

Al realizar la estimación del contenido promedio de MPs totales por 100 g de tejido fresco de ostión (Figura 25), se encontró la mayor concentración en los organismos de BSQ6 en invierno con 7.46 ± 5.29 MPs g^{-1} de TF. Pero si se considera solo el tejido, la mayor contribución de MP sería por los organismos colectados en BSQ3 en invierno, con 5.213 ± 2.17 MPs g^{-1} de TF.

Químicamente la composición de los MPs encontrados en tejido (Figura 26) y liquido intervalvar (Figura 27) de los organismos, estuvo compuesta por 6 polímeros sintéticos: tereftalato de polietileno (PET), poliacrilonitrilo (PAN), Polietileno (PE), Poliamida (Nylon), polipropileno (PP) y poliestireno (PS). Como polímero semisintético se encontró únicamente rayón. El porcentaje mostrado de PAN incluye al polímero puro y los copolímeros de PAN con poli (Vinil Acetato: Etileno), poli (Etilacrilato: st: Acrilamida), poli (Acrlonitrilo: Metacrilato de metilo), poli (Estireno: Acrilonitrilo: Metacrilato de metilo). El porcentaje de PE incluye al polímero puro, HDPE, LDPE y al copolímero de Poli (Etileno: Propileno) y Poli (Etileno: Propileno: Dieno). En el tejido y liquido intervalvar el PET fue el polímero con mayor ocurrencia.

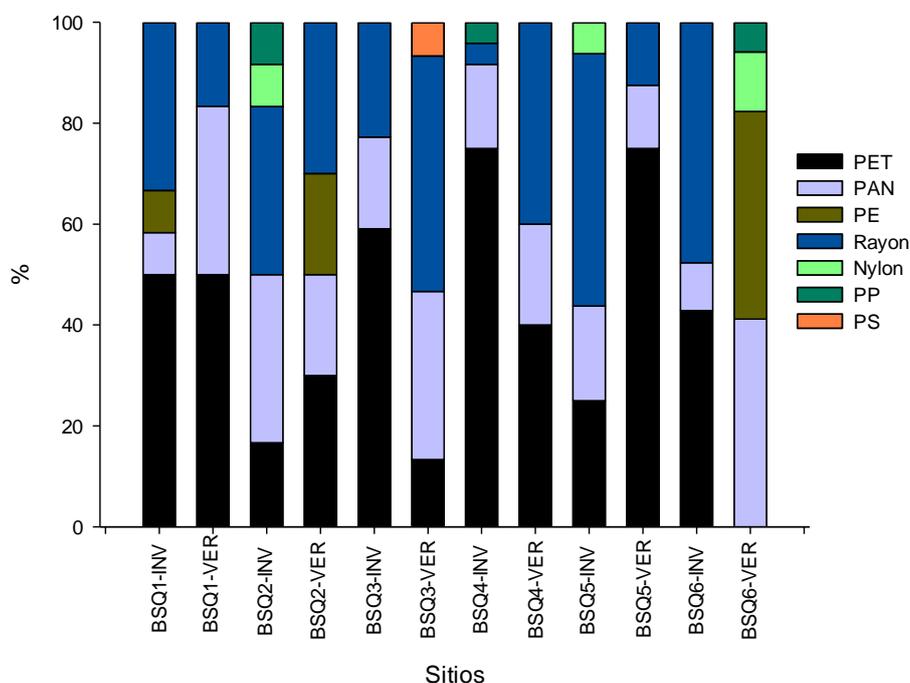


Figura 26. Proporción de polímeros sintéticos y semisintéticos encontrados en tejido de ostiones de BSQ en invierno (INV) y verano (VER).

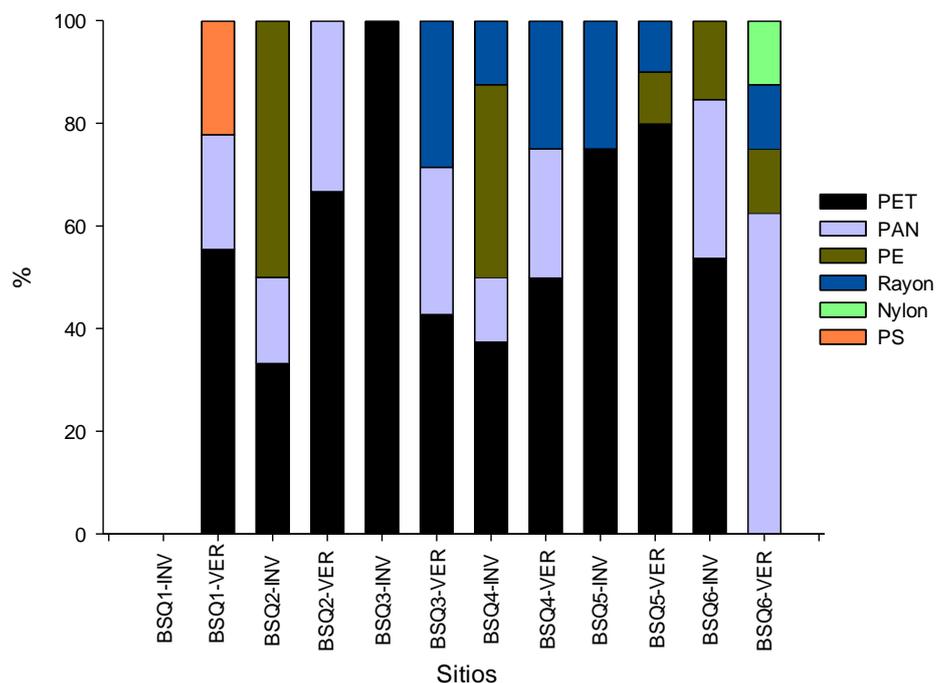


Figura 27. Proporción de polímeros sintéticos y semisintéticos encontrados en líquido intervalvar de ostiones de BSQ en invierno (INV) y verano (VER).

Los MPs encontrados en el tejido de los organismos (Figura 28) estuvieron conformados por 8 colores en total, el negro fue el color más abundante. En el caso del líquido intervalvar (Figura 29), se encontraron 5 colores distintos, de igual forma el color más abundante fue el negro.

Las fibras de MPs del tejido (Figura 30) y del líquido intervalvar (Figura 32) de los organismos de todos los sitios de muestreo en invierno y verano estuvieron compuestas en su mayoría por un tamaño mayor a 500 μm . Mientras que los fragmentos en el tejido (Figura 31) fueron menores a 500 μm y en el líquido intervalvar (Figura 33) tuvieron un tamaño menor a 1000 μm . Las fibras encontradas en invierno tuvieron un ancho promedio de $14.19 \pm 4.07 \mu\text{m}$, mientras que en verano fue de $16.54 \pm 6.76 \mu\text{m}$.

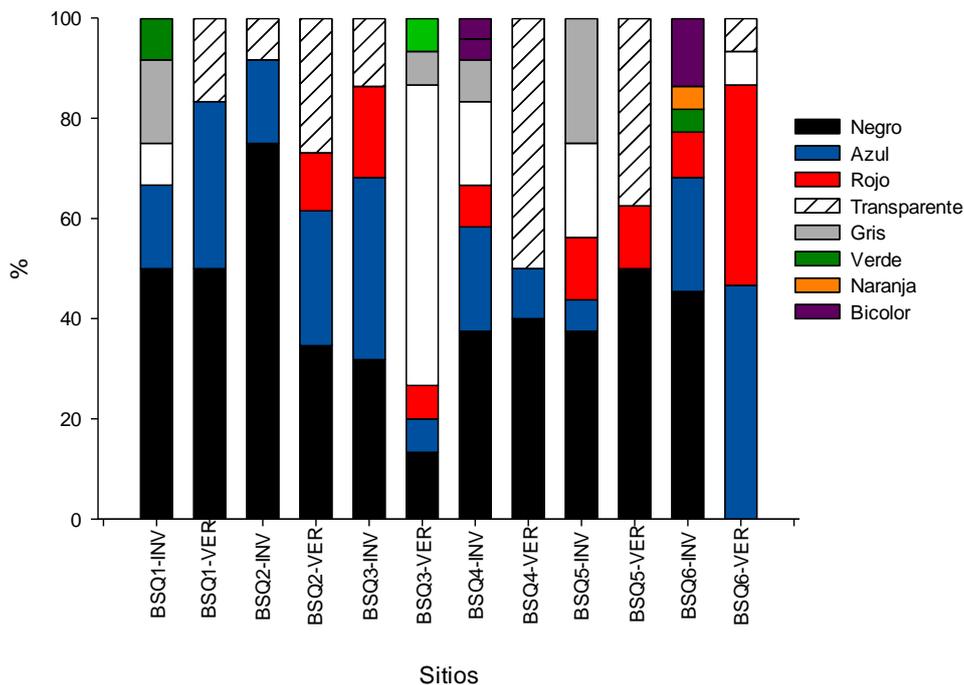


Figura 28. Composición de colores de los MPs encontrados en tejido de ostiones de BSQ en invierno (INV) y verano (VER).

