

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN
CIENCIAS E INGENIERÍA**



TESIS

**MICROPLÁSTICOS EN PLAYAS DE LA PENÍNSULA
DE BAJA CALIFORNIA**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

TERESITA DE JESUS PIÑON COLIN

**DIRECTORES DE TESIS:
DR. FERNANDO TOYOHICO WAKIDA KUSUNOKI
DR. ENRIQUE GARCIA FLORES**

TIJUANA, B. C.

AGOSTO 2017

Universidad Autónoma de Baja California

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

COORDINACIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

FOLIO No. 208

Tijuana, B. C., a 17 de julio de 2017

C. Teresita de Jesús Piñón Colín
Pasante de: Maestro en Ciencias
Presente

El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional, en la
Opción TESIS

Es propuesto, por los C. Dres. Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki y Enrique
García Flores

Quienes serán los responsables de la calidad del trabajo que usted presente,
referido al tema: MICROPLÁSTICOS EN PLAYAS DE LA PENÍNSULA DE BAJA
CALIFORNIA

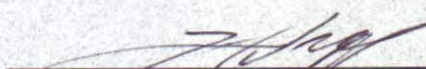
el cual deberá usted desarrollar, de acuerdo con el siguiente orden:

- I.- INTRODUCCIÓN
- II.- MARCO TEÓRICO
- III.- DESCRIPCIÓN DE SITIOS DE MUESTREO
- IV.- METODOLOGÍA
- V.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN
- VI.- CONCLUSIONES
- VII.- REFERENCIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE BAJA CALIFORNIA

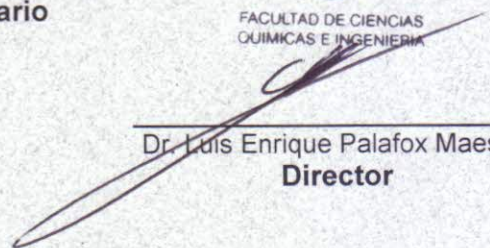


FACULTAD DE CIENCIAS
QUÍMICAS E INGENIERÍA


Dr. Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki
Director de Tesis


Dr. José Luis González Vázquez
Secretario


Dr. Enrique García Flores
Co-Director de Tesis


Dr. Luis Enrique Palafox Maestre
Director

RESUMEN

Los microplásticos son partículas plásticas cuya longitud es menor a 5 mm de longitud, pueden provenir de la fragmentación de plásticos de mayor tamaño; de productos de cuidado de belleza o de prendas de vestir. Con el objetivo de cuantificar e identificar los microplásticos en playas de la península de Baja California se colectaron 71 muestras en 21 sitios. Además se analizaron 9 productos de cuidado personal (exfoliantes y pasta de dientes) que contenían microplásticos. Los microplásticos se separaron mediante el uso del método de diferencias de densidades, utilizando una solución de NaCl. Su identificación se realizó utilizando la espectroscopia FTIR-ATR. Las formas o aspectos utilizados para la clasificación de microplásticos fueron fibras, esferas, gránulos y películas con sus diferentes colores.

En este estudio se identificó a los microplásticos presentes en productos de limpieza personal comercializados en la ciudad de Tijuana, en general 9 productos exfoliantes y pasta de dientes a través de la espectroscopia FTIR-ATR. Se clasificó, cuantificó e identificó microplásticos en playas de la península de Baja California, en 21 sitios muestreados y un total de 71 muestras se realizaron 23 espectros de FT-IR con ATR de las partículas de microplásticos para las formas (fibras, esferas, gránulos y películas) y sus distintos colores encontrados en la clasificación. Resultando la forma predominante las fibras con un 90.6% del total de los microplásticos identificados. Seguidos de la forma de películas con un 4%, esferas con un 3.3% y finalmente los gránulos 2.2%.

Los polímeros encontrados en los productos comerciales como microplásticos fueron: Polietileno, poliacrilamida, poliacrílico, acrilato de sodio, poliamida tipo nylon y copolímero de éster y ácido carboxílico. La forma de fibras fue predominante en el ambiente marino, debido

quizás a la descarga de aguas residuales y a la actividad pesquera. Finalmente, se encontraron mayores concentraciones de microplásticos, en los sitios o playas ubicadas en el Océano Pacífico que en el Golfo de California, y en las playas urbanas más que en las playas no urbanas.

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS.

A Dios por darme vida, salud y tiempo para dedicar a las cosas que amo.

A mi madre María Colín Zavala quien me enseñó a luchar en la vida por mis sueños.

Al Sr. Hugo Torres Chabert y su familia por su apoyo en la terminación de mi carrera
universitaria.

A todos mis maestros de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería que de alguna manera
participaron en mi formación académica y forjaron en mí la ética y la honestidad además del
conocimiento.

A los maestros Rubén Rodríguez Jiménez, Eduardo Rogel Hernández, Miguel Angel Pastrana
Corral y Enrique García flores por su apoyo en la realización del proyecto.

A los miembros del comité de tesis M.C. Juan Temores Peña, Dr. Eduardo Rogel Hernández, Dr.
Enrique García Flores, Dr. José Luis Mijangos Montiel y Dr. Fernando Toyohiko Wakida
Kusunoki.

A la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería y al programa de Maestría y Doctorado en
Ciencias e Ingeniería por su apoyo a la realización de este proyecto.

Agradezco a CONACYT por la beca otorgada de Posgrado.

A mis hijos Fernando I. Wakida Piñon y Melisa A. Wakida Piñon por su comprensión y amor.

A mi familia y amigos.

Por último al Dr. Fernando T. Wakida Kusunoki mi supervisor de tesis en el proyecto a quien
admiro, respeto y agradezco su tiempo, esfuerzo, dedicación, incondicional amor como esposo y
compromiso.

ÍNDICE.

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 JUSTIFICACIÓN	2
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	4
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 LOS PLÁSTICOS	5
2.2 MICROPLÁSTICOS	6
2.2.1 Microplásticos primarios	7
2.2.2 Microplásticos secundarios	8
2.3 ORIGEN DE LOS MICROPLÁSTICOS	11
2.4 FOCOS DE ACUMULACIÓN DE MICROPLÁSTICOS	14
2.5 IMPACTOS FÍSICOS Y BIOLÓGICOS DE MICROPLÁSTICOS	15
2.5.1 Ingestión	15
2.5.1.1 Tamaño	18
2.5.1.2 Densidad	19
2.5.1.3 Abundancia	19
2.5.1.4 Color	20
2.5.1.5 Egestión	21
2.5.2 Efectos a nivel población	21
2.5.3 Transferencia a la cadena alimenticia	22
2.5.4 Toxicidad	23
2.6 TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN	25
2.7 EFECTOS A LA BIOTA	30
2.8 ESTUDIOS DE MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS DE PLAYAS	33
3. DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO	35
3.1 SITIOS DE MUESTREO	39
3.1.1 Playas de Tijuana	39
3.1.2 Playas de Rosarito	39
3.1.3 Playa la Misión	40
3.1.4 Ensenada	41
3.1.5 San Felipe	41
3.1.6 Punta Banda	42
3.1.7 La Perla	43
3.1.8 Vicente Guerrero	43
3.1.9 Santa María, San Quintín	44
3.1.10 El Socorrito	45
3.1.11 Sitio 40 Km sur de San Quintín	45
3.1.12 Playa La Gringa	46
3.1.13 Bahía de los Ángeles	47
3.1.14 Guerrero Negro	47

3.1.15 Ejido San Lucas	48
3.1.16 Loreto	49
3.1.17 Mulegé El Requesón	49
3.1.18 Todos Santos	50
3.1.19 La Paz	51
3.1.20 Playa La Balandra	51
3.1.21 Cabo San Lucas	52
4. METODOLOGÍA	53
4.1 ANÁLISIS DE PRODUCTOS COMERCIALES CON MICROPLÁSTICOS	53
4.2 MUESTREO EN PLAYAS	54
4.3 PROCESAMIENTO DE MUESTRAS	54
4.4 ESPECTROSCOPIA INFRARROJO (FT-IR CON ATR)	57
4.5 PLAN DE ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	58
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
5.1 ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS EN PRODUCTOS COMERCIALES.	60
5.1.1 Crest	60
5.1.2 Producto Dial	61
5.1.3 Producto Eternal Secret	64
5.1.4 Producto Neutrogena	66
5.1.5 Producto Nivea Polietileno	69
5.1.6 Nivea Azul	71
5.1.7 Producto Soft Soap	73
5.1.8 Yves Rocher	75
5.1.9 Yves Rocher Bios	78
5.1.10 Resumen de resultados de los microplásticos en productos	81
5.2 MICROPLÁSTICOS EN PLAYAS DE LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA	83
5.2.1 Estadísticas y distribución de probabilidad de microplásticos en playas	83
5.2.2. Cuantificación de microplásticos	84
5.2.2.1 Cuantificación de fibras	86
5.2.2.2 Cuantificación de películas	89
5.2.2.3 Cuantificación de esferas	90
5.2.2.4 Cuantificación de gránulos	91
5.2.3 Análisis comparativo de playas de acuerdo a su naturaleza y localización	91
5.2.4 Comparación de concentración de microplásticos con otros estudios publicados.	95
5.3 ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS DE PLAYAS	97
5.3.1 Gránulo blanco del sitio playa a 40 km al sur de San Quintín, posible poliacrílico	98
5.3.2 Película negra encontrada en el sitio playa Balandra 3, posible poliacrilamida	101
5.3.3 Película rosa del sitio playa Cabo San Lucas 2, posible poliamida	103

(tipo nylon)	
5.3.4 Fibra azul del sitio playa Cabo San Lucas 2, posible tereftalato de polietileno (PET)	107
6. CONCLUSIONES	111
7. REFERENCIAS	113
ANEXO 1	127
A.1 POLIACRILAMIDAS	127
A.1.1 Fibra negra del sitio playa Cabo San Lucas 2	127
A.1.2 Fibra morada del sitio playa Balandra 2	129
A.1.3 Película amarilla del sitio playa a 40 km al sur de San Quintín	131
A.1.4 Película azul del sitio playa todos los santos 1	133
A.1.5 Película multicolores del sitio playa todos los santos 1	135
A.1.6 Película roja del sitio playa Balandra 3	137
A.1.7 Película transparente del sitio playa Balandra 2	139
A.1.8 Película morada del sitio playa Ensenada 3	141
A.1.9 Esfera amarilla del sitio playa Todos los Santos 3	143
A.1.10 Esfera blanca del sitio playa Ensenada 2	145
A.1.11 Esfera transparente del sitio Playas de Rosarito 1	147
A.1.12 Gránulo amarillo del sitio Playas de Rosarito 1	149
A.1.13 Gránulo rojo del sitio o playa San Felipe 1.3	151
A.1.14 Gránulo verde del sitio o playa Todos Los santos 1	153
A.1.15 Gránulo rosa del sitio playa Requesón 1	155
A.1.16 Película verde del sitio o playa Ensenada 1	157
A.2 POLIAMIDAS	159
A.2.1 Gránulo azul del sitio playa Santa María 3	159
A.3 TEREFTALATO DE POLIETILENO, (PET)	161
A.3.1 Fibra roja del sitio playa Ensenada 2	161
A.3.2 Fibra verde del sitio o Playa Tijuana 1.3	163
A.3.3 Gránulo negro del sitio o playa Cabo San Lucas 1	165

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Rutas potenciales de transporte de los microplásticos y su interacción con biológicas (Wright et al., 2013).	26
3.1	Localización de los sitios de muestreo en la Península de Baja California	38
3.2	Playas de Tijuana	39
3.3	Playas de Rosarito.	40
3.4	Playa La Misión.	40
3.5	Playa Hermosa en Ensenada.	41
3.6	San Felipe, Baja California.	42
3.7	Playa Punta Banda.	42
3.8	Playa en la Perla del Mar, San Felipe.	43
3.9	Vistas del punto de muestreo en Vicente Guerrero.	44
3.10	Vistas del sitio Santa María.	44
3.11	El Socorrito	45
3.12	Panorámica del sitio aislado.	46
3.13	Playa La Gringa.	46
3.14	Sitios de muestreo en Bahía de los Ángeles	47
3.15	Sitios de muestreo en Guerrero Negro.	48
3.16	Imágenes de Ejido San Lucas.	48
3.17	Sitios de muestreo en Loreto.	49
3.18	Playa El Requesón, Bahía de Concepción, Mulegé.	50
3.19	Vistas de Todos Santos.	50
3.20	Vistas del Malecón de La Paz.	51
3.21	Playa la Balandra.	52
3.22	Cabo San Lucas.	52
4.1	Secado y tamizado de las muestras.	55
4.2	Separación por densidad.	55
4.3	Filtración de las muestras.	56
4.4	Cuantificación de microplásticos.	57
4.5	Espectrofotómetro IR con ATR.	58
5.1	Microplásticos del producto Crest y su respectivo espectro IR obtenido y el de referencia para polietileno (Browne et al. 2011)	60
5.2	Microplásticos del producto Dial y su respectivo espectro IR obtenido y el de referencia para polietileno (Browne et al. 2011).	62
5.3	Microplásticos del producto Eternal Secret y su respectivo espectro IR. Gráfica de referencia de poliacrilamida modificada de García Quevedo y Ventura Villatoro, (2015).	64
5.4	Microplásticos del producto Neutrogena y su respectivo espectro IR obtenido y el de referencia para poliacrílico (Browne et al. 2011).	67
5.5	Microplásticos del producto Nivea polietileno y su respectivo espectro IR obtenido y el de referencia obtenido de Browne et al. (2011).	69
5.6	Microplásticos del producto Nivea Azul y su respectivo espectro IR	71