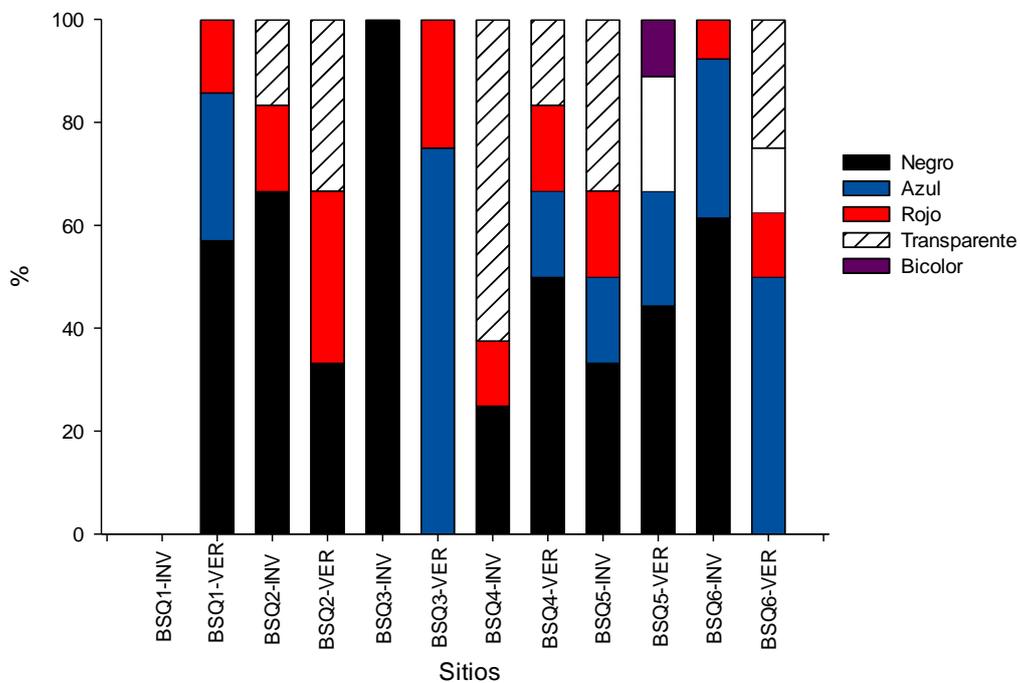


Figura 29. Composición de colores de los MPs encontrados en liquido intervalvar de ostiones de BSQ en invierno (INV) y verano (VER).

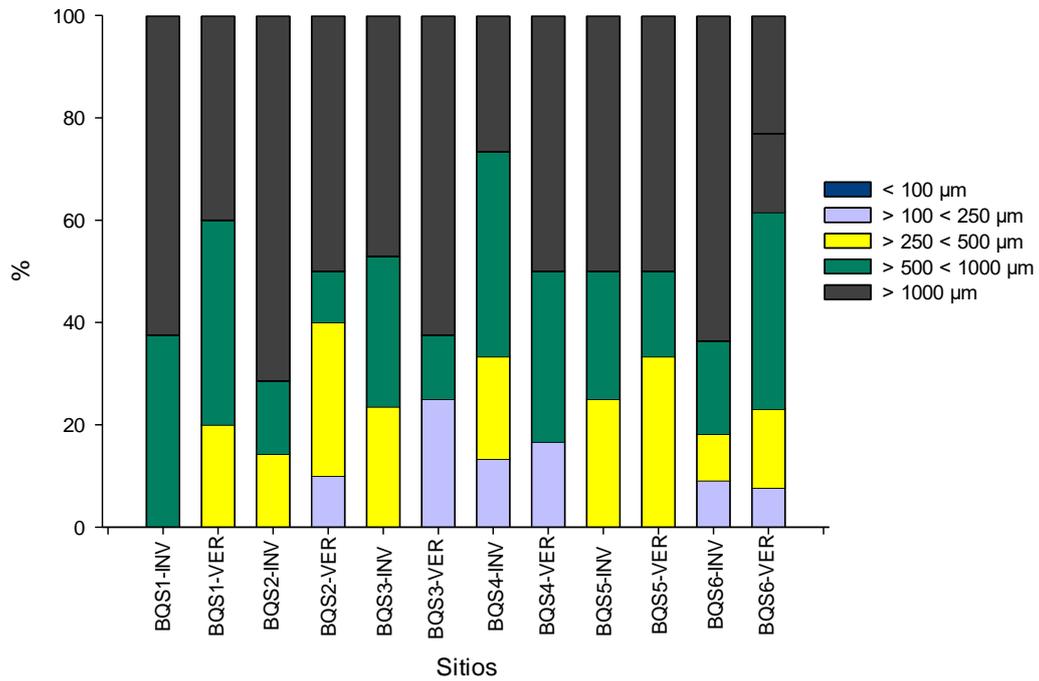


Figura 30. Clasificación por tamaños de las fibras de MPs encontrados en tejido en invierno (INV) y verano (VER).

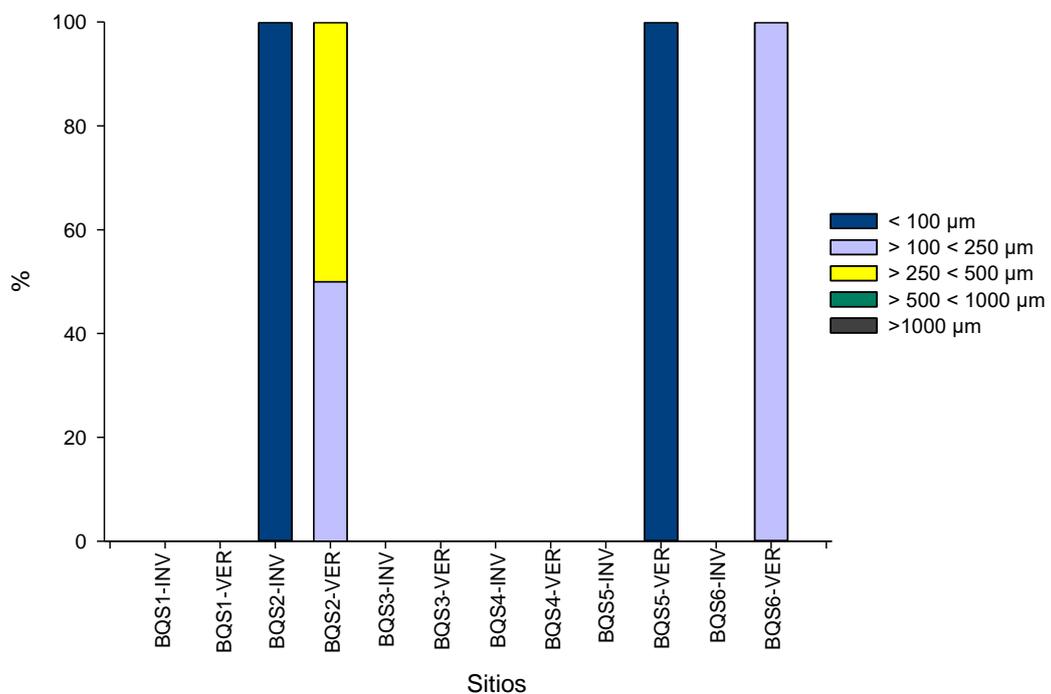


Figura 31. Clasificación por tamaños de los fragmentos de MPs encontrados en tejido en invierno (INV) y verano (VER).

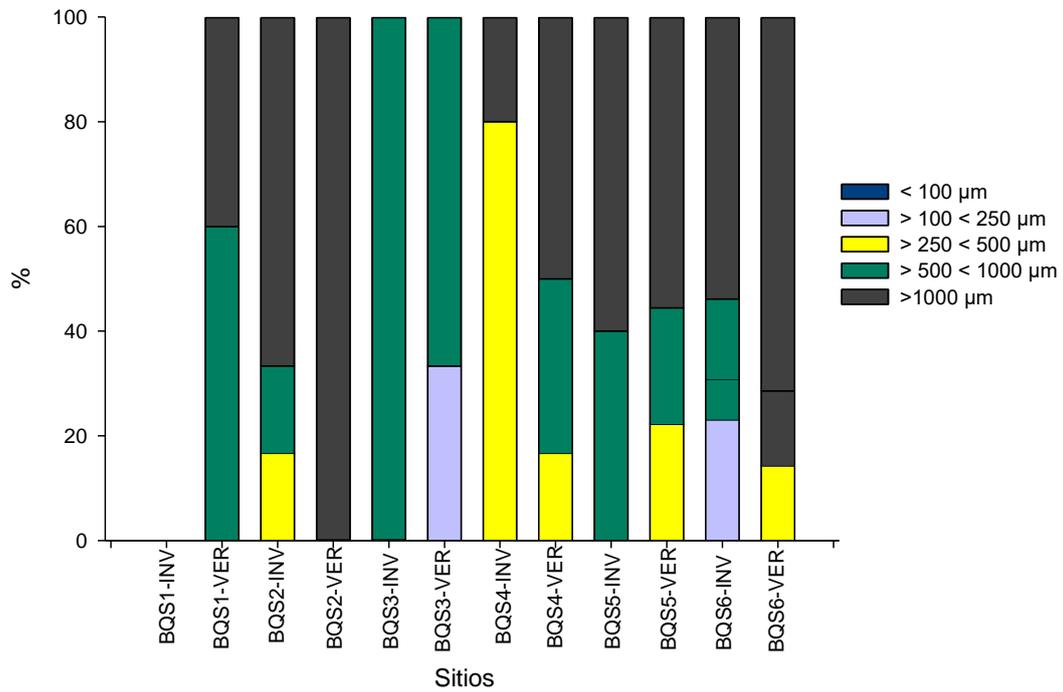


Figura 32. Clasificación por tamaños de las fibras de MPs encontrados en líquido intervalvar en invierno (INV) y verano (VER).