	obtenido y el de referencia obtenido de Browne et al. (2011).	
5.7	Microplásticos del producto Soft soap y su respectivo espectro IR obtenido y el de referencia para polimetilacrilato y poliácido acrílico (Pouchert, 1975).	73
5.8	Microplásticos del producto Yves Rocher y su respectivo espectro IR obtenido y el de referencia para polimetilacrilato y ácido acrílico (Pouchert, 1975).	76
5.9	Microplásticos del producto Yves Rocher Bio y su respectivo espectro IR obtenido y el de referencia para polimetilacrilato y poliácido acrílico (Pouchert, 1975).	79
5.10	Gráfica de probabilidad de normalidad de Kolmogorov-Smirnov.	83
5.11	Microplástico gránulo blanco encontrado en el sitio playa a 40km al sur de San Quintín, espectro y espectro de referencia, posible poliacrílico (Browne et al 2011).	99
5.12	Microplástico película negra encontrada en el sitio playa Balandra 3, espectro y espectro de referencia, posible poliacrilamida (García Quevedo y Ventura Villatoro, 2015).	101
5.13	Microplástico película rosa encontrado en el sitio playa Cabo San Lucas 2, espectro y espectro de referencia, Posible poliamida tipo nylon (Browne et al 2011).	104
5.14	Microplástico fibra azul encontrado en el sitio o playa Cabo San Lucas 2. Posible poliéster, tereftalato de polietileno (PET).	107
A.1	Microplástico fibra negra encontrado en el sitio Cabo San Lucas 2, espectro y espectro de referencia, Posible poliacrilamida.	127
A.2	Microplástico fibra morada encontrado en el sitio playa Balandra 2. Posible poliacrilamida.	129
A.3	Microplástico película amarilla encontrado en el sitio playa a 40 km al sur de San Quintín, posible poliacrilamida.	131
A.4	Microplástico película azul del sitio playa todos los santos 1, posible poliacrilamida.	133
A.5	Microplástico Película multicolores del sitio playa todos los santos 1, posible poliacrilamida.	135
A.6	Microplástico película roja encontrado en el sitio playa Balandra 3. Posible poliacrilamida.	137
A.7	Microplástico película transparente encontrado en el sitio playa Balandra 2. Posible poliacrilamida.	139
A.8	Microplástico película morada encontrado en el sitio o playa Ensenada 3. Posible poliacrilamida.	141
A.9	Microplástico esfera amarilla encontrado en el sitio playa Todos los Santos 3. Posible poliacrilamida.	143
A.10	Microplástico esfera blanca encontrado en el sitio o playa Ensenada 2. Posible poliacrilamida.	145
A.11	Microplástico esfera transparente encontrado en el sitio Playas de Rosarito 1, posible poliacrilamida.	147
A.12	Microplástico gránulo amarillo encontrado en el sitio Playas de Rosarito 1, posible poliacrilamida.	149

A.13	Microplástico gránulo rojo encontrado en el sitio playa San Felipe 1.3, posible poliacrilamida.	151
A.14	Microplástico gránulo verde encontrado en el sitio playa Todos los Santos 1, posible poliacrilamida.	153
A.15	Microplástico gránulo rosa encontrado en el sitio o playa Requesón 1. Posible poliacrilamida.	155
A.16	Microplástico película verde encontrado en el sitio o playa Ensenada 1. Posible poliacrilamida.	157
A.17	Microplástico gránulo azul encontrado en el sitio o playa Santa María 3. Posible poliamida tipo nylon.	159
A.18	Microplástico fibra roja encontrado en el sitio playa Ensenada 2. Posible poliéster, tereftalato de polietileno (PET).	161
A.19	Microplástico fibra verde encontrado en el sitio o playa Tijuana 1.3. Posible poliéster, tereftalato de polietileno (PET).	163
A.20	Microplástico gránulo negro encontrado en el sitio o playa Cabo San Lucas 1. Posible poliéster, tereftalato de polietileno (PET).	165

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
2.1	Tiempo de degradación de algunos materiales.	12
3.1	Localización de los sitios de muestreo y características físicas de muestras colectadas.	36
4.1	Productos comerciales con microplásticos analizados.	53
5.1	Número de onda para los microplásticos en el producto comercial CREST y referencia.	61
5.2	Número de onda para los microplásticos en el producto comercial DIAL y referencia.	63
5.3	Número de onda para los microplásticos en el producto comercial Eternal Secret y referencia.	65
5.4	Número de onda para los microplásticos en el producto comercial Neutrogena y su referencia.	68
5.5	Número de onda para los microplásticos en el producto comercial Nivea polietileno y la referencia	70
5.6	Número de onda para los microplásticos en el producto comercial Nivea Azul y su referencia.	72
5.7	Número de onda para los microplásticos en el producto comercial Soft Soap y la referencia.	74
5.8	Número de onda para los microplásticos en el producto comercial Yves Rocher y la referencia.	77
5.9	Número de onda para los microplásticos en el producto comercial Yves Rocher Bio y la referencia.	80
5.10	Resumen de resultados del análisis de microplásticos en productos comerciales de limpieza.	82
5.11	Concentración y porcentajes de microplásticos por su aspecto en los sitios muestreados.	84
5.12	Concentración y porcentajes de fibras.	87
5.13	Cantidad y porcentaje de películas.	89
5.14	Número y porcentaje de esferas identificadas en las muestras.	90
5.15	Número y porcentaje de gránulos identificados en las muestras.	91
5.16	Cantidad de microplásticos en playas urbanas y no urbanas.	93
5.17	Cantidad de microplásticos en playas localizadas en el Océano Pacífico y Golfo de California.	94
5.18	Cantidad de microplásticos en distintos estudios publicados.	96
5.19	Características y composición química de los microplásticos.	98
5.20	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y gránulo blanco encontrado en el sitio playa a 40 km al sur de San Quintín.	100
5.21	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y película negra encontrada en el sitio playa Balandra 3.	102
5.22	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico película rosa encontrado en la muestra del sitio playa	105

	Cabo San Lucas 2. Posible poliamida tipo nylon.	
5.23	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico fibra azul encontrado en la muestra del sitio playa Cabo San Lucas 2. Posible poliéster, tereftalato de polietileno (PET).	108
A.1	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico fibra negra encontrado en la muestra del sitio playa Cabo San Lucas 2. Posible poliacrilamida.	128
A.2	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico fibra morada encontrado en el sitio playa Balandra 2. Posible poliacrilamida.	130
A.3	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico película amarilla encontrado en la muestra del sitio o playa a 40km al sur de San Quintín. Posible poliacrilamida.	132
A.4	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico película azul del sitio playa todos los santos 1, posible poliacrilamida.	134
A.5	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico película multicolores encontrado en la muestra del sitio o playa Todos los Santos 1. Posible poliacrilamida.	136
A.6	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico película roja encontrado en la muestra del sitio o playa Balandra 3. Posible poliacrilamida.	138
A.7	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico película transparente encontrado en la muestra del sitio o playa Balandra 2. Posible poliacrilamida.	140
A.8	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico película morada encontrado en la muestra del sitio o playa Ensenada 3. Posible poliacrilamida.	142
A.9	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico esfera amarilla encontrado en la muestra del sitio playa Todos los Santos 3. Posible poliacrilamida.	144
A.10	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico esfera blanca encontrado en la muestra del sitio o playa Ensenada 2. Posible poliacrilamida.	146
A.11	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico esfera transparente encontrado en la muestra del sitio Playas de Rosarito 1, posible poliacrilamida.	148
A.12	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico gránulo amarillo encontrado en la muestra del sitio Playas de Rosarito 1. Posible poliacrilamida.	150
A.13	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico gránulo rojo encontrado en la muestra del sitio playa San Felipe 1.3. Posible poliacrilamida.	152
A.14	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico gránulo verde encontrado en la muestra del sitio playa Todos los Santos 1. Posible poliacrilamida.	154

A.15	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico gránulo rosa encontrado en la muestra del sitio playa Requesón 1. Posible poliacrilamida.	156
A.16	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico Película verde del sitio o playa Ensenada 1, posible poliacrilamida.	158
A.17	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico gránulo azul encontrado en la muestra del sitio playa Cabo Santa María 3. Posible poliamida tipo nylon.	160
A.18	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico fibra roja encontrado en la muestra del sitio playa Ensenada 2. Posible poliéster, tereftalato de polietileno (PET).	162
A.19	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico fibra verde encontrado en la muestra del sitio playa Tijuana 1.3, posible poliéster, tereftalato de polietileno (PET).	164
A.20	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico gránulo negro encontrado en la muestra del sitio playa Cabo San Lucas 1. Posible poliéster, tereftalato de polietileno (PET).	166

1. INTRODUCCIÓN

En México se tienen muy pocos estudios acerca de los microplásticos y en la península de Baja California no se cuenta con estudios de este tipo, en los últimos años se han incrementado los desechos de plásticos y muchos de ellos van a parar al ambiente marino de aquí la importancia de estudiar la contaminación por microplásticos. El presente proyecto pretende clasificar, cuantificar e identificar microplásticos en playas de la península de Baja California. Como su nombre lo indica, los microplásticos son partículas plásticas cuya longitud es menor a 5 mm, pero convencionalmente tienen una longitud entre 0.333 a 5 mm (Gorycka, 2009). Los microplásticos pueden provenir de la fragmentación de plásticos de mayor tamaño; de productos de cuidado de belleza o de prendas de vestir, por lo que los microplásticos se clasifican fundamentalmente en microplásticos primarios y secundarios. Los microplásticos primarios son aquellos que fueron fabricados en esos tamaños, contrariamente, los microplásticos secundarios son aquellos que provienen de la fragmentación de objetos plásticos más grandes, debido a mecanismos físicos y mecánicos. Los microplásticos debido a su tamaño pequeño pueden ser ingeridos por organismos. De esta manera ingresan a la cadena alimenticia en la cual el hombre está enlazado como consumidor final, con potenciales riesgos a la salud. Otra característica de los plásticos es que adsorben compuestos hidrofóbicos, por lo que se conoce que los microplásticos pueden adsorber contaminantes orgánicos persistentes como bifenilos policlorados o plaguicidas, además de hidrocarburos aromáticos policíclicos.

Se tiene el conocimiento que la presencia de microplásticos en el medio marino es un problema ambiental global, debido a su biodegradabilidad (que indica que persistirán en el ambiente por largo tiempo) es decir, se les ha encontrado hasta en los sitios más aislados. En México se tiene

muy pocos estudios acerca de los microplásticos en el ambiente marino. Además los microplásticos han sido relacionados con impactos ecológicos, debido a su ingestión por parte de organismos marinos, la transferencia y bioacumulación de contaminantes orgánicos persistentes en la cadena alimenticia. Una posible solución al problema sería la limpieza periódica de las playas principalmente de la basura de plásticos (el reciclado de basura), pero esto no solucionaría el problema global (debido al tamaño pequeño) ya que pueden ser transportados vía mar hacia la superficie debido a su flotabilidad de los microplásticos, cabe señalar que los microplásticos están presentes en productos de limpieza y belleza y llegan al medio marino por medio de escurrimientos pluviales o vía descargas de plantas tratadoras de agua residuales, además que pueden ser directamente desechados en el ambiente marino. Por lo que el proyecto tiene como propósito difundir y concientizar acerca de la prevención de la contaminación marina debido a estos contaminantes. El presente estudio identificará clasificará y cuantificará los microplásticos presentes en playas de la península de Baja California, México.

1.1 JUSTIFICACIÓN

La contaminación del medio marino por plásticos y microplásticos es un problema global que en los últimos años ha sido identificado como uno de los más importantes a nivel mundial. Se ha observado que estas partículas entran a la cadena alimenticia debido a la ingesta de éstos por camarones, mejillones y otros organismos marinos pequeños. Estos pueden llegar a organismos que se sitúan más alto en la cadena alimenticia. Afectando a la biota migrante y especies endémicas (267 especies afectadas). Aunado a esto, se conoce que estos materiales pueden lixiviar otros compuestos que se adicionan a los plásticos como los ftalatos y transportar

compuestos orgánicos tóxicos a áreas diferentes de donde se originan, mediante los procesos de adsorción y desorción de los mismos. Son pocos los estudios en México sobre la presencia de microplásticos en las playas, por lo cual es importante conocer las concentraciones de estos contaminantes en el ambiente marino de la península de Baja California para proponer la prohibición del uso de los microplásticos en ciertos productos de cuidado personal como exfoliantes y pastas de dientes, que son fuentes de microplásticos. En este estudio se obtendrán datos que servirán de base para la realización de otros proyectos relacionados en este campo, para poder evaluar el impacto ambiental de los microplásticos.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo general:

Evaluar los niveles presentes de microplásticos en playas de la península de Baja California, México.

1.2.2 Objetivos específicos.

1. Caracterizar los microplásticos presentes en productos de limpieza personal comercializados en la ciudad de Tijuana.
2. Cuantificar las distintas clases de microplásticos (fibras, esferas, gránulos, películas).
3. Identificar los microplásticos en distintas playas de Baja California y Baja California Sur.
4. Comparar concentraciones de microplásticos en playas no urbanas y urbanas.

5. Comparar concentraciones de microplásticos en playas localizadas en el Golfo de California y el Océano Pacífico.

1.3 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

Este documento consta de siete capítulos. 1 Introducción; el capítulo 2 corresponde al marco teórico en el que se basa la investigación; en el capítulo 3 se presenta una descripción de los sitios de muestreo; en el capítulo 4 se describe la metodología de muestreo y análisis; en el capítulo 5 se presenta una discusión de los resultados obtenidos. En el capítulo 6 se presentan las conclusiones de la tesis y por último se presentan las referencias utilizadas en la tesis y anexos donde se presenta el material suplementario de la tesis.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 LOS PLÁSTICOS.