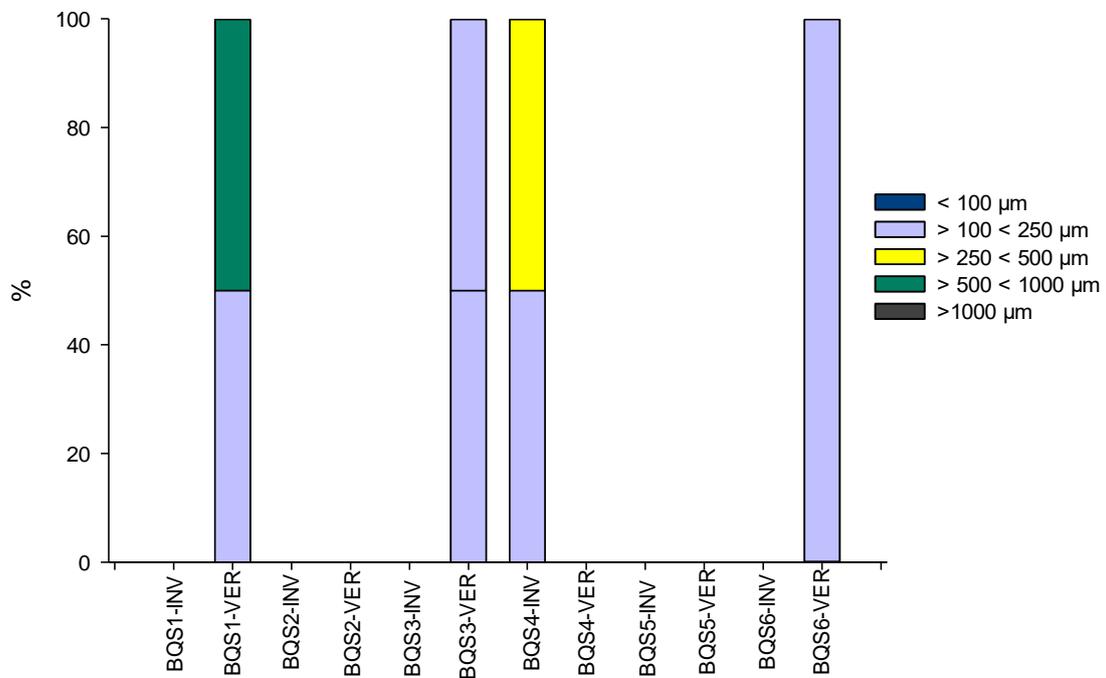


Figura 33. Clasificación por tamaños de los fragmentos de MPs encontrados en líquido intervalvar en invierno (INV) y verano (VER).

6.3 Comparación del contenido de MPs entre ostiones de BTS y BSQ

En la figura 34 se muestra la concentración promedio de MPs totales en los organismos de BTS y BSQ en invierno y verano. Durante las dos temporadas los ostiones de BTS presentaron la mayor concentración con 0.070 ± 0.030 MPs g^{-1} de TF en invierno y 0.034 ± 0.013 MPs g^{-1} de TF en verano. No se encontraron diferencias significativas en el contenido de MPs totales entre los organismos de las dos bahías en ninguna de las temporadas de muestreo. De igual forma, los organismos de BTS presentaron la mayor concentración promedio de MPs en el tejido con 0.066 ± 0.027 MPs g^{-1} de TF en invierno y 0.025 ± 0.014 MPs g^{-1} de TF en verano. También se comparó el contenido promedio de MPs en el tejido entre los organismos de BTS y BSQ. Únicamente se encontraron diferencias significativas entre los organismos analizados de invierno (t-Student; $P = 0.011$).

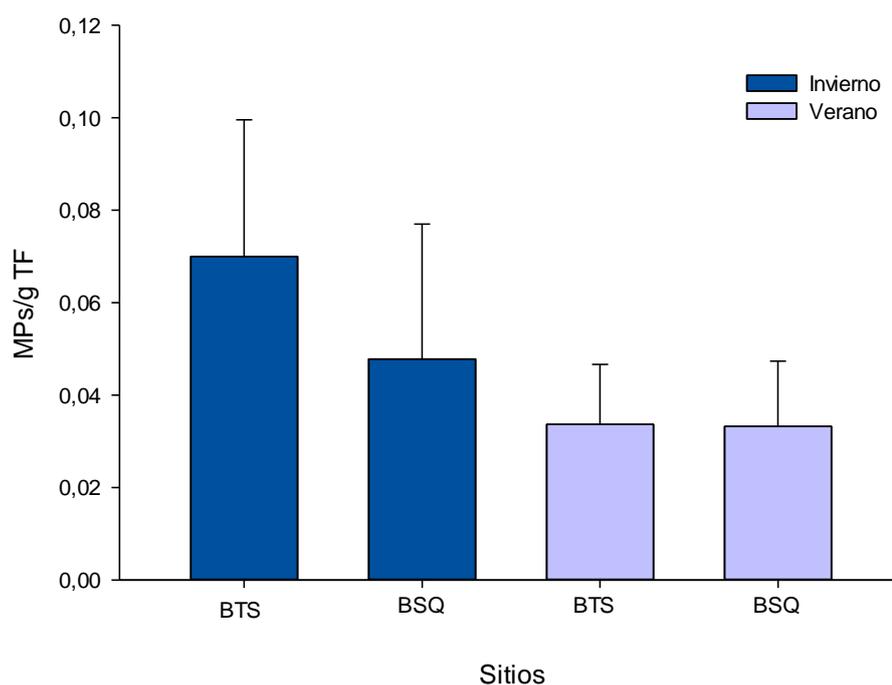


Figura 34. Concentración promedio de MPs totales en los ostiones analizados de BTS y BSQ.

6.4 Comparación del contenido de MPs entre el musculo y el sistema digestivo de los ostiones del muestreo de verano en BTS y BSQ

En los organismos del muestreo de verano se analizó por separado el contenido de MPs en el sistema digestivo y gónada del resto tejido blando. En la figura 35 se muestra la concentración de MPs por organismo. En el caso de BTS los organismos del sitio BTS2 fueron los que presentaron la mayor concentración de MPs en tejido y sistema digestivo con 0.378 ± 0.139 MPs org⁻¹ y 0.222 ± 0.204 MPs org⁻¹, respectivamente. En BSQ los ostiones del sitio BSQ2 resultaron con la mayor concentración de MPs en el tejido con 0.311 ± 0.038 MPs org⁻¹. Mientras que en el sistema digestivo los organismos de BSQ6 presentaron la mayor concentración de MPs con 0.356 ± 0.102 MPs org⁻¹. Se comparó la concentración de MPs entre el tejido blando y el sistema digestivo de los organismos en cada sitio (n = 3), únicamente se encontraron diferencias significativas en los organismos del sitio BSQ6 (t-student, P = 0.006).

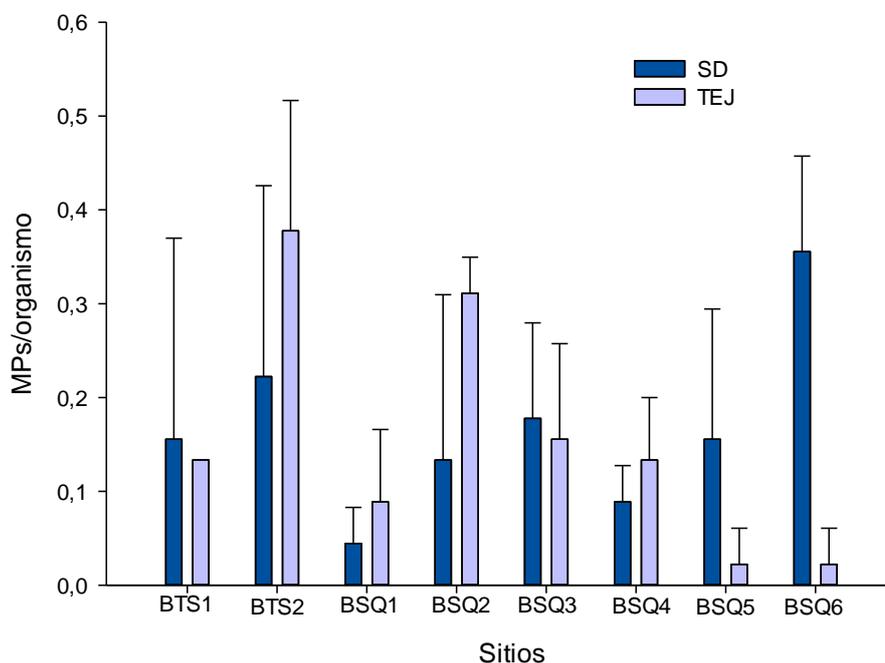


Figura 35. Concentración promedio (n = 3) de MPs en el sistema digestivo y gonada (SD) y el resto del tejido blando (TEJ) de ostiones de BTS y BSQ durante verano.

6.5 Análisis de las artes utilizadas para el cultivo de ostion en BTS y BSQ

En la tabla 9 se indican los distintos polímeros encontrados durante el análisis de las artes utilizadas para el cultivo de los organismos en BTS y BSQ, donde los principales polímeros sintéticos fueron polipropileno (PP) y polietileno (PE).

Tabla 9. Materiales utilizados en las artes de cultivo de ostión en BTS y BSQ.

Sitio	Artículo	Material	Clave
BTS1	Cuerda de colores	Copolímero PP	A
	Cuerda amarilla	HDPE	B
BTS2	Cinta amarilla	PVC	A
	Cinta Blanca	Copolímero PP	B
	Malla Blanca	Algodón	C
	Cuerda verde	Copolímero PP	D
	Cuerda azul	Copolímero PP	E
	Malla azul	LDPE	F
	Malla Transparente	Copolímero PP	G
	Cinta negra	Copolímero PE	H
	Malla negra	HDPE	I
	Malla negra	Copolímero PE	J
BSQ	Cuerda azul	Copolímero PP	A
	Cuerda naranja	Copolímero PP	B
	Malla negra	HDPE	C
	Cinta negra	PE	D
	Cinta transparente	PA	E

7. Discusión

7.1 Comparación en la concentración de MPs de ostiones de BTS y BSQ con otros sitios

Este es el primer estudio realizado en México donde se determinó y analizó el contenido de MPs en el ostión *Crassostrea gigas*. Existen diversos estudios a nivel mundial donde

se ha evaluado a esta especie. En este sentido, uno de los estudios más cercanos ha sido el de Baechler et al. (2019), donde se evaluó a ostiones de 15 sitios en las costas del estado de Oregón, EE.UU. y encontraron concentraciones promedio de MPs de 0.350 pp g⁻¹ de TF. Otro estudio similar es el de Martinelli et al. (2020) donde se analizó el contenido de MPs en ostiones del Estrecho de Puget, Washington, EE.UU. y encontraron concentraciones de hasta 0.072 pp g⁻¹ de TF. Estas concentraciones reportadas fueron muy similares a las halladas en este estudio en los organismos de BTS y BSQ (tab. 6 y 8). En la tabla 10 se muestran otros estudios alrededor del mundo donde se han reportado concentraciones en el ostión desde 0.07 hasta 215.18 pp g⁻¹ de TF.

Tabla 10. Estudios donde se ha determinado el contenido de MPs en el ostión *Crassostrea gigas* (modificado de Cho et al. (2019) y Teng et al. (2019)).

Fuente	MPs g ⁻¹ de TF	País
Este estudio	0.075 ± 0.016*	México
Van Cauwenberghe y Janssen, (2014)	0.47	Francia
Phuong et al. (2018)	0.18	Francia
Murphy, (2018)	212.18 ± 153.80	Canadá
	77.12 ± 126.00	
Teng et al. (2019)	0.11 – 2.35	China
Cho et al. (2019)	0.07 ± .06	Corea del Sur

*Mayor concentración de MPs encontrada en el tejido de ostiones de BTS2 en invierno

En la tabla 11 se muestran las concentraciones de MPs encontradas en otras especies de moluscos bivalvos de cultivo, concentraciones que van desde 0.036 ± 0.37 a 259.40 ± 114.10 MPs g⁻¹ de TF. Esto indica que a excepción del estudio realizado por Van Cauwenberghe y Janssen (2014) y Phuong et al. (2018) donde se encontraron concentraciones muy similares a las reportadas en este trabajo, que los organismos cultivados en BTS y BSQ presentan concentraciones muy por debajo de las de otros organismos alrededor del mundo.

Tabla 11. Estudios donde se ha determinado el contenido de MPs en algunas especies de cultivo acuícola (modificado de Cho et al. (2019)).

Fuente	Especie	PP/g de TF	País
Van Cauwenberghe y Janssen, (2014)	<i>M. edulis</i>	0.36 ± 0.37	Alemania
Li et al. (2016)	<i>M. edulis</i>	1.6	China
Digka et al. (2018)	<i>M. galloprovincialis</i>	2.5 ± 0.3	Grecia
Murphy, (2018)	<i>M. edulis</i>	259.40 ± 114.10	Canadá
	<i>V. philippinarum</i>	89.41 ± 50.88	

Es importante mencionar que en ninguno de estos estudios anteriores se analizó el contenido de MPs en el líquido intervalvar de los organismos. En el caso de este organismo, cobra importancia ya que comúnmente su consumo es en fresco e incluye el líquido intervalvar contenido en su interior. Nosotros encontramos que los MPs en el líquido intervalvar pueden llegar a ser igual o mayores (figuras anexo) que las encontradas en el tejido del ostión. Tal es el caso de los organismos del sitio BQS1 durante el verano (Figura 25), en donde las concentraciones de MPs en el tejido y en el líquido intervalvar fueron muy similares con valores promedio de 1.737 ± 0.757 MPs g^{-1} de TF y 1.506 ± 1.106 MPs g^{-1} de TF, respectivamente. En este sentido, es posible plantear como una buena medida el realizar un buen drenado y eliminar la mayor cantidad de líquido intervalvar del organismo para disminuir la cantidad de MPs que se ingieren durante el consumo de ostión.

Otro aspecto que conlleva el consumo de moluscos bivalvos que pudiera implicar un riesgo para la salud humana, es que al consumirlos enteros, se consume también su sistema digestivo, el cual sistema digestivo se estima que es de los órganos en donde ocurre la mayor acumulación de MPs en el organismo (Baechler et al., 2020). Sin embargo, en el análisis de los ostiones durante el verano, donde se compararon las concentraciones de MPs entre el sistema digestivo y el resto del tejido, se encontraron diferencias significativas en solo un sitio de los ocho que formaron parte de este estudio. El sitio BSQ6 mostró una gran diferencia entre las concentraciones (Figura 35), en el resto de los organismos no se detectaron diferencias. Incluso en los ostiones de los sitios BTS2, BSQ1, BSQ2 y BSQ4 el contenido de MPs en el tejido fue mayor que en el sistema digestivo. Esto podría indicar que los ostiones tienen un buen sistema de depuración y/o que los están cultivando en sitios donde los niveles de MPs son bajos.

En este estudio se estimó que la ingestión de MPs por consumir ostión *Crassostrea gigas* cultivado en BTS o BSQ es mínima comparada con el número de MPs en la atmósfera a las que se está expuesto anualmente (Reino Unido ha reportado un promedio entre 13,731 y 68,415 MPs (Catarino et al., 2018)).

Si se considera el consumo de 6 ostiones que son el equivalente a 100 g aproximadamente, los que representarían la mayor carga de MPs serían los organismos de BTS en invierno, con una concentración promedio de MPs totales de 7 ± 3 MPs $100 g^{-1}$ de TF y de MPs

tejido de 6.6 ± 2.7 MPs 100 g^{-1} de TF. A pesar de no contar con una aproximación de consumo promedio de ostión en México o en Baja California, se puede asumir que un consumo moderado sería esta ración mensualmente, por lo que se estarían ingiriendo entre 90 y 100 partículas de MPs anualmente por persona. Esto coincide con lo reportado por consumir mejillón en Reino Unido, donde se calculó que de acuerdo a la tasa promedio de consumo de estos organismos, al año se ingieren 123 MPs (Catarino et al., 2018). Además, se menciona que esta cantidad puede ser mayor en países donde es más frecuente el consumo, donde se pueden llegar a adquirir hasta 4620 partículas de MPs por año.

Aunque las concentraciones encontradas en los organismos sean consideradas bajas, no se puede descartar el hecho de que esto podría deberse a la capacidad de depuración de los ostiones y que por lo tanto la mayoría de los MPs no se acumulen. Sin embargo, existe el riesgo de que los compuestos tales como contaminantes o aditivos que puedan estar unidos a las partículas, sean liberados durante el lapso de tiempo que pasan los MPs dentro del organismo y estos generen una mayor repercusión dentro de ellos (Li et al., 2018). Evaluar la presencia en el tejido de los organismos de compuestos como los ftalatos o el bisfenol A (BPA) que son aditivos utilizados en la fabricación de plásticos, podría brindar información sobre la cantidad de MPs a las que han estado expuestos los organismos.

7.2 Diferencias espaciales y temporales en la concentración de MPs

7.2.1 Ostiones cultivados en BTS

Es posible que las diferencias en concentración de MPs en ostión entre verano e invierno, sean el resultado de los cambios en circulación y dispersión de partículas que se presenta entre estas temporadas, además del incremento de material particulado por el arrastre pluvial y por los efluentes de aguas residuales que descargan en la bahía.

Existen diferencias importantes en la ubicación de los sitios BTS1 y BTS2, a pesar de esto, no se encontraron diferencias significativas en la concentración promedio de MPs totales, ni en la concentración promedio de MPs en el tejido, en ninguna de las dos temporadas de muestreo. El primer sitio se encuentra dentro de una laguna costera llamada Estero de Punta Banda (EPB), un sitio protegido, tiene una concesión para el cultivo de ostión de 15.99 ha. El movimiento del agua está influenciado únicamente por las mareas y el viento. Las mareas son semidiurnas y en un ciclo se puede evacuar hasta

el 60% del agua, con un tiempo de residencia del agua mayor en la cabeza que en la boca (Ríos del Río, 2005). En cambio, BTS2 está ubicado en un sitio expuesto al sur dentro de BTS, la concesión de cultivo es de una mayor extensión con 260 ha y además de ostión se cultiva mejillón mediterráneo. En el área cercana al sitio se desarrollan importantes actividades pesqueras y portuarias (Ramírez-Álvarez et al., 2020).

En BTS la concentración de MPs más alta reportada en aguas superficiales ha sido de 0.63 pp m^{-3} (Ramírez-Álvarez et al., 2020), esta es menor a las reportadas en otras bahías como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12. Concentraciones de MPs reportadas en otras bahías alrededor del mundo.

Sitio	Concentración (MPs m⁻³)	Referencia
Bahía de Todos Santos, México	0.63	Ramirez-Alvarez et al. (2020)
Bahía de Ulsan, Corea	4.74	Kwon et al. (2020)
Bahía de Chesapeake, EE.UU.	1.245	Bikker et al. (2020)
Bahía de Guanabara, Brasil	21.3	Olivatto et al. (2019)
Bahía de Tampa, EE.UU.	5.8 ± 7.1	McEachern et al. (2019)
Bahía de Chabahar, Irán	1.14 ± 0.27	Aliabad et al. (2019)

En un estudio realizado sobre la circulación y dispersión de partículas en la Bahía de Todos Santos por Cervantes-Audelo (2013), se menciona que el tiempo de residencia máximo de partículas en invierno es de 13.3 días, mientras que en verano es de 10.5 días. Además, que durante el invierno la mayor cantidad de partículas se acumula en la parte norte de la bahía, desde el Puerto de Ensenada hasta la zona norte de la boca del Estero de Punta Banda (EPB).