Los plásticos son polímeros orgánicos sintéticos que son derivados de la polimerización de monómeros extraídos del petróleo o a partir del gas natural. De pesos moleculares altos adecuados para la manufactura de los productos de la industria. Otros polímeros de origen biológico e inorgánico, incluyen el almidón, proteínas y el ADN (Harper, 2000). Los plásticos se pueden dividir en dos grupos: Termoplásticos y termoestables. El primer grupo puede ablandarse por medio de calor y endurecerse por enfriamiento, lo que significa que estos tipos de plásticos pueden ser remodelados y reusados. Por esta razón más productos termoplásticos son utilizados en un amplio rango de usos. Como por ejemplo en empaquetado, contenedores de comida y otros productos domésticos. Por otra parte, los plásticos termoestables, se endurecen permanentemente después de ser calentados y son usados principalmente para productos resistentes a altas temperaturas (NOWPAP, 2007). Las propiedades intrínsecas más importantes de los plásticos incluye su flexibilidad de diseño para variedad de usos, alta resistencia a la corrosión, densidad baja, resistencia al agua e impermeabilidad al aire (Gordon, 2006). Las largas cadenas moleculares que contienen carbono les da a los plásticos, características únicas (dureza, flexibilidad, fuerza, transparencia, elasticidad). Los productos plásticos se pueden presentar en una amplia variedad de formas y texturas (Betts, 2008).

La producción mundial anual de plásticos se ha incrementado dramáticamente de 1.5 millones de toneladas en los cincuentas, a aproximadamente 280 millones de toneladas en el 2011 (Plastics Europe, 2012; Moore, 2008; Thompson et al., 2009). Los polímeros más producidos son el

polipropileno, el polietileno y el cloruro de polivinilo (PVC) cuyos porcentajes de la producción global en el 2007 fueron 24%, 21%, y 19%, respectivamente (Andrady, 2011).

Pocos aditivos son usados en la producción de plásticos, pero en el caso de los vinilos, hules, recubrimientos y adhesivos pueden ser utilizados entre 10 y 20 aditivos para mejorar el proceso y que el plástico tenga las propiedades necesarias para sus distintos usos o aplicaciones. Alrededor del 25% de la masa los plásticos son constituidos por aditivos (Harper, 2006). Estos aditivos incluyen: estabilizadores para rayos ultravioleta, retardadores de flama, ablandadores, suavizantes, compuestos antiadherentes y colorantes. Recientemente la atención se ha enfocado en los llamados “bio-polímeros”; Polímeros que están presente en su forma pura en la naturaleza, son todos biodegradables, pero los biopolímeros sintéticos son aquellos que se originan de fuentes no petrolíferas (incluyendo celofán con base de celulosa, rayón y derivados de la fermentación del ácido poliláctico y polihidroxialcanoato) (Swift, 2003). Los biopolímeros se biodegradan más rápido que los polímeros originados con el petróleo. La tasa de la biodegradabilidad de estos biopolímeros, sin embargo, depende de las condiciones ambientales donde son dispuestos. Ambientes aeróbicos y con temperaturas moderadas son favorables para su biodegradación, basados en el metabolismo de hongos, bacterias e insectos. Por lo tanto, el ambiente marino que tiene condiciones frías, es menos adecuado para la degradación del bioplástico (Wirsén, 1971).

2.2 MICROPLÁSTICOS.

Los microplásticos han sido definidos como partículas cuya longitud es menor a 5 mm por la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera (NOAA, por sus siglas en inglés). Aunque

el término de “microplásticos” ha sido usado solo hasta recientemente (Thompson et al., 2004). Ha llegado a ser evidente que la distribución de estas partículas es global, incluyendo islas aisladas en medio del océano, en alta mar o en lugares localizados en altas latitudes (Barnes *et al.*, 2009). A pesar de la variedad de formas, desde fragmentos irregulares hasta esferas, se ha encontrado un predominio de microplásticos de fibras, las cuales son más abundantes en el ambiente marino. La ocurrencia de partículas pequeñas de plástico en playas y en aguas costeras fue primeramente reportada en los años 70s, del siglo pasado (Carpenter et al., 1972, Gregory, 1978). Los microplásticos se han estado acumulando en los océanos del mundo a lo largo de las últimas 4 décadas. (Carpenter et al., 1972; Claessens et al., 2011; Thompson et al., 2004). Los microplásticos pueden ser de fuente primaria (fabricados para ser de un tamaño microscópico) o secundarios (derivados de la fragmentación de artículos de macroplásticos).

2.2.1 Microplásticos primarios.

Los plásticos que son producidos para ser de tamaño microscópico son definidos como microplásticos primarios (Gregory, 1996). Estos plásticos son típicamente usados en limpiadores faciales y en cosméticos (Zitko y Hanlon, 1991), como medio de granallado con aire a presión (Gregory, 1996); También son usados en la medicina como vectores para medicamentos (Patel *et al.*, 2009). Los gránulos de plástico virgen (típicamente entre 2 a 5 mm de diámetro) también son considerados microplásticos. Los microplásticos “depuradores” usados en los limpiadores exfoliantes faciales y de mano han reemplazado a los ingredientes naturales usados tradicionalmente como almendras molidas, avena y piedra pómez (Fendall y Sewell, 2009). Desde que se patentó el uso de los microplásticos en los cosméticos en los 80’s, el uso de

limpiadores exfoliantes que contienen plásticos se ha incrementado, típicamente son anunciados como “micro esferas”, estos plásticos pueden variar en forma, tamaño y composición dependiendo del producto. Por ejemplo, Gregory (1996) reportó la presencia de gránulos de polietileno y polipropileno (<5 mm) y esferas de poliestireno (<2 mm) en un producto cosmético. Más recientemente Fendall y Sewells (2009) han reportado una abundancia de microplásticos de forma irregular, típicamente <5 mm de diámetro con una moda de <0.1 mm en otro producto cosmético. Los microplásticos de éste tipo son probablemente transportados en las aguas residuales tratadas descargadas de las plantas de tratamiento y entran en los ecosistemas acuáticos (Thompson *et al.*, 2007).

Los microplásticos primarios han sido producidos también para uso en la tecnología de granallado por aire a presión (Derraik, 2002; Gregory, 1996), contienen acrílicos, melanina y partículas de poliéster (0.25- 1.7 mm) (Thompson *et al.*, 2007). En este proceso se utilizan microplásticos para eliminar mediante aire a presión el óxido y la pintura de motores o botes (Browne *et al.*, 2007; Derraik, 2002). Como estos microplásticos son usados repetidamente hasta disminuir su tamaño y su poder cortante. Estos frecuentemente son contaminados por metales pesados, por ejemplo, cadmio, cromo y plomo (Derraik, 2002; Gregory, 1996).

2.2.2 Microplásticos secundarios.

El término de microplásticos secundarios describe a fragmentos pequeños derivados de la fragmentación de plásticos más grandes, ambos en tierra o en el mar (Ryan *et al.*, 2009; Thompson *et al.*, 2004). A través del tiempo los procesos físicos, químicos y biológicos pueden reducir la integridad estructural de los residuos plásticos, resultando en una fragmentación de los

mismos (Browne et al., 2007). En periodos prolongados, la exposición a la luz solar puede resultar en la fotodegradación de plásticos. La radiación ultravioleta (UV) en la luz solar causa una oxidación de la matriz del polímero, produciendo una división del enlace (Andrady, 2011; Barnes *et al.*, 2009; Browne et al., 2007; Moore, 2008). El material plástico sujeto a la intemperie es disgregado y transportado al mar, desafortunadamente este material plástico se degrada muy lentamente a través de la mineralización y por lo tanto podrían permanecer por mucho tiempo en forma microscópica (Corcoran et al., 2009). Tal degradación puede resultar en la lixiviación de los aditivos de los plásticos que son diseñados para mejorar la durabilidad y la resistencia a la corrosión (Talsness et al., 2009). La temperatura fría y las condiciones salinas del ambiente marino son factores probables que impiden esta fotooxidación, sin embargo, los restos de plásticos en las playas, tienen una disponibilidad alta de oxígeno y una exposición directa a la luz solar, por los que los plásticos se degradarán rápidamente tornándose quebradizos, amarillentos y formando grietas (Andrady, 2011; Barnes et al., 2009; Moore, 2008). Con la pérdida de la estructura de integridad, estos plásticos van incrementando su susceptibilidad a la fragmentación resultante de la abrasión, la acción de la luz solar y la turbulencia (Barnes et al., 2009; Browne et al., 2007). Estos fragmentos se van haciendo más pequeños en tamaño a través del tiempo, hasta que llegan a ser microplásticos. La degradación de partículas de plástico es más probable que ocurra en la tierra que en el agua de mar, donde la radiación solar y erosión mecánica es mínima. (Andrady, 2000). La fragmentación podría ser causada dentro del ambiente marino a través de la acción de las olas y la abrasión de las partículas de sedimentos. En general, la tasa de la producción secundaria de los plásticos depende de las características de los plásticos, la extensión del desgaste por el clima y por último de las características del ambiente local. Es considerado que los microplásticos podrían

degradarse hasta ser de tamaño de nanoplásticos (Rios et al., 2007; Ryan et al., 2009). La presencia de nanoplásticos en el ambiente marino es posible que se incremente en el futuro (Andrady, 2011). El desarrollo de plásticos biodegradables es frecuentemente visto como una acción viable para reemplazar los plásticos tradicionales. Sin embargo, estos son también fuentes de microplásticos. Los plásticos biodegradables son frecuentemente compuestos de una mezcla de plásticos sintéticos y almidón, aceites vegetales o sustancias químicas especiales (por ejemplo: Aditivos Plásticos Totalmente Degradables (TDPA™ por sus siglas en Inglés). diseñados para acelerar los tiempos de degradación (Derraik, 2002; O'Brien y Thompson, 2010; Ryan et al., 2009; Thompson et al., 2004), que, si son dispuestos apropiadamente, se descompondrán en las plantas industriales de composteo bajo condiciones húmedas y bien aireadas (Moore, 2008; Thompson, 2006). Sin embargo, esta descomposición es solamente parcial, porque, mientras los componentes de almidón del bioplástico se descompone, una gran cantidad de polímero sintético permanecerá sin degradarse (Andrady, 2011; Roy et al., 2011). En el ambiente marino donde hay una ausencia de microbios terrestres, los tiempos de descomposición de los componentes degradables de los bioplásticos son más prolongados, incrementando la posibilidad de que los plásticos sean ensuciados y por lo tanto reduciendo la acción de los rayos UV, de los cuales los procesos degradación dependen (O'Brine y Thompson, 2010). Una vez que finalmente la descomposición ocurra, los microplásticos serán liberados dentro del ambiente marino. Las partículas reducirán de tamaño mediante la desintegración y fragmentación, incrementando el área superficial y la posibilidad de transporte de sustancias químicas (adsorción de sustancias químicas dentro o lixiviación fuera de macropartículas) y un incremento de la ingestión potencial para un amplio rango de biota en la parte más baja de la cadena alimenticia. Aunque otros autores han indicado que las características físicas de la

mayoría de los microplásticos, muestran alta resistencia de edad y mínima biodegradación (Moore, 2008).

La ingesta de plásticos ha sido documentada en numerosos organismos marinos, frecuentemente, confundiendo éstos con comida (Gordon, 2006). Muchos estudios han identificado los efectos potenciales de las partículas plásticas:

- a. Desorción de sustancias persistentes, bioacumuladas y tóxicas desde los plásticos
- b. Lixiviación de aditivos de los plásticos (ftalatos)
- c. Daño físicos.

2.3 ORIGEN DE LOS MICROPLÁSTICOS.

Los microplásticos pueden originarse a través de cuatro procesos:

- 1.- Deterioro de fragmentos de plásticos más grandes, tales como cuerdas o películas debido a la radiación UV, fuerzas mecánicas en el mar (acción de las olas, acción de molienda en las playas), o a través de la actividad biológica (molienda, masticado por organismos marinos). Los plásticos pueden ser fragmentados en la presencia de radiación ultravioleta, no obstante, si el plástico contiene un eficiente estabilizador de luz (el cual es el caso para equipo de pesca) esto podría reducir la eficiencia de la fotodegradabilidad. Por lo tanto, la luz solar no tiene gran efecto en este proceso. Otro factor que contribuye a la fotodegradación es la oxidación lenta de los plásticos, con oxígeno y aire facilitando la fragmentación. De la misma manera, la hidrólisis contribuye al rompimiento del plástico.

Sin embargo, la oxidación y la hidrólisis son procesos muy lentos, comparados con los períodos de biodegradación de ellos mismos.

La vida exacta de los plásticos depende de factores como:

- a) La temperatura de la columna de agua.
- b) La cantidad de insolación ultravioleta y
- c) del potencial biótico del ambiente (Andrady, 2000).

Gregory (1978) estimó que la durabilidad de los gránulos de plásticos es de 3 a 10 años, sin embargo, sus aditivos probablemente extienden el rango de 30 a 50 años; el intervalo de degradación de algunos materiales se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Tiempo de degradación de algunos materiales.

Material	Tiempo de degradación
Ropa de algodón	1-5 meses
Cuerda	3-14 meses
Ropa de lana	1 año
Madera pintada	13 años
Lata de estaño	100 años
Lata de aluminio	200-500 años
Botella de plástico	450 años

Tiempo tomado por objetos para degradarse en el mar. (Hellenic Marine Environment Protection Association, 2009).

No obstante, los microplásticos, en general se cree son resistentes a la biodegradación, la acción mecánica podría gradualmente fragmentarlos. Muchos de los plásticos

biodegradables son compuestos con materiales biodegradables como el almidón (Klemchuck, 1990). El término de biodegradabilidad a largo plazo significa que los plásticos persistirán en el ambiente por largo tiempo, por lo tanto, constituye un problema global ambiental.