Otra posible entrada de MPs sería el aporte natural de agua dulce en BTS; esta ocurre únicamente durante la temporada de lluvias (diciembre a febrero) a través del arroyo Ensenada y arroyo El Gallo. Sin embargo, existe un aporte continuo de agua dulce a la bahía, debido a la descarga de aguas residuales por parte de tres plantas de tratamiento municipales que son El Gallo, El Naranjo y El Sauzal (Ramírez-Álvarez et al., 2020). En EPB el aporte de agua dulce superficial ocurre de igual manera solo en la temporada de lluvias, por medio de dos arroyos, La Grulla y San Carlos (Ríos del Río, 2005).

7.2.2 Ostiones cultivados en BSQ

La mayor concentración de MPs en invierno y verano se encontró en el sitio BSQ6. Este sitio es el que se encuentra más alejado de la boca y en la parte alta de BF, es un sitio con circulación restringida en el que se presentan los mayores tiempos de residencia con hasta 14 días (Zertuche-Chanes, 2016), a diferencia del resto de la bahía con tiempos de residencia de entre 6 y 12 días (cercano a la boca hacia la parte alta del brazo de la bahía). Mientras que en la zona de la boca es muy dinámica y tiene tiempos de residencia en el rango de horas.

Los sitios BSQ5 y BSQ6 se encuentran ubicados muy cerca a praderas de pastos marinos (Hernández-López et al., 2017). Los pastos marinos se considera que actúan como trampa de partículas, entre ellas MPs (Huang et al., 2020). Sin embargo, este proceso de captura de MPs llega a ser muy variable y depende varios factores como son el tamaño de partícula, las características del sitio y las mareas (Cozzolino et al., 2020), en BSQ aún no se ha explorado esta hipótesis. En los sitios BSQ5 y BSQ6, estas condiciones podrían generar una mayor acumulación de partículas en el área, aunado a los largos periodos de residencia del agua, permitirían que los organismos estuvieran expuestos a estas partículas por mayor tiempo.

7.3 Tipos de polímeros encontrados en BTS y BSQ

A pesar de haber encontrado polímeros sintéticos y semisintéticos en todas las muestras de ostión de BTS y BSQ en las dos temporadas de muestreo, en algunos sitios la mayor proporción fue de partículas de polímeros de origen natural o que no responden al infrarrojo y no fue posible identificar su origen. Entre estos polímeros que se identificaron se encuentran algodón, celulosa y otros polímeros clasificados simplemente como “naturales”, debido a que su espectro (análisis de FTIR-ATR) fue característico de compuestos con origen de fuentes naturales, pero que no se pudieron determinar específicamente. Por último, se clasificó como “no identificado” a las partículas que fueron analizadas por FTIR-ATR pero que no respondieron al infrarrojo, por lo que el espectro obtenido no arrojó ninguna coincidencia y se descartaron como polímero sintético. En la figura 36 y 37 se muestra el porcentaje fibras y fragmentos totales (encontradas en tejido y líquido intervalvar) de los distintos polímeros sintéticos (sintéticos y semisintéticos), naturales (algodón, celulosa y otros) y no identificados,

hallados en los organismos de invierno y verano en BTS y BSQ. Las fibras de los organismos de BST estuvieron compuestas por al menos 40% de polímeros sintéticos y semisintéticos en los dos sitios de muestreo en invierno y verano. La mayor proporción de los fragmentos encontrados estuvo compuesta por polímeros no identificados (Figura 36).

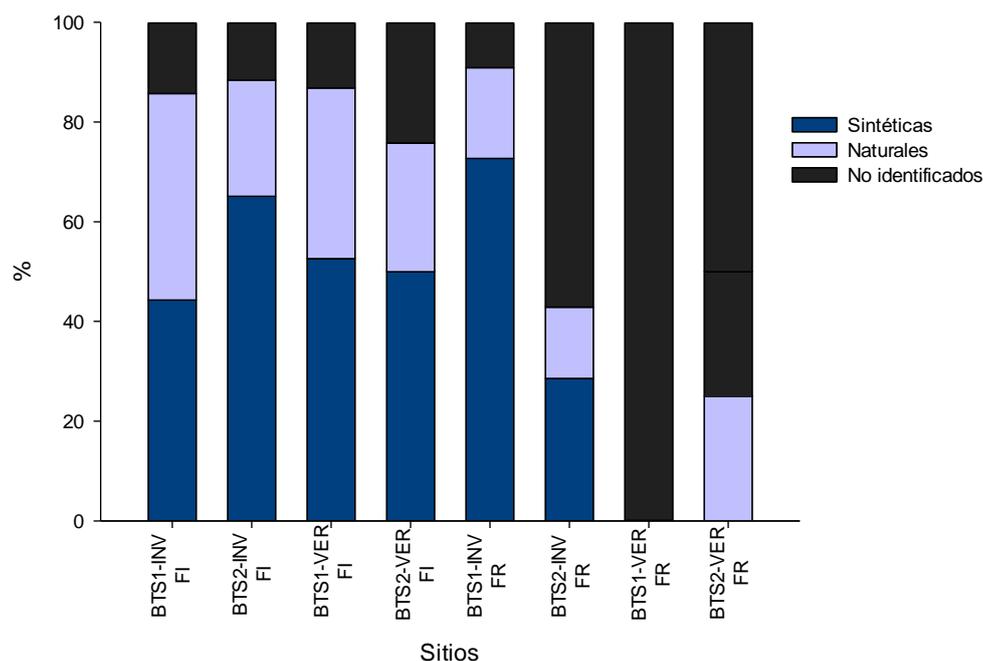


Figura 36. Proporción de polímeros totales (tejido y liquido intervalvar) encontrados como fibras (Fi) y fragmentos (FR) en ostiones de BTS en invierno (INV) y verano (VER).

En los organismos de BSQ, las fibras encontradas correspondieron a menos de un 40% de polímeros sintéticos o plásticos. La mayor proporción estuvo compuesta por polímeros de origen natural o no identificados en al menos un 50% en los organismos de todos los sitios durante las dos temporadas de muestreo. Los fragmentos hallados fueron en mayor proporción polímeros clasificados como no identificados (Figura 37).

Todas estas partículas que fueron analizadas, previamente se clasificaron como posibles MPs de acuerdo a las características físicas que fueron observadas en el microscopio estereoscópico y a las condiciones establecidas en la “Guía de identificación de microplásticos” (Marine & Environmental Research Institute, 2015). Además, a un porcentaje se le realizó la prueba de la “aguja caliente” establecida por De Witte et al.

(2014). Aun así, como se mostró en la tabla 4, menos del 50% de todas las partículas analizadas resultaron ser polímeros sintéticos o semisintéticos, el mayor porcentaje fue de polímeros naturales o no identificados. Esto confirma la necesidad de hacer un análisis cuantitativo para no sobreestimar el número de MPs. El análisis visual para la identificación de MPs y basándose en sus características físicas no es confirmatorio y se requiere de técnicas como el FT-IR para poder validar con certeza de que están compuestas las partículas encontradas.

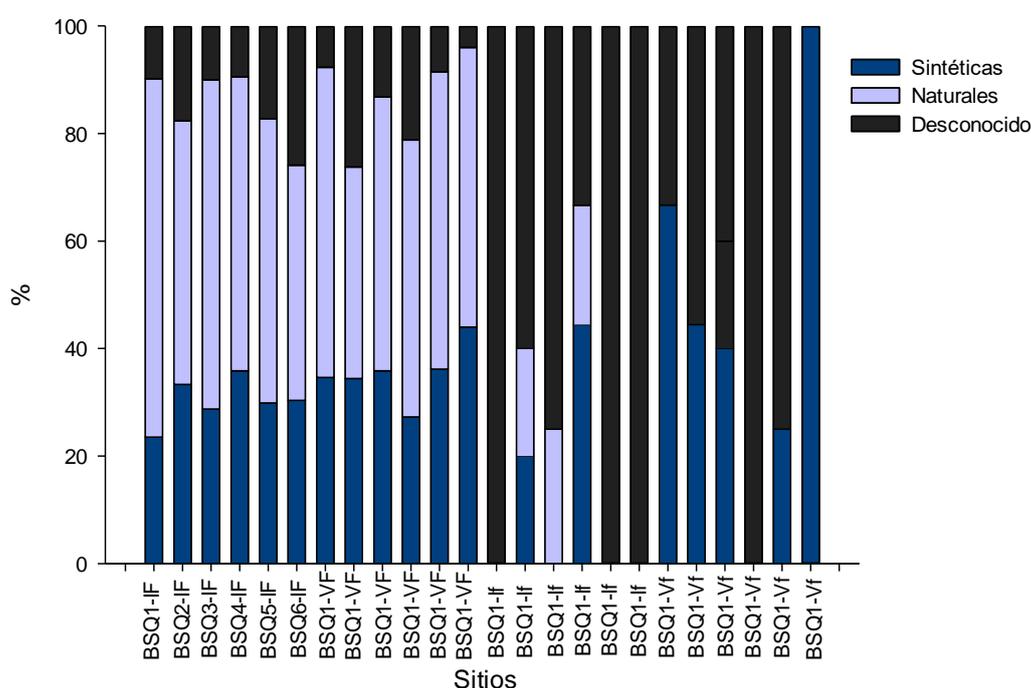


Figura 37. Proporción de polímeros totales (tejido y líquido intervalvar) encontrados como fibras (F) y fragmentos (f) en ostiones de BSQ en invierno (I) y verano (V).

7.4 Fuentes y tipos de polímeros sintéticos de los MPs

Uno de los principales desafíos para identificar el origen de los MPs es la falta de certidumbre en las fuentes, así como las vías de transferencia por la que las partículas llegan a un sitio (GESAMP, 2016). Sin embargo, conocer la composición de los MPs, brinda una herramienta para tratar de identificar su origen. Todos los polímeros sintéticos encontrados en los ostiones de BTS y BSQ, a excepción del PAN, forman parte de los polímeros sintéticos más comúnmente usados como plásticos en la sociedad y han sido reportados como MPs en ambientes marinos, tal como ha sido mencionado por GESAMP (2015) y Wang et al. (2016).

El polímero más abundante en las dos temporadas y en los dos sitios de muestreo fue el tereftalato de polietileno (PET) o poliéster (término utilizado en la industria textil). Existe un estudio realizado por Ramírez-Álvarez et al. (2020), en el que se determinó que existe la presencia de MPs en aguas superficiales y sedimentos en BTS, así como en aguas residuales, efluentes que son descargadas dentro de la bahía a cielo abierto. En aguas superficiales y en aguas residuales reportaron que, entre las fibras, uno de los principales compuestos hallados fue el PET. Esto concuerda con lo encontrado dentro de los organismos de BTS donde el PET fue el principal polímero sintético identificado en las fibras.

En el caso BSQ después del PET, el poliacrilonitrilo (PAN) y el rayón fueron los segundos polímeros más abundantes encontrados como fibras. En esta bahía no existen estudios previos en el que se haya determinado la presencia de MPs en el agua, sin embargo, no hay aportes de aguas residuales y los aportes de agua por escorrentía son mínimos o nulos durante la temporada de lluvia (Camacho-Ibar et al., 2003).

Se consideró como una de las fuentes principales de MPs para los organismos a las artes de cultivo de ostión, ya que están en contacto directo con ellos y están expuestas a la degradación en el medio ambiente, sin embargo, el análisis de este arrojó que se comprenden en su mayoría por polipropileno (PP) y polietileno (PE) (Tabla. 9). Estos polímeros sintéticos se encontraron en los organismos de BTS y BSQ, pero en proporciones muy bajas (Figura. 18, 26, 27).

Existen diversos estudios que mencionan a las aguas del lavado de ropa que llegan a las plantas de tratamiento y que son descargadas al océano, como una de las principales fuentes de fibras sintéticas, ya que estas se desprenden de la ropa durante el lavado. Entre estas fibras sintéticas, se menciona al PET o poliéster como se conoce en la industria textil, como uno de los principales materiales en la elaboración de ropa y se considera un desafío ambiental las grandes cantidades que ingresan y se acumulan en el medio ambiente (Pirc et al., 2016; De Falco et al., 2018; Gong et al., 2018).

Encontrar PET como el mayor compuesto en los organismos de BTS, plantea la posibilidad de que las fibras de la ropa que se desprenden durante el lavado y llegan a las aguas residuales, sean una de las principales fuentes de MPs en la Bahía y que afectan directamente a los organismos. Además, encontrar fibras de PAN y rayón que son también

materiales utilizados ampliamente en la industria textil, sustentan esta posibilidad. Ahora bien, en BSQ no existe la descarga de aguas residuales, por lo que se debe considerar una u otras fuentes distintas. Chen et al. (2020) menciona que se ha observado alrededor del mundo la presencia de MPs en el aire y que, aunque los estudios aún son limitados, estos concuerdan en que las fibras de telas sintéticas son la forma dominante de MPs en la atmosfera. Además, que los MPs en el aire contribuyen con la contaminación de ambientes marinos.

A pesar de que la presión poblacional en BSQ es menor que en BTS (cuenta con alrededor de 66,000 habitantes considerando los poblados cercanos), es un sitio donde se desarrollan ampliamente actividades de pesca, acuicultura y agricultura, Es por ello que vía aérea o derivado de las actividades que se realizan en la bahía, es que la población podría estar aportando MPs a la bahía.

Allen et al. (2019), encontraron que los MPs en la atmosfera pueden viajar hasta 95 km ya que por su pequeño tamaño es muy sencillo que sean transportados por el viento y concluyen que lo MPs pueden afectar áreas remotas, lejos de la civilización debido al transporte atmosférico. Esto permite proponer que puede existir una contribución atmosférica de MPs importante en BSQ y en BTS, sin embargo, sería necesario realizar una evaluación para conocer verdaderamente esta contribución. Browne et al. (2011) menciona que el aumento de la población genera cada vez más un aumento en el uso de telas sintéticas, lo que a su vez provoca un aumento en la contaminación por MPs en el ecosistema.

Por último, no se puede descartar el hecho de que los MPs encontrados sean importados de las aguas oceánicas que entran a las bahías. Sin embargo, sería necesario realizar un análisis posterior de las mismas para determinar su contribución con MPs. Evaluar el contenido de MPs en el aire, brindaría más evidencias para tratar de identificar las fuentes de entrada de MPs en la bahía, así como llevar acabo el análisis del contenido de MPs en las aguas oceánicas adyacentes a las bahías.

8. Conclusión

Este estudio muestra la primera evidencia de la presencia de MPs en organismos de Bahía de Todos Santos y Bahía San Quintín, establece una línea base que servirá para la comparación en futuros análisis de MPs en organismos de la región.

A pesar de haber encontrado MPs en los organismos de todos los sitios evaluados, no se considera que el consumo de ostiones cultivados en BTS y BSQ represente un riesgo para la salud humana, ya que la concentración de MPs fue mínima. Por ello, es necesario llevar a cabo otros análisis para determinar si los organismos son afectados.

Se encontraron diferencias temporales y espaciales en la concentración de MPs entre los organismos de los diferentes sitios. Las lluvias, la densidad de población y la circulación parecen ser factores que influyen en el contenido de MPs del ostión. Esto se vio reflejado en el contenido de MPs en el tejido de los organismos de BTS, sitio donde se encontró la mayor concentración de MPs. El cual cuenta una mayor presión poblacional y que tiene un aporte constante de agua dulce; producto de las plantas de tratamiento, que además aumenta durante las temporadas de lluvia, aunado al aporte por escorrentía.

En BSQ, la circulación pareció ser el factor determinante en la concentración de MPs encontrada en los organismos, ya que se presentó en los ostiones cultivados en el sitio más restringido y con los tiempos de residencia más largos, asimismo cercano a una pradera de pastos marinos.

Las fibras sintéticas y semisintéticas más abundantes fueron de origen textil (tereftalato de polietileno, poliacrilonitrilo y rayón), esto permite plantear como una fuente principal en el caso de BTS a las aguas de lavado que son descargadas en la bahía como aguas residuales, sin embargo, no es posible establecer un posible origen en BSQ.

Literatura citada

- Aliabad, M. K., Nassiri, M., & Kor, K. (2019). Microplastics in the surface seawaters of Chabahar Bay, Gulf of Oman (Makran Coasts). *Marine Pollution Bulletin*, 143(November 2018), 125–133. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.037>
- Allen, S., Allen, D., Phoenix, V. R., Le Roux, G., Durántez Jiménez, P., Simonneau, A., Binet, S., & Galop, D. (2019). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience*, 12(5), 339–344. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5>
- Avio, C. G., Gorbi, S., Milan, M., Benedetti, M., Fattorini, D., D'Errico, G., Pauletto, M.,

- Bargelloni, L., & Regoli, F. (2015). Pollutants bioavailability and toxicological risk from microplastics to marine mussels. *Environmental Pollution*, 198, 211–222. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.12.021>
- Baechler, B. R., Granek, E. F., Hunter, M. V., & Conn, K. E. (2019). Microplastic concentrations in two Oregon bivalve species: Spatial, temporal, and species variability. *Limnology and Oceanography Letters*. <https://doi.org/10.1002/lol2.10124>
- Baechler, B. R., Stienbarger, C. D., Horn, D. A., Joseph, J., Taylor, A. R., Granek, E. F., & Brander, S. M. (2020). Microplastic occurrence and effects in commercially harvested North American finfish and shellfish: Current knowledge and future directions. *Limnology and Oceanography Letters*, 5(1), 113–136. <https://doi.org/10.1002/lol2.10122>
- Baini, M., Martellini, T., Cincinelli, A., Campani, T., Minutoli, R., Panti, C., Finoia, G., & Cristina, M. (2016). Analytical Methods First detection of seven phthalate esters (PAEs) as plastic tracers in super fi cial neustonic / planktonic samples and cetacean blubber †. *Analytical Methods*, 00, 1–9. <https://doi.org/10.1039/C6AY02674E>
- Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Beaman, J., & Bergeron, C. (2016). *State of the Science White Paper A Summary of Literature on the Chemical Toxicity of Plastics Pollution to Aquatic Life and Aquatic-Dependent Wildlife. December*, 50. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/plastics-aquatic-life-report.pdf>
- Bikker, J., Lawson, J., Wilson, S., & Rochman, C. M. (2020). Microplastics and other anthropogenic particles in the surface waters of the Chesapeake Bay. *Marine Pollution Bulletin*, 156(January), 111257. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111257>
- Browne, Mark A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M., & Thompson, R. C. (2008). Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental Science and Technology*, 42(13), 5026–5031. <https://doi.org/10.1021/es800249a>
- Browne, Mark Anthony, Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks. *Environmental Science and Technology*, 45(21), 9175–9179. <https://doi.org/10.1021/es201811s>
- Camacho-Ibar, V. F., Carriquiry, J. D., & Smith, S. V. (2003). Non-conservative P and N Fluxes and Net Ecosystem Production in San Quintin Bay, México. *Estuaries*, 26(5), 1220–1237. <https://doi.org/10.1007/BF02803626>
- Catarino, A. I., Macchia, V., Sanderson, W. G., Thompson, R. C., & Henry, T. B. (2018). Low levels of microplastics (MP) in wild mussels indicate that MP ingestion by humans is minimal compared to exposure via household fibres fallout during a meal. *Environmental Pollution*, 237, 675–684. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.069>
- Cervantes-Audelo, I. (2013). Análisis de circulación y dispersión en la Bahía de Todos Santos, Baja California. *CICESE*, 61.
- Chávez-Villalba, J. (2014). Cultivo de ostión *Crassostrea gigas*: Análisis de 40 años de actividades en México. *Hidrobiologica*, 24(3), 175–190.
- Chen, G., Feng, Q., & Wang, J. (2020). Mini-review of microplastics in the atmosphere and their