2. Descarga directa de microplásticos (abrasivos y desfoliadores en productos de cuidado personal y del hogar; granallado a presión de aire a barcos y productos de limpieza industriales) dentro de la corriente o vía tratamiento de aguas residuales urbanas. En un estudio se encontró que el principal tipo eran las fibras, frecuentemente poliéster y acrílicos los materiales de microplásticos. Browne et al., (2011) sugirió que estos microplásticos eran producidos por efluentes de aguas residuales provenientes del lavado de ropas.
3. Derrame accidental de materia primas industriales (plásticos prefabricados en forma de pellets o polvos usados para hacer artículos de plásticos), durante el transporte o carga de barcos, en el mar o corrientes superficiales. Los microplásticos sobre playas arenosas han sido reportados en la forma de gránulos en Nueva Zelanda, Canadá, Bermuda y Líbano (Gregory, 1977, 1978, 1983; Shiber, 1979). En Nueva Zelanda los gránulos fueron traslúcidos de 2 a 5 mm de tamaño y son relacionados con derrames accidentales en los puertos grandes (Gregory, 1977, 1978). Estas mismas características fueron observadas para gránulos de polietileno muestreadas en las costas de Canadá, Bermudas y Líbano. Muchos de estos gránulos mostraron degradación debido al desgaste (Gregory, 1983). Gránulos de plásticos también han sido reportados en el Golfo de Omán, el Golfo arábigo, (Khordagui y Abu-Hilal, 1994), la costa de Malta en el Mediterráneo Central (Turner y Holmes, 2011). En la costa Arábiga un número grande de gránulos y la

presencia de bolsas enteras, indicaron que un derrame masivo que ocurrió probablemente durante el transporte, algunos de los gránulos estaban cubiertos de alquitrán (Fotopoulou y Karapanagioti, 2012). Ellos investigaron las características superficiales de los gránulos de plástico y encontraron que los gránulos vírgenes eran uniformes y suaves, mientras que las superficies de los gránulos de polipropileno y poliestireno erosionados eran rugosos y desiguales. Los gránulos de poliestireno encontrados en la naturaleza tienen áreas superficiales más grandes y fueron más polares. Lo que indica que interactúan más eficientemente en una variedad de compuestos químicos comparados con aquellos plásticos nuevos o vírgenes.

4. Descarga de residuos macerados (lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales).

2.4 FOCOS DE ACUMULACIÓN DE MICROPLÁSTICOS.

Los giros oceánicos son focos de acumulación de microplásticos. Una concentración máxima de 32.76 partículas por m^3 y de masa de 250 mg por m^3 han sido registradas recientemente en el Giro Subtropical del Pacífico Norte (Goldstein et al., 2012).

Las áreas de costas en zonas industriales han sido también identificadas como focos de microplásticos. Concentraciones de aproximadamente 100000 partículas de plásticos por m^3 en agua de mar han sido reportados en una zona portuaria sueca adyacente a una planta de producción de poliestireno (Noren y Naustvoll, 2010). De la misma manera se han encontrado que los sedimentos de áreas costeras densamente pobladas pueden estar fuertemente contaminadas por microplásticos. Browne et al., (2011) encontró microplásticos en 18 costas a

través de los 6 continentes, con tendencia hacia la forma de fibra. Concentraciones máximas de 124 fibras L⁻¹ fueron reportadas y una relación significativa entre abundancia de microplásticos y densidad de población. Aunque se han identificado una gran variedad de formas en los microplásticos desde formas irregulares hasta esferas, parece ser que las fibras microplásticas son las más abundantes en el ambiente marino (Wright et al., 2013). Las costas de los seis continentes están contaminadas con microplásticos. La presencia de microplásticos han sido reportados en la India (Reddy et al., 2006) y Singapur (Ng y Obbard, 2006). Partículas de poliuretano, nylon, poliestireno y poliéster fueron identificados en ambientes intermareales en las costas occidentales de la India. (Reddy et al., 2006). En Singapur, los microplásticos fueron identificados provenientes en su mayoría de fuentes secundarias y en playas turísticas (Ng y Obbard, 2006).

2.5 IMPACTOS FÍSICOS Y BIOLÓGICOS DE MICROPLÁSTICOS.

2.5.1 Ingestión.

La ingestión de plásticos por organismos marinos ha sido estudiada ampliamente y está considerada como uno de los temas ambientales más importantes con dimensión global. Está documentado que los macroplásticos (mayores de 5 mm en dimensión) son regularmente tomados y retenidos por una gran variedad de animales marinos (más que 260 especies documentadas), incluyendo peces, pájaros, tortugas y cetáceos. (Derraik, 2002; Teuten et al., 2007).

La ingestión y el proceso de translocación son afectados por las propiedades físicas como:

- a) La forma (fibras, esferas, fragmentos irregulares) por ejemplo, Warheit et al. (2004) encontraron que el tejido de pulmón de ratas expuesto a una pared-sola de nano tubos de carbono mostró inflamación y daño celular. Las formas de vara alargada de sílice mesópuras mostraron absorción y aumento celular (apoptosis) migración y disrupción de la organización del cito esqueleto. Una explicación de la forma y su relación con la toxicidad es que la forma de vara larga sílice mesópuras es más fácilmente tomada por las células por su mayor área de contacto y potencial de interacción (Huang et al., 2010). Así, los organismos bentónicos y los organismos que viven en los sedimentos son vulnerables a la relación de forma-toxicidad por fibras de plásticos, si son ingeridos.
- b) El tipo de polímero (poliestireno, polietileno, poliéster) y la carga de las partículas. Se ha sugerido que las partículas de plástico decrecen de tamaño cuando se degradan, por lo que sus propiedades de superficie cambian. Por ejemplo, el estireno contenido en micro esferas de poliestireno influyen en su capacidad a ser fagocitada, como se muestra en estudios sobre células blancas en sangre humana (Thompson et al., 2008). La translocación rápida de partículas pequeñas es aplicable a invertebrados y vertebrados (Browne et al., 2008).

Los microplásticos tiene la habilidad de bioacumularse, este proceso conduce a que las concentraciones aumenten conforme se mueven a niveles más altos en la cadena alimenticia; este proceso es llamado biomagnificación. Por lo tanto, con concentraciones bajas en el ambiente conllevan a un riesgo a los seres vivos (Ilyina, 2006; Moore et al., 2002). Se ha observado que los microplásticos pueden adsorber diferentes compuestos hidrofóbicos incluyendo bifenilos

policlorados (PCBs), del grupo de contaminantes orgánicos persistentes, diclorodifenildicloroetileno (DDE) y nonifenoles (Mato et al., 2001). Se ha reportado que los microplásticos pueden contener altas concentraciones de PCBs, más de un millón de veces más alto que aquellas concentraciones en el agua en que se localizan (Betts, 2008). De igual manera, concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos fueron encontrados en fragmentos plásticos en las cuencas de los ríos de Los Ángeles y San Gabriel (Moore et al., 2005). Frías et al., (2010) analizaron bifenilos policlorados, hidrocarburos aromáticos policíclicos y diclodifeniltricloroetano en microplásticos en forma de gránulos. La cantidad de bifenilos policlorados fueron más alta en gránulos negros que en gránulos desgastados, posiblemente porque los gránulos negros tienen tasas de adsorción más alta. Estas concentraciones fueron relacionadas a descargas industriales y urbanas.

Los efectos de ingestión de microplásticos por organismos marinos son identificados y divididos en 3 modos de acción.

- El primero es conectado con la obstrucción física y daño en el apéndice o en el tracto digestivo.
- El segundo es con los lixiviados de los componentes químicos de los plásticos dentro de organismos después de la digestión.
- Acumulación de sustancias químicas absorbidas por organismos (Arthur et al., 2009).

La ingestión depende de ciertos parámetros como tamaño, forma y densidad de las partículas. Por ejemplo: Los plásticos con baja densidad tienden a flotar incrementando la probabilidad de ser ingeridos por organismos filtradores o planctívoros. Los plásticos con alta densidad (por ejemplo: cloruros de polivinilos-PVC) se hunden y se acumulan en los sedimentos, incrementando la probabilidad de ingestión por organismos bentónicos (Thompson, 2007).

2.5.1.1 Tamaño.

El tamaño de los microplásticos los hace biodisponibles a organismos en niveles tróficos bajos. Muchos de los organismos ejercen limitada selectividad de partículas, y captura cualquier cosa de tamaño apropiado (Moore, 2008). Los planctívoros de niveles tróficos altos pueden ingerir positivamente microplásticos durante su comportamiento normal de alimentación o confundirlas por error con partículas de presas naturales. El trabajo de Fossi et al. (2012) investigó el impacto de los microplásticos en la ballena mediterránea rorcual (*balaenoptera physalus*), uno de los organismos más grandes que se alimentan de plancton, puede tomar aproximadamente 70000 L de agua a un tiempo con riesgos de ingerir microplásticos, directa e indirectamente del agua. Ellos usaron el ftalato como un trazador para la ingestión de microplásticos y concluyeron que *B. physalus* podría estar consumiendo microplásticos (Fossi et al., 2012). Los microplásticos mayores a 1.6 μ m en tamaño están presentes en el ambiente costero (Ng y Obbard, 2006), por lo que es creíble que microplásticos de tamaño óptimo para la captura y retención por parte de bivalvos existan en el ambiente marino, y sean consecuentemente ingeridos.

2.5.1.2 Densidad.

La densidad de las partículas determinará su biodisponibilidad en la columna de agua; Por lo tanto, el tipo de plástico ingerido quizás varíe entre los organismos. Los planctívoros, organismos filtradores y en suspensión que habitan la parte alta de la columna de agua, es probable que encuentren plásticos de baja densidad en la superficie del mar, como polietileno con gravedad específica de 0.91 a 0.94.

La flotabilidad de los plásticos es influenciada por la bioincrustación. Por ejemplo, las bolsas de comida de polietileno (20 x 28 cm) mostraron desarrollar una biopelícula en una semana, la cual continuó creciendo a través de un periodo de exposición de 3 semanas. En la tercera semana, las bolsas de comida de polietileno comenzaron a hundirse por debajo de la superficie del mar, indicando flotabilidad neutra (Lobelle y Cunliffe, 2011). El índice de bioincrustación depende de parámetros como la energía de la superficie y la dureza del polímero, así como también de las condiciones del agua (Muthukumar et al., 2011).

2.5.1.3 Abundancia.

La abundancia y masa se incrementaron por 2 órdenes de magnitud desde una mediana 0 a 0.086 mg por m³ y 0 a 0.116 partículas por m³ respectivamente desde 1972-1987 a 1999-2000. Esto es un incremento en la abundancia de microplásticos. (Goldstein et al., 2012).

Las muestras colectadas en el noreste del Océano Atlántico durante 24 años han revelado una reducción en el tamaño de partícula media de 10.66 mm en los años noventa a 5.05 mm en los años 2000. El 69% de los fragmentos tuvieron una medida de 2 a 6 mm (Moret-Ferguson et al., 2010), destacando el dominio de partículas de plástico pequeñas.

Un aumento en la abundancia de microplásticos en el ambiente marino también afectará su biodisponibilidad, aumenta la oportunidad del organismo de encontrar partículas de microplásticos. La fragmentación progresiva de macroplásticos es probable que incremente la cantidad de partículas disponibles para la digestión a un amplio rango de organismos (Browne et al., 2007, 2008; Thompson et al., 2009). Los núcleos de sedimentos desde playas arenosas revelaron que la disposición de microplásticos se triplicó los últimos 20 años (Claessens et al., 2011).

2.5.1.4 Color.

El color de los microplásticos puede contribuir potencialmente a la probabilidad de ser ingeridos, debido al parecido que pueden tener con la presa. Shaw y Day (1994) reportaron que las partículas de plásticos colectadas en el Pacífico Norte, exhibieron variación de tamaño con respecto al color, las partículas de plásticos de color blanco consecuentemente decrecieron en abundancia con la reducción del tamaño.

Algunos peces comerciales y sus larvas son predadores visuales, que se alimentan de zooplancton pequeño y probablemente se estén alimentando de microplásticos que se parezcan a sus presas, por ejemplo, plásticos blancos, bronceados y amarillos (Shaw y Day, 1994). Para comprobar esta influencia del color en la biodisponibilidad. Los peces del área de la bahía de Niantic, Nueva Inglaterra han ingerido sólo esferas opacas y blancas de poliestireno. Estas estuvieron presentes en igual proporción con esferas de poliestireno claras, indicando selectividad (Carpenter et al., 1972). La ingestión de microplásticos debido al parecido con su

comida también podría ser aplicable a invertebrados pelágicos, que son predadores visuales. (Greene, 1985).

2.5.1.5 Egestión.

Una vez ingeridos, los microplásticos pueden ser retenidos en el tracto digestivo y desechados a través de la defecación o transferidos a través del intestino epitelial recubierto dentro del cuerpo (Thompson, 2008). A través de la egestión es posible que un organismo prevenga efectos perjudiciales causados por la ingestión de partículas de plásticos. El copépodo de estuario *Eurytemora affinis* demostró la capacidad de regurgitar gránulos de látex (15 µm) fueron retenidas y sucesivamente egestadas en gránulos fecales (Powell y Berry, 1990). La tasa de egestión probablemente afecte la capacidad de los contaminantes adheridos para desasorberse en adición a la probabilidad de trasferirse a la cadena alimenticia.

2.5.2 Efectos a nivel población.

Los microplásticos también tienen un papel potencial para proporcionar un hábitat nuevo de sustrato duro para comunidades flotantes, las cuales estaban limitadas a artículos como madera flotante, piedra pómez, conchas marinas. Moore et al. (2001), encontraron líneas de monofilamento (sedales), de 10 cm debajo de la superficie del mar colonizadas con diatomeas y otras microalgas. Recientemente los microplásticos son identificados como una fuente de oviposición para el insecto pelágico *Halobates Sericeus* indicado una correlación positiva entre los huevos de *H. Sericeus* y la abundancia de microplásticos. La comunidad de invertebrados

pelágicos representa un vínculo entre productores primarios y especies nectónicas, Por lo que estos cambios en la estructura de la población de *H. Sericeus* pueden conducir a amplias consecuencias en el ecosistema. (Goldstein *et al.*, 2012). Además, los microplásticos presentan mecanismos para transportar a larga distancia especies, aumentando la conectividad biogeográfica. Las especies flotantes más comunes son de la *phyla Cnidaria, Crustácea y Ectoprocta* (Thiel y Gutow, 2005), estas especies son consideradas más vulnerables a nivel de población a cambios asociados con los microplásticos.

2.5.3 Transferencia a la cadena alimenticia

La extensión de la transferencia trófica depende de características como:

- a). El coeficiente de partición octanol-agua (K_{ow}).
- b). El índice de transformación metabólica del componente bajo consideración. (Wan *et al.*, 2005).