- risks to humans. *Science of the Total Environment*, 703, 135504. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135504>
- Cho, Y., Shim, W. J., Jang, M., Han, G. M., & Hong, S. H. (2019). Abundance and characteristics of microplastics in market bivalves from South Korea. *Environmental Pollution*, 245, 1107–1116. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.091>
- Cozzolino, L., Nicastro, K. R., Zardi, G. I., & de los Santos, C. B. (2020). Species-specific plastic accumulation in the sediment and canopy of coastal vegetated habitats. *Science of the Total Environment*, 723, 138018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138018>
- Crawford, C. B., & Quinn, B. (2017). *The biological impacts and effects of contaminated microplastics*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809406-8.00007-4>
- De Falco, F., Gullo, M. P., Gentile, G., Di Pace, E., Cocca, M., Gelabert, L., Brouta-Agnésa, M., Rovira, A., Escudero, R., Villalba, R., Mossotti, R., Montarsolo, A., Gavignano, S., Tonin, C., & Avella, M. (2018). Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics. *Environmental Pollution*, 236, 916–925. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.057>
- De Witte, B., Devriese, L., Bekaert, K., Hoffman, S., Vandermeersch, G., Cooreman, K., & Robbens, J. (2014). Quality assessment of the blue mussel (*Mytilus edulis*): Comparison between commercial and wild types. *Marine Pollution Bulletin*, 85(1), 146–155. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.006>
- Digka, N., Tsangaris, C., Torre, M., Anastasopoulou, A., & Zeri, C. (2018). Microplastics in mussels and fish from the Northern Ionian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 135(February), 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.063>
- European Commission. (2019). Environmental and Health risks of Microplastic pollution. In *Aquatic Ecology Lab*. <https://doi.org/10.2777/54199>
- FAO. (2014). *Crassostrea gigas (Thunberg, 1793)*. 9(10), 11–15.
- FAO. (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. <https://doi.org/CC BY-NC-SA 3.0 IGO>
- Flores-Vidal, X., Durazo, R., Castro, R., Navarro, L. F., Dominguez, F., & Gil, E. (2015). Fine-Scale Tidal and Subtidal Variability of an Upwelling-Influenced Bay as Measured by the Mexican High Frequency Radar Observing System. *Coastal Ocean Observing Systems*, 209–228. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802022-7.00012-2>
- Flores Vidal, X. (2006). *Circulacion Residual En Bahia San Quinin, B.C. Mexico*.
- Gallo, F., Fossi, C., Weber, R., Santillo, D., Sousa, J., Ingram, I., Nadal, A., & Romano, D. (2018). Marine litter plastics and microplastics and their toxic chemicals components: the need for urgent preventive measures. *Environmental Sciences Europe*, 30(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0139-z>
- GESAMP. (2015). Sources, fate and effects of MP in the marine environment. *Journal Series GESAMP Reports and Studies*, 90, 98. www.imo.org
- GESAMP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. (2016). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part 2 of a global assessment. (IMO, FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP). In: Kershaw, P.J. (Ed.), Rep. Stud. GESAMP No. 90 (96 pp). *Reports and Studies GESAMP, No. 93, 96 P., 93*.
- Gong, J., Kong, T., Li, Y., Li, Q., Li, Z., & Zhang, J. (2018). Biodegradation of microplastic

- derived from poly(ethylene terephthalate) with bacterial whole-cell biocatalysts. *Polymers*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/polym10121326>
- Guzzetti, E., Sureda, A., Tejada, S., & Faggio, C. (2018). Microplastic in marine organism: Environmental and toxicological effects. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 64(October), 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2018.10.009>
- Harris, J. (2008). Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Aquatic Invasions Ecology*, December 2008, 1–12.
- Hernández-López, J., Camacho-Ibar, V. F., Macías-Tapia, A., McGlathery, K. J., Daesslé, L. W., & Sandoval-Gil, J. M. (2017). Benthic nitrogen fixation in *Zostera marina* meadows in an upwelling-influenced coastal lagoon. *Ciencias Marinas*, 43(1), 35–53. <https://doi.org/10.7773/cm.v43i1.2700>
- Huang, Y., Xiao, X., Xu, C., Perianen, Y. D., Hu, J., & Holmer, M. (2020). Seagrass beds acting as a trap of microplastics - Emerging hotspot in the coastal region? *Environmental Pollution*, 257, 113450. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113450>
- Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C., Mu, J., & Shi, H. (2017). Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environmental Pollution*, 221, 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.055>
- Jacobs, R. P. W. M., & McRoy, C. P. (1984). Biomass potential of eelgrass (*zostera marina* l.). *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2(1), 49–80. <https://doi.org/10.1080/07352688409382188>
- Kwon, O. Y., Kang, J. H., Hong, S. H., & Shim, W. J. (2020). Spatial distribution of microplastic in the surface waters along the coast of Korea. *Marine Pollution Bulletin*, July, 110729. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110729>
- Law, K., & Thompson, R. C. (2014). Microplastics in the seas - Concern is rising about widespread contamination of the marine environment by microplastics. *Science*, 345(6193), 144–145. <https://doi.org/10.1002/2014EF000240/polymer>
- Li, H. X., Ma, L. S., Lin, L., Ni, Z. X., Xu, X. R., Shi, H. H., Yan, Y., Zheng, G. M., & Rittschof, D. (2018). Microplastics in oysters *Saccostrea cucullata* along the Pearl River Estuary, China. *Environmental Pollution*, 236, 619–625. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.083>
- Li, J., Qu, X., Su, L., Zhang, W., Yang, D., Kollandhasamy, P., Li, D., & Shi, H. (2016). Microplastics in mussels along the coastal waters of China. *Environmental Pollution*, 214, 177–184. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.012>
- Li, J., Yang, D., Li, L., Jabeen, K., & Shi, H. (2015). Microplastics in commercial bivalves from China. *Environmental Pollution*, 207, 190–195. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.09.018>
- Lo, H. S., Xu, X., Wong, C. Y., & Cheung, S. G. (2018). Comparisons of microplastic pollution between mudflats and sandy beaches in Hong Kong. *Environmental Pollution*, 236, 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.031>
- Lusher, A., Hollman, P., & Mendozal, J. (2017). Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. In *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 615*. <https://doi.org/978-92-5-109882-0>
- Marine & Environmental Research Institute. (2015). *Guide to Microplastics Identification*. 14.

http://sfyl.ifas.ufl.edu/media/sfylifasufledu/flagler/sea-grant/pdf-files/microplastics/MERI_Guide-to-Microplastic-Identification.pdf

- Martinelli, J. C., Phan, S., Luscombe, C. K., & Padilla-Gamiño, J. L. (2020). Low incidence of microplastic contaminants in Pacific oysters (*Crassostrea gigas* Thunberg) from the Salish Sea, USA. *Science of the Total Environment*, 715, 136826. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136826>
- Mateos, E., & Marinone, S. G. (2017). Variabilidad de corrientes por propagación de ondas en bahía de Todos Santos, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 43(3), 191–201. <https://doi.org/10.7773/cm.v43i3.2775>
- Mathalon, A., & Hill, P. (2014). Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor, Nova Scotia. *Marine Pollution Bulletin*, 81(1), 69–79. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.02.018>
- McEachern, K., Alegria, H., Kalagher, A. L., Hansen, C., Morrison, S., & Hastings, D. (2019). Microplastics in Tampa Bay, Florida: Abundance and variability in estuarine waters and sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 148(August), 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.07.068>
- Meillon-Menchaca, O., & Álvarez-Borrego, J. (1997). *Análisis Del Comportamiento Espacial Del Oleaje En La Bahía De Todos Santos, Baja California, Mediante Imágenes De Superficies Marinas Spatial Wave Behavior Analysis in Todos Santos Bay, Baja California, By Means of Images of the Sea Surface*. 23, 23–41. <https://doi.org/dx.doi.org/10.7773/cm.v23i1.782>
- Munno, K., Helm, P. A., Jackson, D. A., Rochman, C., & Sims, A. (2018). Impacts of temperature and selected chemical digestion methods on microplastic particles. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37(1), 91–98. <https://doi.org/10.1002/etc.3935>
- Murphy, C. L. (2018). *A Comparison of Microplastics in Farmed and Wild Shellfish near Vancouver Island and Potential Implications for Contaminant Transfer to Humans*. 1–75. <https://viurrspace.ca/handle/10613/5540>
- Olivatto, G. P., Martins, M. C. T., Montagner, C. C., Henry, T. B., & Carreira, R. S. (2019). Microplastic contamination in surface waters in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 139(December 2018), 157–162. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.042>
- Oluniyi Solomon, O., & Palanisami, T. (2016). Microplastics in the Marine Environment: Current Status, Assessment Methodologies, Impacts and Solutions. *Journal of Pollution Effects & Control*, 04(02). <https://doi.org/10.4172/2375-4397.1000161>
- Phuong, N. N., Poirier, L., Pham, Q. T., Lagarde, F., & Zalouk-Vergnoux, A. (2018). Factors influencing the microplastic contamination of bivalves from the French Atlantic coast: Location, season and/or mode of life? *Marine Pollution Bulletin*, 129(2), 664–674. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.054>
- Pirc, U., Vidmar, M., Mozer, A., & Kržan, A. (2016). Emissions of microplastic fibers from microfiber fleece during domestic washing. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(21), 22206–22211. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7703-0>
- Plastics-Europe. (2019). *Plastics - the Facts 2019*. <https://www.plasticseurope.org/en/resources/market-data>
- Rainieri, S., & Barranco, A. (2019). Microplastics, a food safety issue? *Trends in Food Science and Technology*, 84(June 2017), 55–57. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.12.009>