Lusher *et al.* (2012) encontraron microplásticos en 36.5 % de peces pertenecientes a 10 especies muestreadas en el Canal de la Mancha independientemente del hábitat (pelágicas y demersales). Un promedio de 1.9 ± 0.1 partículas fueron recuperadas de peces que tuvieron plásticos, los principales polímeros encontrados fueron poliamidas y poliéster, los cuales son materiales comúnmente usados en la industria de la pesca (Lusher *et al.*, 2012). Estos resultados son comparables con resultados encontrados en los giros de la parte central del Pacífico Norte reportados por Boerger *et al.* (2010), fragmentos de plásticos pequeños fueron encontrados en aproximadamente un tercio de todos los peces capturados, de las especies más comunes capturadas (*Myctophum aurolanternatum*, *Myctophidae*). Los peces contenían un promedio de 6

piezas de plásticos y la clase de tamaño más frecuente ingeridas en todas las especies fue 1-2.79 mm, los colores de plásticos más comunes ingeridos fueron blanco, claro y azul de 12 colores reportados que son similares a las especies de plancton que habitan en el giro central del Pacífico Norte.

Myctophidae son depredados por el atún, calamar, ballenas *odontoceti*, pájaros marinos y lobos marinos (Boerger *et al.*, 2010). Por lo tanto, hay muchas vías de entrada a varios comportamientos de la red de alimentación marina. Varias especies de peces capturados en aguas de Nueva Inglaterra contenían microesferas de plástico idénticas a las recogidas durante remolques de redes de arrastre de plancton en la misma área (0.1 a 2 mm). *Pseudopleuronectes americanus* y *Myoxocephalus aeneus* (larvas), con aproximadamente 5 mm de longitud, contuvieron microesferas de plásticos de diámetro 0.5 mm (Carpenter *et al.*, 1972).

2.5.4 Toxicidad

La toxicidad de los microplásticos está conectada con sus componentes (aditivos y monómeros) y su área superficial grande. Los monómeros liberados de microplásticos y sus contaminantes adsorbidos (contaminantes orgánicos persistentes), pueden ser altamente carcinógenos y producir anomalías en humanos, invertebrados y roedores (Betts, 2008; Thompson, 2007). Cuando el polímero está en contacto directo con la solución (por ejemplo: agua) la distribución de los solutos de bajo peso molecular ocurre entre las fases sólidas y líquidas. Este proceso es determinado por el diferencial de la solubilidad entre las 2 fases. La desorción (lixiviado de un componente del polímero) a adsorción (enlace de componentes desde la solución por el material) depende de la interacción en el equilibrio de las dos fases, llamado el coeficiente de partición.

Los aditivos de plásticos de baja masa molecular, como los plastificantes o los antioxidantes, son lixiviados hacia el ambiente en una proporción que depende del coeficiente de partición del material circundante. El coeficiente de partición de la solución-polímero en el equilibrio es definido como la tasa de la concentración del soluto en el polímero con la de la solución (ejemplo el agua) y depende del polímero, del soluto y la composición en la fase líquida. (Gasslander et al., 2007). Gasslander et al., (2007) evaluaron las propiedades de desorción y absorción del polietileno, polipropileno y polietilencobutil en agua, calcularon que el coeficiente de partición de equilibrio del sistema polímero-solución aplicable a las sustancias de un rango hidrofóbico grande puede variar arriba de 9 órdenes de magnitud ($K = -0.5$ a 8.5). Más aun, los plásticos son capaces de actuar como esponjas adsorbiendo y concentrando contaminantes hidrofóbicos, incluyendo la mayoría de contaminantes orgánicos persistentes como los bifenilos policlorados (PCBs), en concentraciones con magnitudes de varias órdenes más altas que el ambiente marino circundante (Mato et al., 2001, Betts, 2008; Thompson, 2007).

Varios experimentos de laboratorio han estudiado la distribución cinética de gránulos de plásticos de diferentes materiales como polipropileno, polietileno, polioximetileno y gránulos erosionados. (Karapanagioti y Klontza, 2008). La adsorción de fenantreno ocurre a través de la difusión en los gránulos de todos los plásticos, excepto para polipropileno. Para este material la difusión es más probable que dependa de la salinidad (más que para los otros plásticos). Para los gránulos erosionados, el coeficiente de distribución ($K_{dFW}=1400$ L/kg) es alto debido al desgaste por el tiempo en el ambiente y la difusión ocurre más despacio (Karapanagioti y Klontza, 2008).

2.6 TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN

Los microplásticos son capaces de adsorber, concentrar y transportar compuestos tóxicos a comunidades de organismos marinos u a otros organismos que ingieren éstos en general. (Committee on the Effectiveness of International and National Measures to Prevent and Reduce Marine Debris and Its Impacts, 2008). La cantidad y tipos de desechos de plásticos transportados de la tierra al mar son controlados principalmente por la topografía, lluvias, uso de suelo, proximidad de la fuente de la basura y la extensión de la actividad humana cerca de las playas. La deposición y la retención de los plásticos, por otro lado, es controlada principalmente por la composición y la razón de degradación de las partículas de plásticos (Corcoran et al., 2009). Los plásticos más comunes tienen densidades específicas de 0.6 a 1.5 pero algunos productos finales contienen rellenos que pueden alcanzar densidades tan altas como 3.0. El polietileno, propileno, caucho natural y sintético tienen gravedades específicas que varían entre menores a 1.0 y flotan sobre el agua. Otros tipos de plásticos comunes tienen gravedades específicas un poco mayores de 1.0, Por ejemplo, el poliestireno, pero dado a la alta densidades de agua de mar, opuestas a las densidades del agua dulce podrían flotar en el ambiente marino. El cloruro de polivinilo (PVC) y el polioximetileno tienen gravedades específicas más altas (alrededor de 1.4) y tienden a hundirse. Finalmente, algunos polímeros especialmente tal como politetrafluoroetileno PTFE pueden tener gravedades específicas de 2.3. El comportamiento de diferentes microplásticos en la columna del agua necesita ser más estudiados. Sus potenciales rutas y su interacción biológica son mostradas en la Figura 2.1.

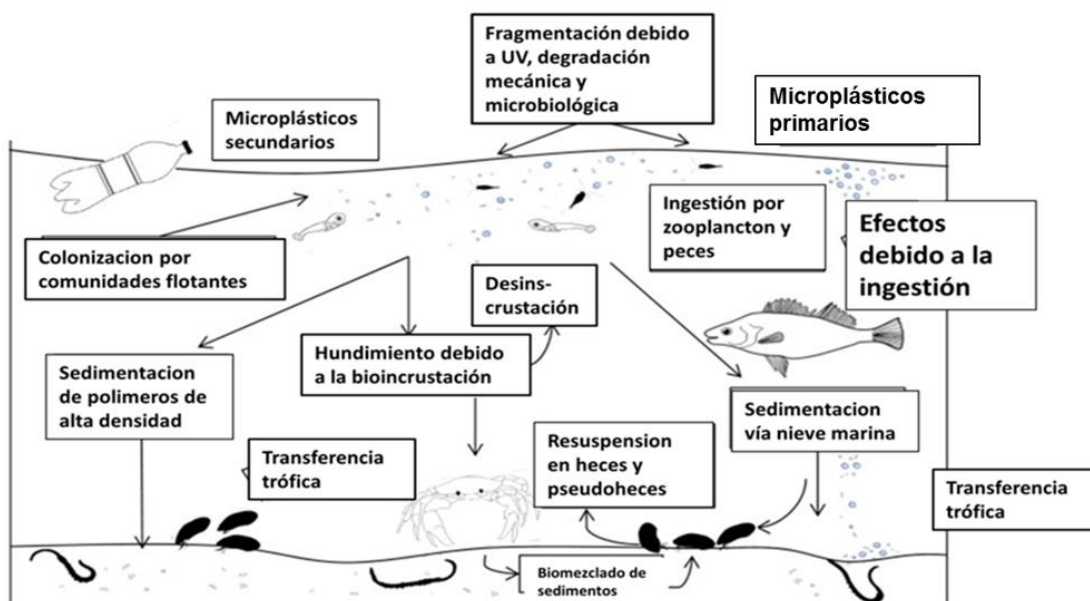


Figura 2.1 Rutas potenciales de transporte de los microplásticos y su interacción con biológicas (Wright et al., 2013).

Dos rutas de transferencia de contaminantes en microplásticos ha organismos marinos han sido identificadas:

La primera es la liberación de compuestos utilizados en los procesos de manufactura de plásticos como plastificantes, antimicrobianos y retardadores de flama (Arthur et al., 2009). Esta ruta es también concerniente a varios aditivos de plásticos dañinos y otras sustancias químicas sintéticas contenidos en las resinas plásticas (Mato et al., 2001).

El segundo mecanismo de transferencia se origina en la liberación de contaminantes orgánicos persistentes y otros compuestos hidrofóbicos dispersos en el ambiente y adsorbidos por los desechos plásticos, debido a la baja polaridad de los contaminantes orgánicos persistentes (Mato et al., 2001; Arthur et al., 2009).

Rochman et al. (2013) realizaron un experimento controlado para evaluar la relación entre la masa de polímeros plásticos y contaminantes. En este experimento fragmentos de polietileno,

polipropileno, polietileno tereftalato y fragmentos de cloruro de polivinilo fueron expuestos durante 12 meses a concentraciones ambientales de bifenilos clorados e hidrocarburos aromáticos policíclicos en la Bahía de San Diego, California. Las concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) y bifenilos clorados adsorbidos consistentemente en mayor cantidad en los fragmentos de polietileno de alta y baja densidad, y propileno que en los fragmentos de polietileno tereftalato y cloruro de polivinilo (PVC). Los autores sugieren que los productos elaborados de polietileno de alta y baja densidad, así como de propileno ingeridos por animales marinos plantean un mayor riesgo que los ingeridos con polietileno tereftalato y el PVC. Las diferencias se pueden deber a que el polietileno tiene un amplio volumen de cavidades internas, por lo que adsorbe más fenantreno que el polipropileno y el PVC (Teuten et al., 2007). De la misma manera, Teuten et al. (2007) sugirieron que los microorganismos podrían aumentar la acumulación de HAPs debido a la ingesta por gusanos marinos (*A. marina*). Sin embargo, en el ambiente, los compuestos químicos normalmente se presentan como mezclas, no como un sistema de un solo soluto (Bakir et al., 2012). En un experimento de laboratorio, usando fenantreno y 4,4'-diclorodifeniltricloroetano, el DDT no experimentó adsorción significativa utilizando polietileno y PVC (200-250 μm), sin embargo, el DDT, pareció interferir en la adsorción del fenantreno a los plásticos, lo cual indica un efecto antagónico (Bakir et al., 2012). Sajiki y Yonekubo (2003) hallaron que los plásticos policarbonatos expuestos a las sales del agua de mar, mostraban una lixiviación acelerada del monómero bisfenol-A-bioactivo, que además de ser la base de muchos polímeros, son utilizados como aditivos en plásticos. El bisfenol-A también es conocido como un disruptor endocrino.

Atención especial debe ser enfocada a los microplásticos derivados de cosméticos, limpiadores de manos, residuos de producción de plantas procesadoras de plásticos y medios de limpieza de

aire a presión (granallado). Su presencia fue documentada durante estudios en los ríos de Los Ángeles y San Gabriel, donde cerca de 2 millones de partículas de microplásticos (Moore, 2008). Los limpiadores que contienen partículas de polipropileno, polietileno y poliestireno tienen un diámetro cerca de 75 μm y fueron patentados desde 1970, sin embargo, el uso de ellos, patrón y volumen no es conocido (Zitko y Hanlon, 1991). Es supuesto que los exfoliadores de microplásticos causan bloqueo intestinal en peces pequeños (Zitko y Hanlon, 1991).

Las partículas de plásticos usados en el limpiado de partes de maquinaria y aviones pueden estar contaminados por metales pesados en altos niveles (Gregory, 1996). Los microplásticos usados en procesos industriales, así como aquellos contaminados por metales pesados pueden llegar al ambiente marino en los escurrimientos pluviales y drenaje sanitario, debido a sus propiedades de flotación y pueden ser dispersados por corrientes superficiales. (Gregory, 1996; Zitko y Hanlon, 1991).

Los contaminantes orgánicos persistentes son descritos como tóxicos, de larga vida en el ambiente (persistentes), bioacumulativos (seguido llamados lipofóbicos), mayormente hidrofóbicos, semivolátiles y muy fácilmente transportados. Todos estos contaminantes tienen en común uno o más anillos aromáticos o cíclicos alifáticos de estructuras, y ausencia de grupos funcionales polares y número variable de sustituyentes de halógenos (por ejemplo: cloro) (Fiedler, 2007; Moore, 2002; Shatalov, 2004).

Se ha estipulado que los contaminantes orgánicos persistentes presentes en los mares son la fuente de estos contaminantes encontrados en los gránulos de plástico pequeños en el ambiente marino y playas; y que la adsorción de estos contaminantes a la superficie del plástico es un mecanismo de enriquecimiento (Mato et al., 2001). Los microplásticos son capaces de concentrar contaminantes orgánicos persistentes (POPs por sus siglas en inglés Persistan Organic

Pollutants), los cuales tienen una afinidad más alta por las superficies hidrofóbicas de los plásticos comparadas con el agua de mar. Debido a sus altas áreas superficiales en comparación a su razón de volumen, los microplásticos pueden llegar estar altamente contaminados (hasta seis veces en orden de magnitud que el agua de mar en donde se encuentran) con contaminantes orgánicos persistentes marinos POPs (Hirai et al., 2011; Mato et al., 2001). Se encontró que resinas granulares de polipropileno recogidas a lo largo de las costas japonesas estaban enriquecidas con bifenilos policlorados, pesticidas organoclorados y nonilfenoles, adsorbidos del agua de mar (Mato et al., 2001). Las concentraciones encontradas de estos compuestos orgánicos eran comparables con las encontradas en partículas suspendidas y los sedimentos del fondo colectadas en la misma área. Los aditivos y productos de degradación de los plásticos son la mayor fuente de nonilfenoles. (Mato et al., 2001). Análisis individuales de bifenilos policlorados revelaron que las concentraciones son altamente variables entre gránulos individuales y su localización a lo largo de costas japonesas. (Endo et al., 2005; Ogata et al., 2009). Adicionalmente gránulos decolorados (desgastados por el tiempo) han sido expuestos a concentraciones superiores de bifenilos policlorados que los gránulos con color.

En las costas de California, la presencia de bifenilos policlorados y HAPs provenientes del uso de combustibles fósiles y de diclorodifeniltricloroetano provenientes de plaguicidas fue reportada en gránulos de plástico y microplásticos (80-90%) (Ríos et al., 2007). Las muestras de plancton de la misma área de estudio indicaron que fragmentos de polipropileno presentaban concentraciones altas de contaminantes orgánicos (similares a los sedimentos marinos), lo que demuestra que los plásticos actualmente adsorben y acumulan contaminantes una vez que son liberados en el ambiente marino (Ríos et al., 2010).

Estudios recientes sobre la exposición de compuestos fenólicos, confirman dicha exposición debido a la ingestión de microplásticos. La ingestión puede ser una ruta directa de contaminantes orgánicos persistentes a animales más grandes como las aves marinas (Betts, 2008).

Grandes cantidades de plásticos (principalmente de fragmentos pequeños), fueron encontrados después de una tormenta, teniendo una relación alta entre plásticos y plancton (Moore et al., 2002). Los plásticos se muestrearon también a través de la columna de agua (en la superficie, en medio y en el fondo) en la Bahía de Santa Mónica, California, antes y después de una tormenta (Lattin et al., 2004). Inesperadamente las cantidades de plásticos encontradas no fueron más altas en la superficie sino en el fondo. Las concentraciones más altas fueron encontradas después de una tormenta, cerca de la costa, lo que refleja las aportaciones de los escurrimientos y la resuspensión de los sedimentos (Lattin et al., 2004). Doyle et al. (2011) analizaron microplásticos en la superficie del mar, en el norte del Océano Pacífico (Mar de Bering), ellos enfatizaron que los microplásticos se concentraban cerca de la superficie debido a la flotabilidad de los microplásticos en el agua de mar.

2.7 EFECTOS A LA BIOTA

Los microplásticos tienen un riesgo serio a la biota residente y migrante, especialmente las especies endémicas (Ivar do Sul et al., 2009). Laist (1997) afirmó que la basura de plásticos en general afecta al menos 267 especies en el mundo, incluyendo 86% de todas las especies de tortugas, 44% de todas las especies de aves marinas y 43% de todas las especies mamíferas marinas (Thompson et al., 2008). La persistencia de microplásticos en mejillones tiene

implicaciones para los depredadores, incluyendo pájaros, cangrejos, estrellas de mar, caracol rapaz (Petraitis, 1987) y humanos (Thompson et al., 2008).

Los impactos biológicos de los microplásticos sobre organismos marinos ha empezado a ser estudiado recientemente. Un reporte técnico acerca de los impactos de la basura en el ambiente marino reveló que arriba del 80% de los incidentes entre seres vivos y basura marina están asociados a plásticos, mientras que el 11% de todos los reportes están asociados a los microplásticos (GEF, 2012). Debido a que los microplásticos ocupan la misma fracción de tamaño que los organismos planctónicos, son potencialmente biodisponibles a un amplio rango de organismos. Los microplásticos pueden ser ingeridos por organismos situados bajos en la cadena trófica en suspensión, organismos filtradores, detritívoros y planctívoros (Browne et al., 2008; Graham and Thompson, 2009; Murray and Cowie, 2011; Thompson et al., 2004). Por lo tanto, estos organismos pueden acumularlos dentro de sus órganos, resultando en daños físicos, tales como abrasiones internas y bloqueos intestinales. En adición a los impactos potenciales físicos de los microplásticos ingeridos. Estos pueden ser tóxicos debido a la lixiviación de los contaminantes constituyentes de los microplásticos tales como los monómeros y los aditivos de los plásticos que son cancerígenos y disruptores endocrinos (Oehlmann et al., 2009; Talsness et al., 2009).

Otra investigación en hámsters inyectados con de partículas de poliestireno 60 nm en el flujo sanguíneo ha mostrado que estas partículas pueden inducir trombosis, que es la presencia de coágulo de sangre (Nemmar et al., 2003).

En el Pacífico Norte, peces mesopelágicos (9%, N=141), incluyendo peces linterna, han sido contaminados con fragmentos de plásticos (aproximadamente 2.2 mm) y fibras. (Davison y

Asch, 2011). De la misma manera, se encontró que 40% de los peces lintern en las islas Marianas contenían plásticos en sus estómagos (Van Noord, 2013).

Los ambientes estuarinos alrededor del mundo son afectados por la contaminación de microplásticos (Browne et al., 2011) y sus peces residentes tienen riesgo de interactuar con éste contaminante. En un pequeño estuario en el sur del Océano Atlántico Occidental, bagres, (*Ariidae*), peces tambores estuarinos (*Sciaenidae*) y mojarras (*Gerreidae*) han sido reportadas que contienen polímeros sintéticos en sus tractos digestivos (Possatto et al., 2011; Dantas et al., 2012; Ramos et al., 2012). Todas las especies estudiadas fueron bentófagos, los cuales se alimentan debajo de la superficie del sedimento. Estas especies frecuentemente ingieren hilos de nylon azul. Para bagres (N=182), la ingestión de desechos de plásticos parece variar de acuerdo con la fase ontogénica (excepto para *Cathorops Agassizii*) (Possatto et al., 2011).

Los microplásticos además de entrar a la cadena alimenticia vía ingestión también existe una capacidad de adsorción por algunos organismos. En la base de la cadena alimenticia, las algas marinas celulares *Chlorella* y *Scenedesmus* adsorben nanoplasticos (20 nm). La preferencia por partículas de carga positiva fue reportada, probablemente debido a la atracción electrostática entre los pequeños gránulos y los constituyentes de la celulosa de las células vivas. La adsorción nanoplastica depende más en la morfología algal y la motilidad con *la Flagellate Scenedesmus* mostrando una gran afinidad a las partículas (Bhattacharya et al., 2010).

Los fulmares (una clase de ave marina) a lo largo del este del Océano Pacífico Norte son altamente susceptibles a los plásticos (Avery-Gomm et al., 2012) más del 90% de las aves mostradas se encontraron contaminadas por microplásticos, en su mayoría fragmentos. Experimentos de laboratorio usando *Sphaeroma quoianun* indicaron que esos isópodos pueden producir millones de fragmentos de poliestireno que se asemejan a bolitas plásticas, cuando son

incrustados en boyas en el Océano Pacífico (Davidson, 2012). En las Islas Hawaianas, en el Pacífico Norte, los albatros obtenidos por capturas de pesca estaban también contaminados. (*Phoebastria immutabilis*) (N=18; 83.3%) tuvieron una frecuencia más alta de plásticos ingeridos que (*P. Nigripes*) (N=29; 52%). Fragmentos de plástico ordinarios y sedales compusieron la mayoría de los artículos ingeridos (Gray et al., 2012).

2.8 ESTUDIOS DE MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS DE PLAYAS.

La presencia de microplásticos en sedimentos costeros pueden impactar en las propiedades físicas de las playas (Carson et al., 2011). Núcleos construidos de sedimentos artificiales indicaron que altas cantidades de fragmentos plásticos incrementaban la permeabilidad de los sedimentos y cambiaba su temperatura máxima, lo cual causaba que los sedimentos se calentaran más despacio. Ésto puede afectar el sexo de los organismos temperatura-determinante, tal como las tortugas de mar (ejemplo una reducción en el número de las hembras) (Carson et al., 2011).

Thompson et al., (2004) analizaron los sedimentos en playas del Reino Unido y encontraron que los polímeros más frecuentemente fueron en forma de fibras. Microplásticos menores a 1 mm fueron también detectados en muestras de sedimento del Estuario Tamar (Browne, et al., 2010). Microplásticos de PVC, poliéster y poliamidas comprendieron aproximadamente 80% de los fragmentos totales encontrados.

En las costas de Bélgica, sedimentos de playas, bahías y hábitats sub-litorales fueron encontradas contaminadas con microplásticos (38µm – 1mm). En general las fibras de plásticos fueron más comunes que los gránulos, excepto en el área de las bahías. Vianello et al., 2013 estudiaron la presencia de microplásticos en sedimentos de la laguna de Venencia, Italia. Se analizaron 10

diferentes clases de polímeros que midieron entre 30 y 500 μm , las muestras fueron identificados con FT-IR espectrometría. El poliestireno y polipropileno fueron prevalecientes en los microplasticos. Estructuralmente las partículas de microplásticos tienden a acumularse en el interior de la laguna y en las fracciones de sedimentos finos. McDermid y McMullen (2004) examinaron los niveles de plásticos en playas hawaianas. Se encontró que la mayor parte estaba compuesta por fragmentos de plástico (87%) pero también por gránulos de resina (11%). Los fragmentos midieron entre 2.8 y 5 mm.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO.

Veintiun sitios de playas fueron seleccionados en la península de Baja California. Doce de estos sitios están localizados en la costa del Océano Pacífico y el resto en la costa del Golfo de California. Por otra parte once de las playas están localizadas en centros urbanos y diez playas en zonas no urbanas. En cuanto a su localización estatal trece de los sitios están localizadas en el estado de Baja California y ocho en el estado de Baja California Sur. La Tabla 3.1 resume las coordenadas de los sitios, así como las características generales de los sitios de muestreo y las muestras colectadas.

Tabla 3.1 Localización de los sitios de muestreo y características físicas de muestras colectadas.

Sitio	Fecha de muestreo	Población (2010)^a	Color de arena	Textura	Naturaleza del sitio	Ubicación
Playas de Tijuana	30/08/15	1 559 683	Beige grisáceo claro	Fina	Urbana	32°32'02.44"N, 117°07'26.74"O
Playas de Rosarito	08/09/15	90 668	Beige grisáceo	Fina	Urbana	32°21'38.56"N, 117°04'10.78"O
La Misión	27/02/16	733	Beige grisáceo	Fina	No urbana	32°05'36.04"N, 116°53'02.28"O
Ensenada	27/02/16	192 550	Beige amarillo claro	Fina	Urbana	31°50'21.53"N, 116°36'41.87"O
Punta Banda	16/09/16	45	Beige claro	Fina	Urbana	31°45'23.07"N, 116°37'55.88"O
San Felipe	15/08/15	16702	Beige amarillo claro	Fina	Urbana	31°01'39"N 114°50'07"O
La Perla	18/09/16	NA	Beige amarillo	Fina	No urbana	30°56'29.66"N, 114°43'50.57"O
Vicente Guerrero	07/07/15	10 635	Gris	Fina	Urbana	30°42'22.57"N, 116°02'14.76"O
Santa María, San Quintín	13/07/15	NA	Grisáceo claro	Fina	No urbana	30°23'57.45"N 115°54'47.77"O
El Socorrito	07/07/15	29	Beige blanco	Fina	No urbana	30°19'04.18"N 115°49'32.54"O
Sitio 40 km sur de SQ	07/07/15	NA	Gris	Fina	No urbana	30°14'10.10"N 115°47'41.59"N
Playa La Gringa	30/06/16	NA	Beige	Fina	No urbana	29°02'19.98"N 113°32'56.10"O
Bahía de Los Ángeles	29/06/16	543	Beige	Fina	No urbana	28°57'11.74"N 113°33'27.40"O

Continuación
de tabla 3.1

Guerrero Negro	01/07/16	13 054	Beige	Fina	Urbana	28°01'53.77"N 114°06'58.78"O
Ejido San Lucas	02/07/16	606	Beige	Arena con conchas	No urbana	27°13'02.76"N 112°12'50.65"O
Loreto	02/07/16	14 724	Café oscuro	Fina	Urbana	26°00'24.69"N 111°20'19.33"O
El Requesón, Mulegé	12/07/15	NA	Beige pálido	Arena con conchas y piedras.	No urbana	26°38'18.43"N, 111°49'53.23"O
La Paz.	9/07/2015	251 871	Beige amarillo claro	Arena con muchas piedras pocas conchas.	Urbana	24°09'49.08"N, 110°19'01.35"O
La Balandra	10/07/15	NA	Beige claro	Arena con conchas.	No urbana	24°19'18.41"N, 110°19'26.99"O
Todos los Santos	11/07/15	5 148	Beige amarillo	Fina con pocas piedras.	Urbana	23°25'24.25"N, 110°13'48.0"O
Cabo San Lucas	11/07/15	76 032	Beige amarillo	Arena con piedras	Urbana	22°53'6.21"N, 109°54'20.86"O

^aINEGI (2010), Gobierno del Estado de Baja California, (2015). NA: no aplicable significa que el sitio se encuentra en una playa despoblada.

La Figura 3.1 muestra la ubicación de los sitios de muestreo en la península de Baja California.



Figura 3.1 Localización de los sitios de muestreo en la Península de Baja California.

3.1 SITIOS DE MUESTREO.

3.1.1 Playas de Tijuana.

Este sitio se encuentra al oeste de la ciudad de Tijuana y recibe un gran numero de visitantes a través de todo el año. En en los días más concurridos se ha registrado un total de 10000 visitantes por día (Alcántara, 2016). La longitud total desde cerco de la frontera hasta la zona de peñascos conocida como El Vigía es de 4.2 km. La primera muestra se tomó adyacente al muro fronterizo, la segunda muestra se tomo enfrente de la cabina de salvavidas y la última se colectó aproximadamente a 200 metros al sur de dicha cabina. La Figura 3.2 muestra vista de los sitios de muestreo en Playas de Tijuana.



Figura 3.2 Playas de Tijuana

3.1.2 Playas de Rosarito.

Se localiza aproximadamente a 20 kilómetros al sur de la frontera. Las playas se caracterizan porque en su totalidad se encuentran urbanizadas y recibir un gran número de visitantes en periodos vacacionales y fines de semana. Los puntos de muestreos fueron al sur de las

instalaciones de PEMEX y en los alrededores del muelle localizado enfrente del Hotel Rosarito.