- Ramírez-Álvarez, N., Rios Mendoza, L. M., Macías-Zamora, J. V., Oregel-Vázquez, L., Alvarez-Aguilar, A., Hernández-Guzmán, F. A., Sánchez-Osorio, J. L., Moore, C. J., Silva-Jiménez, H., & Navarro-Olache, L. F. (2020). Microplastics: Sources and distribution in surface waters and sediments of Todos Santos Bay, Mexico. *Science of the Total Environment*, 703. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134838>
- Ribeiro, F., Garcia, A. R., Pereira, B. P., Fonseca, M., Mestre, N. C., Fonseca, T. G., Ilharco, L. M., & Bebianno, M. J. (2017). Microplastics effects in *Scrobicularia plana*. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1–2), 379–391. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.078>
- Ríos del Río, L. M. (2005). *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR) 1. Nombre y dirección del compilador de la Ficha: PARA USO INTERNO DE LA OFICINA DE RAMSAR. DD MM YY Designation date Site Reference Number.* 1–12.
- Rios Mendoza, L. M., & Balcer, M. (2019). Microplastics in freshwater environments: A review of quantification assessment. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 113, 402–408. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.020>
- Rios Mendoza, L. M., & Jones, P. R. (2015). Characterisation of microplastics and toxic chemicals extracted from microplastic samples from the North Pacific Gyre. *Environmental Chemistry*, 12(5), 611–617. <https://doi.org/10.1071/EN14236>
- Rochman, C. M., Brookson, C., Bikker, J., Djuric, N., Earn, A., Bucci, K., Athey, S., Huntington, A., McIlwraith, H., Munno, K., Frond, H. De, Kolomijeca, A., Erdle, L., Grbic, J., Bayoumi, M., Borrelle, S. B., Wu, T., Santoro, S., Werbowski, L. M., ... Hung, C. (2019). Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38(4), 703–711. <https://doi.org/10.1002/etc.4371>
- Sandoval-Gil, J., Alexandre, A., Santos, R., & Camacho-Ibar, V. F. (2016). Nitrogen Uptake and Internal Recycling in *Zostera marina* Exposed to Oyster Farming: Eelgrass Potential as a Natural Biofilter. *Estuaries and Coasts*, 39(6), 1694–1708. <https://doi.org/10.1007/s12237-016-0102-4>
- Teng, J., Wang, Q., Ran, W., Wu, D., Liu, Y., Sun, S., Liu, H., Cao, R., & Zhao, J. (2019). Microplastic in cultured oysters from different coastal areas of China. *Science of the Total Environment*, 653, 1282–1292. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.057>
- Thiele, C. J., Hudson, M. D., & Russell, A. E. (2019). Evaluation of existing methods to extract microplastics from bivalve tissue: Adapted KOH digestion protocol improves filtration at single-digit pore size. *Marine Pollution Bulletin*, 142(April), 384–393. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.003>
- UNEP. (2016). Recommended citation: Acknowledgements: *Marine Plastic Debris and Microplastics – Global Lessons and Research to Inspire Action and Guide Policy Change. United Nations Environment Programme, Nairobi.*
- Van Cauwenberghe, L., & Janssen, C. R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution*, 193, 65–70. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.010>
- Von Moos, N., Burkhardt-Holm, P., & Köhler, A. (2012). Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. *Environmental Science and Technology*, 46(20), 11327–11335. <https://doi.org/10.1021/es302332w>
- Wang, J., Tan, Z., Peng, J., Qiu, Q., & Li, M. (2016). The behaviors of microplastics in the marine environment. *Marine Environmental Research*, 113, 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.10.014>

- Woods, M. N., Stack, M. E., Fields, D. M., Shaw, S. D., & Matrai, P. A. (2018). Microplastic fiber uptake, ingestion, and egestion rates in the blue mussel (*Mytilus edulis*). *Marine Pollution Bulletin*, 137(July), 638–645. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.10.061>
- Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017). *Plastic and Human Health: A Micro Issue?* <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00423>
- Zertuche-Chanes, R. (2016). *Simulación Numérica 3D De La Hidrodinámica De Bahía San Quintín Y Su Influencia En La Distribución de Nitrato*.
- Zhang, H. (2017). Transport of microplastics in coastal seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 199, 74–86. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.09.032>

Anexos

Anexo 1.- Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para comparar el contenido de MPs totales (tejido y liquido intervalvar)

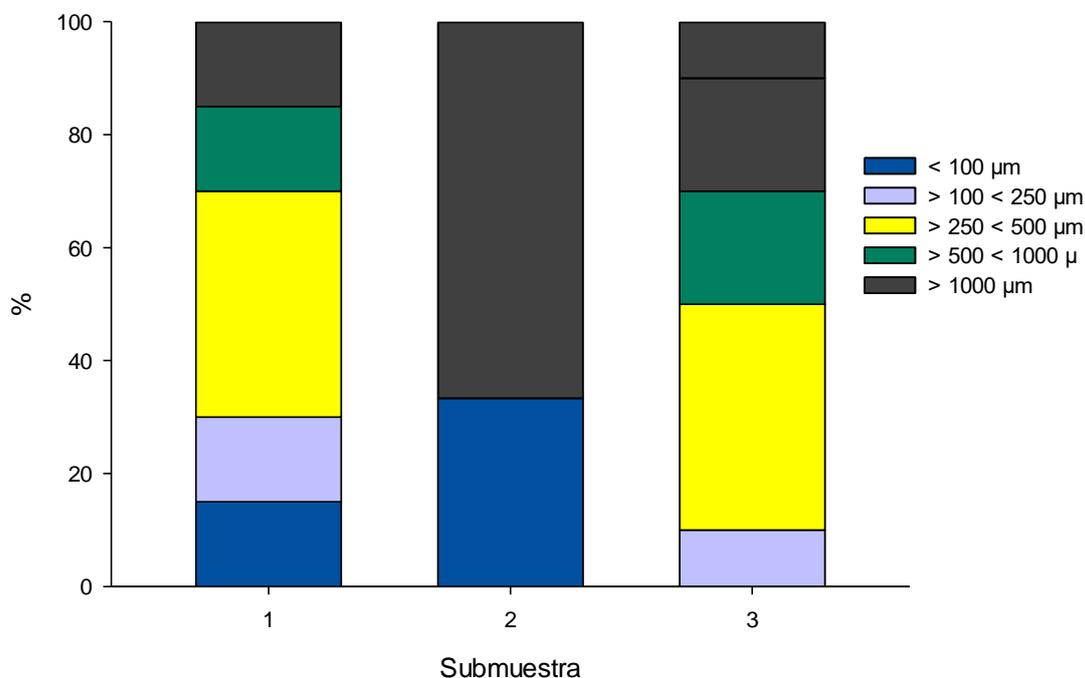
Comparación	Prueba	Significancia
BTS-INV vs BTS-VER	t-Student	P = 0.020
BSQ-INV vs BSQ-VER	U Mann-Whitney	P = 0.141
BTS-INV vs BSQ-INV	t-Student	P = 0.122
BTS-VER vs BSQ-VER	U Mann-Whitney	P = 0.714
Sitios BTS-INV	U Mann-Whitney	P = 0.400
Sitios BTS-VER	t-Student	P = 0.120
Sitios BSQ-INV	H Kruskal-Wallis	P = 0.306
Sitios BSQ-VER	ANOVA de una vía	P = 0.115

Anexo 2.- Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para comparar el contenido de MPs en el musculo de los organismos.

Comparación	Prueba	Significancia
BTS-INV vs BTS-VER	t-Student	P = 0.008
BSQ-INV vs BSQ-VER	U Mann-Whitney	P = 0.035
BTS-INV vs BSQ-INV	t-Student	P = 0.011
BTS-VER vs BSQ-VER	t-Student	P = 0.583
Sitios BTS-INV	t-Student	P = 0.437
Sitios BTS-VER	U Mann-Whitney	P = 0.400
Sitios BSQ-INV	ANOVA de una vía	P = 0.578
*Sitios BSQ-VER	ANOVA de una vía	P = 0.049
*Tukey	BSQ6 ≠ BSQ5	P < 0.050

Anexo 3.- Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para comparar el contenido de MPs en el líquido intervalvar de los organismos.

Comparación	Prueba	Significancia
BTS-INV vs BTS-VER	t-Student	P = 0.134
BSQ-INV vs BSQ-VER	U Mann-Whitney	P = 0.222
BTS-INV vs BSQ-INV	U Mann-Whitney	P = 0.368
BTS-VER vs BSQ-VER	U Mann-Whitney	P = 0.386
Sitios BTS-INV	t-Student	P = 0.029
Sitios BTS-VER	t-Student	P = 0.979
Sitios BSQ-INV	ANOVA de una vía	P = 0.165
Sitios BSQ-VER	ANOVA de una vía	P = 0.615



Anexo 4.- Composición por tamaños de los MPs encontrados por cada submuestra (n = 3) en los organismos de BTS1 en invierno.