En la Figura 3.3 se muestran los sitios de muestreo en Playas de Rosarito



Figura 3.3 Playas de Rosarito.

3.1.3 Playa La Misión.

Esta playa se encuentra aproximadamente a 65 km al sur de Tijuana, en el municipio de Playas de Rosarito. Se encuentra a un costado de la carretera escénica Tijuana-Ensenada (Figura 3.4).

Al este de la playa se encuentra el poblado de la Misión y al sur de la playa se encuentra el desemboque del arroyo de la Misión.



Figura 3.4 Playa La Misión.

3.1.4 Ensenada.

El sitio de muestreo fue la playa llamada Hermosa (Figura 3.5), localizada al sur de los muelles del puerto, esta playa tiene aproximadamente 3 kilómetros de los linderos de los muelles hasta las instalaciones de la base naval. Es una de las playas con mayor afluencia de visitantes en Ensenada.



Figura 3.5 Playa Hermosa en Ensenada.

3.1.5 San Felipe.

Las muestras se colectaron en la playa principal en el malecón donde se observó una gran afluencia de visitantes y lanchas. Las otras dos muestras se colectaron en la zona entre el malecón y a un costado de las instalaciones del puerto (Figura 3.6).



Figura 3.6 San Felipe, Baja California.

3.1.6 Punta Banda.

Se encuentra aproximadamente unos 6 km de la mancha urbana de la ciudad de Ensenada, sobre la lengua del Estero de Punta Banda. El sitio se encuentra dentro de la Bahía de Todos Los Santos. Se caracteriza por la cantidad de casas de veraneo como se observa en la Figura 3.7. En el sitio se observó gran número de restos de redes. Aunque su población fija es pequeña (45 habitantes) fue considerada urbana por su cercanía a la ciudad de Ensenada y la cantidad de asentamientos a sus alrededores.



Figura 3.7 Playa Punta Banda.

3.1.7 La Perla.

El sitio está localizado aproximadamente 10 km al sur de San Felipe por la carretera a Puertecitos. Cerca del sitio de muestreo se encuentra un desarrollo habitacional en las cuales son casas de renta para turistas. La Figura 3.8 muestra algunas imágenes de la playa.



Figura 3.8 Playa en la Perla del Mar, San Felipe.

3.1.8 Vicente Guerrero.

Esta playa se encuentra aproximadamente a 4 km al oeste del poblado de Vicente Guerrero y al sur de la desembocadura del arroyo Santo Domingo. Vicente Guerrero se encuentra aproximadamente a 169 kilómetros al sur de Ensenada. Durante el muestreo se observó que se realizan labores de pesca a pequeña escala (Figura 3.9). Las actividades preponderantes en las cercanías a la playa es la agricultura. Se identificó también una descarga no controlada de aguas residuales y basura en la playa.



Figura 3.9 Vistas del punto de muestreo en Vicente Guerrero.

3.1.9 Santa María, San Quintín.

El sitio se encuentra localizado aproximadamente a 18 km al sur de San Quintín. El sitio se encuentra justamente enfrente del Hotel Santa María (Figura 3.10) y rodeado de predios agrícolas, no se observa en los alrededores desarrollos urbanos y se encuentra aproximadamente 7 km de la entrada a la bahía de San Quintín.



Figura 3.10 Vistas del sitio Santa María.

3.1.10 El Socorrito.

Este sitio está localizado aproximadamente a 25 kilómetros al sur de San Quintín. Las playas están situadas enfrente de un desarrollo residencial de baja densidad (<50 residencias) y el entorno de las playas es desértico. Se observó en las playas una cantidad de algas marinas. La Figura 3.11 muestra una imagen general del sitio de muestreo del Socorrito.



Figura 3.11 El Socorrito

3.1.11 Sitio 40 km sur de San Quintín.

Esta playa está localizada aproximadamente a 38 kilómetros al sur de San Quintín y 13 kilómetros al sur de El Socorrito. No existe ninguna población en sus alrededores. La playa se caracteriza por estar localizada enfrente de acantilados, a los cuales solo se puede acceder por cañones erosionados y su entorno es desértico (Figura 3.12). Parte de esta playa es rocosa y otra consiste en arena.



Figure 3.12 Panorámica del sitio aislado. (a 40 km del sur de San Quintín).

3.1.12 Playa La Gringa.

La playa La Gringa está ubicada aproximadamente a 10 km al norte de la población de Bahía de Los Ángeles, en Baja California. Sus aguas son tranquilas con arena gruesa (Figura 3.13) y las playas son poco visitadas de acuerdo al vecino que cuida parte de la playa. La playa cuenta con pocas palapas por lo que se observa que la única actividad en la playa es el turismo.



Figura 3.13 Playa La Gringa.

3.1.13 Bahía de los Ángeles.

Bahía de Los Ángeles es un poblado de 543 habitantes de acuerdo al censo 2010 (Tabla 3.1), localizada en las costas del Golfo de California y a 540 km al sur de Ensenada. Sus playas no son utilizadas por los turistas en gran medida por la presencia de mantarrayas. Las principales actividades son la pesca y el turismo. Las muestras fueron tomadas en las playas enfrente del Hotel Villa Vita (Figura 3.14).



Figura 3.14 Sitios de muestreo en Bahía de los Ángeles.

3.1.14 Guerrero Negro.

Guerrero Negro se encuentra en la costa del Océano Pacífico, justo al sur del Paralelo 28° norte, en la división de los estados de Baja California y Baja California Sur. En esta población se encuentra la salina más grande del mundo. Las muestras se tomaron en el sitio llamado El Faro, a la salida de los humedales artificiales (Figura 3.15).



Figura 3.15 Sitios de muestreo en Guerrero Negro.

3.1.15 Ejido San Lucas.

El ejido de San Lucas se encuentra en el municipio de Mulegé en Baja California Sur, tiene una población de 606 habitantes (Tabla 3.1) y se encuentra aproximadamente a 12.5 km al sur de Santa Rosalía. En el sitio de muestreo se observa que existen en su mayoría casas de veraneo y actividades de pesca (Figura 3.16).



Figura 3.16 Imágenes de Ejido San Lucas.

3.1.16 Loreto.

La población de Loreto en el 2010 era de 14 724 habitantes (Tabla 3.1). La principal actividad económica es el turismo y pesca. Los sitios de muestreo fueron en la zona al sur de la terminación del malecón (Figura 3.17).



Figura 3.17 Sitios de muestreo en Loreto.

3.1.17 Mulegé, El Requesón.

La Playa El Requesón está localizada en la Bahía de Concepción en el Mar de Cortez a aproximadamente 30 kilómetros al sur de Mulegé. Esta Playa es una barra de arena en medio de una pequeña bahía dentro de la Bahía de Concepción. Sus aguas son tranquilas y cuenta con palapas para los turistas. No se observó ninguna actividad de pesca por lo que la única actividad dentro de esta playa es la turística. La Figura 3.18 muestra algunas vistas de la Playa El Requesón.



Figura 3.18 Playa El Requesón, Bahía de Concepción, Mulegé.

3.1.18 Todos Santos.

El sitio se denomina playa Punta Lobos se encuentra al oeste del pueblo Todos Santos en Baja California sur en la costa del Océano Pacífico. En la playa se observa una incipiente actividad turística (Figura 3.19). Durante la estancia no se observó gran número de visitantes, ni de actividad pesquera. El sitio se encuentra aproximadamente a dos kilómetros del poblado.



Figura 3.19 Vistas de Todos Santos.

3.1.19 La Paz.

Las muestras se tomaron en el malecón de La Paz a un lado del Muelle y del quiosco. Es una playa urbana en que consiste en una gran cantidad de restos de conchas. El Malecón y los sitios de muestreos se encuentran en una zona comercial y hotelera (Figura 3.19). La Paz se encuentra en las costas del Golfo de California, en la Bahía del mismo nombre.



Figura 3.20 Vistas del Malecón de La Paz.

3.1.20 Playa La Balandra.

La playa de la Balandra se encuentra aproximadamente a 17 kilómetros al norte de la ciudad de La Paz. En una bahía de aproximadamente 0.6 a 0.9 km de ancho, no existe ningún hotel o locales como restaurantes, solo un estacionamiento y algunos vendedores ambulantes. La playa es un atractivo turístico y es visitado por un gran número de personas. La Figura 3.21 muestra algunos aspectos de la playa La Balandra.



Figura 3.21 Playa la Balandra.

3.1.21 Cabo San Lucas.

Las muestras se tomaron en la playa llamada los Médanos, enfrente de un complejo hotelero y a aproximadamente 400 metros de la entrada de la zona de muelles (Figura 3.22). Esta playa es una de las más concurridas playas de Cabo San Lucas y se observó una gran afluencia de embarcaciones tipo lanchas de turistas.



Figura 3.22 Cabo San Lucas.

4. METODOLOGÍA

4.1 ANÁLISIS DE PRODUCTOS COMERCIALES CON MICROPLÁSTICOS.

Se analizaron 9 productos comerciales colectados en Tijuana B.C. México que contienen microplásticos con la espectroscopia FTIR-ATR lo que resultó 9 espectros de infrarrojo para cada producto analizado. Estos productos incluyeron exfoliantes y pasta de dientes. Para esto, se tomaron 1ml/100ml H₂O y se filtró en un filtro de fibra de vidrio. Los microplásticos son usados como adorno estético en pastas de dientes y desinfectantes. Sin embargo en los exfoliantes son utilizados como agentes de fricción para la piel. Anteriormente, productos naturales eran usados para este proceso como piedras pómez y cascara de almendras pulverizadas. La Tabla 4.1 muestra los productos comerciales analizados.

Tabla 4.1 Productos comerciales con microplásticos analizados.

Nombre de producto	Uso
Neutrogena	Exfoliante
Dial	Exfoliante
Eternal secret	Exfoliante
Nivea azul	Exfoliante
Soaf soap	Exfoliante
Nivea	Exfoliante
Yves rocher (fresa)	Exfoliante
Yves rocher bio	Exfoliante
Crest	Pasta dental

4.2 MUESTREO EN PLAYAS.

Se realizaron muestreos en 21 sitios de playas de Baja California y Baja California Sur, como lo son Playas de Tijuana, Playas de Rosarito, Ensenada, La Misión, Punta Banda, San Felipe, La Perla, Vicente Guerrero, San Quintín (Santa María), El Socorrito, Bahía de los Ángeles, Playa La Gringa al norte de Bahía de los Ángeles, Guerrero Negro, Ejido San Lucas, Loreto, Todos los Santos, La Paz, La Balandra, Cabo San Lucas y Playa El Requesón. Además de un sitio a 13 kilómetros al sur de El Socorrito (nombrado sitio ubicado a 40 km al sur de San Quintín). Las descripciones de estos sitios se mostraron en el capítulo anterior.

Las muestras se colectaron de playas arenosas en la línea de marea alta. En la mayoría de las playas o sitios, se tomaron 3 muestras compuestas, a una distancia entre ellas de 100 m, esto es se tomó de un área superficial (con ayuda de una cuchara metálica), en un cuadrante de 2 m por 2 m, varias muestras simples hasta completar 1 kg. Las unidades usadas para estimar la abundancia fueron número de partículas por kilogramo. En total se colectaron 71 muestras.

4.3 PROCESAMIENTO DE MUESTRAS.

En el procesamiento de muestras consiste en 4 pasos principales:

1.-Tamizado.- Una vez recolectada la muestra y secada a 60° C por 24 horas, se pasa por un tamiz de 1 mm de tamaño de malla (Figura 4.1).



Figura 4.1 Secado y tamizado de las muestras.

2.-Separación por densidad. Las muestras así obtenidas se le aplicó el siguiente tratamiento utilizando el método descrito por Thompson *et al.*, (2004) y Claessens *et al.*, (2011): 1000 g de la muestra tamizada y homogeneizada se colocan en un recipiente de dos litros de vidrio, se le agregó una solución saturada salina (120 g de NaCl en un litro de agua), se agitó por cinco minutos y se dejó reposar por una hora. En el caso de las muestras más turbias se dejaba reposar toda la noche. Se repite el mismo método de extracción por triplicado. Con este procedimiento se separa por diferencia de densidad los microplásticos y la arena (Figura 4.2)



Figura 4.2 Separación por densidad.

3.-Filtración.- Después de la extracción, se decantó la solución salina y se hizo pasar por un tamiz de 32 μm , el tamiz se limpia con agua desionizada y el agua se recoge en un vaso de precipitado. Después esta agua se pasa a través de un filtro de fibra de vidrio, Whatman 969 con un poro de 0.4 μm se filtra por gravedad en un embudo Bushner (Figura 4.3). Se lava el vaso de precipitado tres veces y se filtra el lavado a través del filtro. El papel filtro se toma con unas pinzas y son colocados en un recipiente de vidrio tapado para evitar que se contamine la muestra.

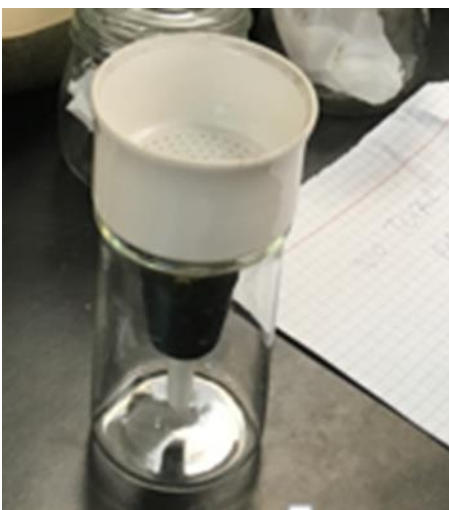


Figura 4.3 Filtración de las muestras.

4.-Cuantificación y clasificación visual.- Se procede a analizar el filtro en un microscopio óptico, que es colocado en placas de vidrio 15 x 15 cm (Figura 4.4). Los parámetros utilizados fueron por forma de las partículas en fibras, esferas, gránulos y películas. Además se diferenciaron por diferentes colores.

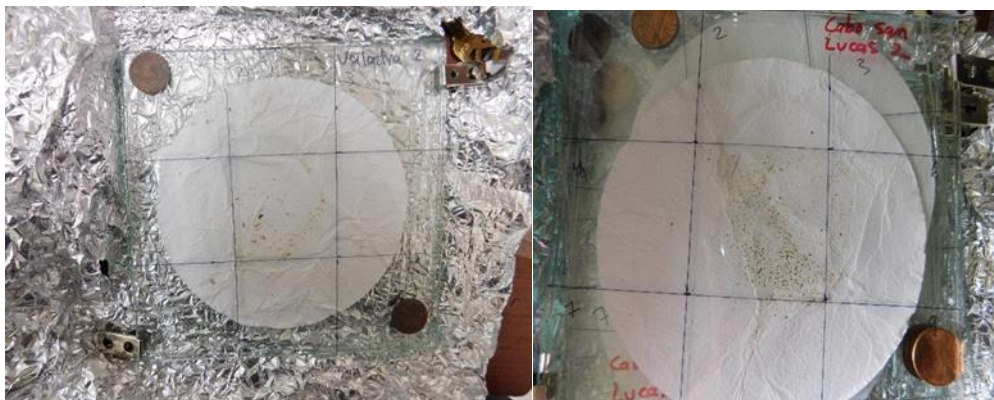


Figura 4.4 Cuantificación de microplásticos.

4.4 ESPECTROSCOPIA INFRARROJO (FT-IR CON ATR).

La ventaja de la espectroscopia FTIR-ATR es que no es necesaria la preparación previa de la muestra. Por lo tanto resulta útil en materiales plásticos en general. El análisis es superficial y el espectro obtenido corresponde a los componentes que hay en la superficie de la muestra. La caracterización analítica de los materiales investigados se ha llevado a cabo a partir de la asignación de las bandas de los grupos funcionales correspondientes y tomando como referencia los espectros reportados.

El equipo utilizado en esta investigación ha sido un espectrómetro FT-IR NICOLET IS5 ADAPTADOR ATR (Figura 4.5), dentro del intervalo de $4000-400\text{ cm}^{-1}$ y con una resolución de 15 cm^{-1} , Las condiciones de registro de los espectros fueron de 50 barridos.

De los 21 sitios muestreados y un total de 71 muestras se realizaron 23 espectros de FT-IR con ATR de las partículas de microplásticos para los parámetros de forma (fibras, esferas, gránulos y películas) y sus distintos colores encontrados en la clasificación.

El análisis de espectroscopia infrarrojo (FT-IR con ATR) se realizó de la siguiente manera. Se limpió con metanol 99% antes y después de cada medición. Después de dicha limpieza se tomó

con pinzas y mediante la ayuda del microscopio la partícula a analizar y se procede a realizar el espectro en absorbancia.

4.5 PLAN DE ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

Los resultados obtenidos fueron analizados utilizando el programa estadístico MINITAB. Se procedió a realizar el análisis de los datos obtenidos aplicando la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov para establecer la bondad de ajuste a la normalidad de las concentraciones de microplásticos en playas muestreadas en la península de Baja California.



Figura 4.5 Espectrofotómetro IR con ATR.

Los resultados de dicha prueba determinaron que los datos obtenidos no se ajustaban a una distribución normal, por lo que se utilizaron métodos no paramétricos para el análisis de datos. Para comparar las medianas de dos grupos de datos independientes que no se ajustan a una distribución normal se utilizó la prueba de U de Mann Whitney. En este estudio se utilizó esta prueba para comparar las medianas de las concentraciones de microplásticos entre playas

localizadas en centros urbanos y no urbanos. Para la clasificación de playas urbanas y no urbanas se utilizó la clasificación de INEGI para poblaciones rurales (poblaciones < 2 500 habitantes) y poblaciones urbanas (poblaciones > 2500 habitantes (INEGI, 2015). De la misma manera se compararon los sitios ubicados en las costas del Océano Pacífico con las ubicadas en el Golfo de California, con el propósito de poder identificar diferencias entre las concentraciones de microplásticos en dichas playas.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS EN PRODUCTOS COMERCIALES.

A continuación se describen los microplásticos encontrados en productos comerciales como exfoliantes y pastas para dientes.

5.1.1 Crest

La Figura 5.1 muestra una fotografía de los microplásticos y el espectro IR de dichas partículas.

Se observan partículas de forma irregular de color azul de un tamaño menores a un milímetro.

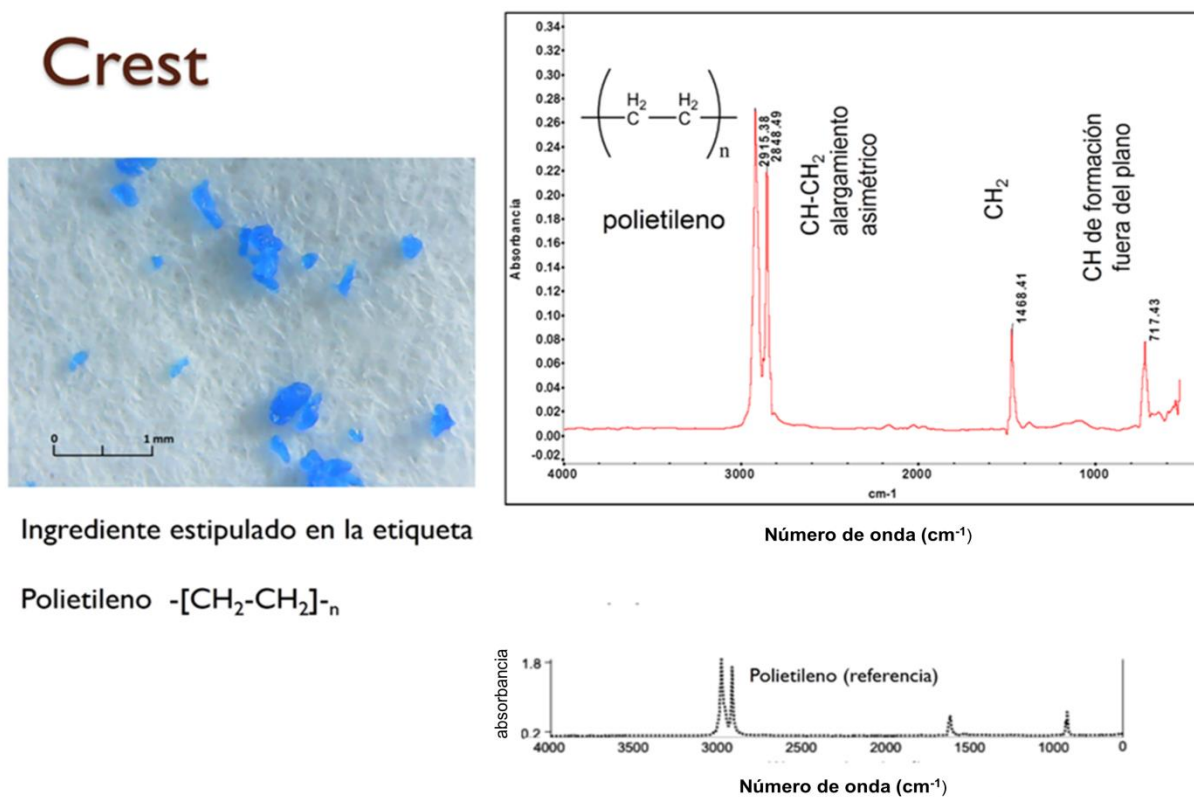


Figura 5.1 Microplásticos del producto Crest y su respectivo espectro IR obtenido y el de referencia para polietileno (Browne et al. 2011).

Las principales señales en el espectro de IR para el producto CREST son mostradas en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Número de onda para los microplásticos en el producto comercial CREST y referencia.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) (referencia del polietileno)	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico del producto
CH estiramiento	2965-2915	2915
CH estiramiento	2865-2840	2849
CH_2 en el plano	1470-1465	1468
CH-deformación fuera del plano, banda balanceo	720-710	717

Para el microplástico contenido en el producto comercial crest con el ingrediente estipulado en su etiquetado como polietileno, analizado con la técnica de Espectroscopia FTIR-ATR, se identificó como un posible polietileno. Las características principales observadas en el espectro de IR son:

- El enlace de estiramiento C-H, en 2915 cm^{-1} indica un enlace alcano alifático, resulta en un enlace CH- CH_2 alargamiento asimétrico con 2848 cm^{-1} .
- Señal en 1468 cm^{-1} , indica un tipo de vibración $-\text{CH}_2-$.
- Señal en 717 cm^{-1} , indica un CH de deformación fuera del plano; es importante esta señal para la identificación de hidrocarburos de cadenas largas lineales.

5.1.2 Producto Dial.

La Figura 5.2 muestra la fotografía de los microplásticos identificados en el producto Dial. Estos microplásticos son de forma esférica y se detectaron en su gran mayoría de color verde, aunque

también se observaron esferas de color blancas. Estos microplásticos presentaron diámetros menores a 0.5 mm.

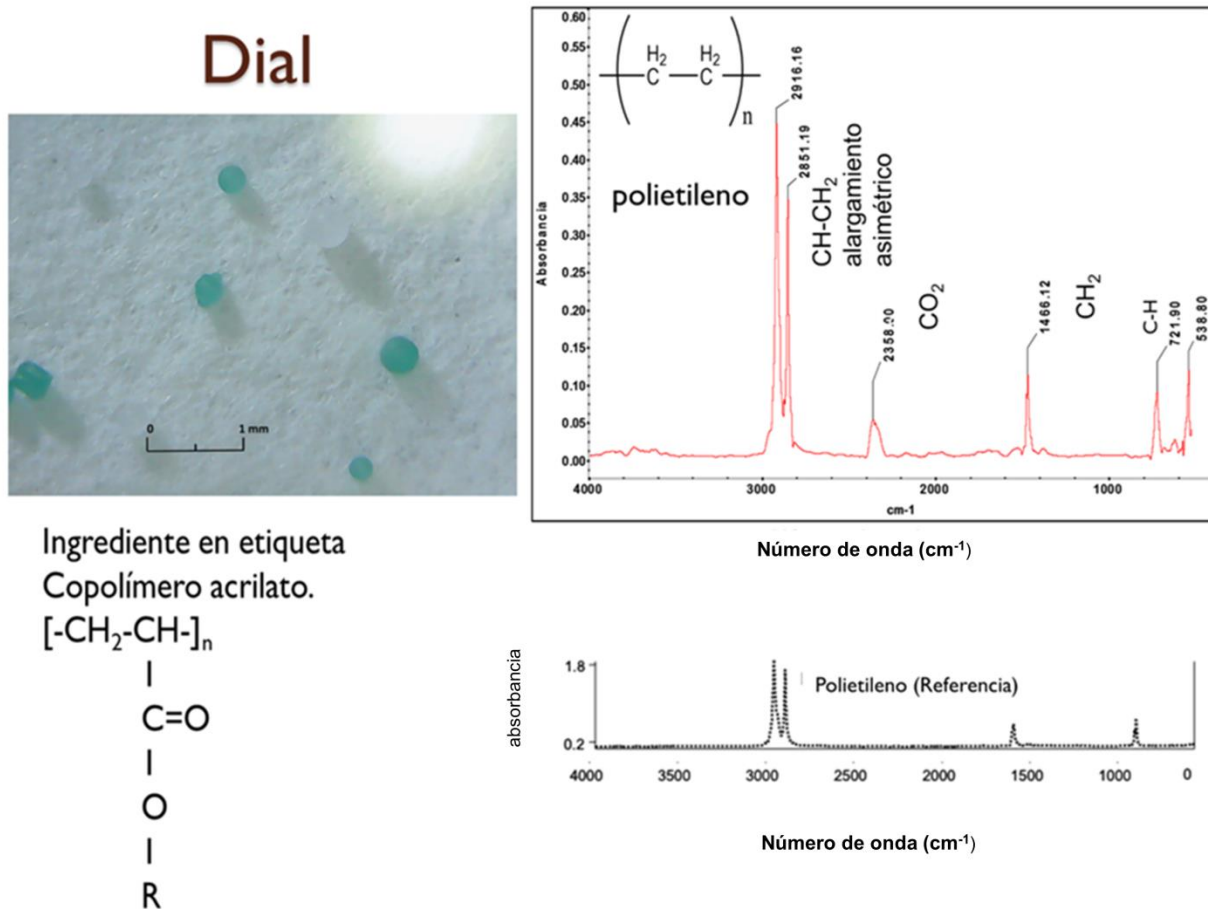


Figura 5.2 Microplásticos del producto Dial y su respectivo espectro IR obtenido y el de referencia para polietileno (Browne et al. 2011).

La Tabla 5.2 muestra las principales señales de microplásticos contenidas en el producto Dial y su respectiva referencia.

Tabla 5.2 Número de onda para los microplásticos en el producto comercial DIAL y referencia.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) referencia del polietileno	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico del producto
CH estiramiento	2965-2915	2916
CH estiramiento	2865-2840	2851
CH ₂ en el plano	1470-1465	1466
CH-deformación fuera del plano, banda balanceo	720-710	722
CO ₂	2380	2358

Los resultados de FTIR-ATR mostraron que el microplástico analizado en este producto está constituido posiblemente de polietileno, aunque en la etiqueta estipula polietileno y acrilatos.

Las características principales observadas en el espectro de IR fueron:

- Un alargamiento asimétrico resultado del enlace CH-CH₂ encontrado en 2916 cm^{-1} y 2851 cm^{-1} .
- Señal de tipo de vibración en 1466 cm^{-1} indica un enlace -CH₂-.
- Para hidrocarburos de cadenas largas lineales son importantes las bandas de deformación de balanceo que aparecen en intervalo de 720-710 cm^{-1} . Todas estas bandas son las correspondientes a un posible polietileno.

5.1.3 Producto Eternal Secret.

La Figura 5.3 muestra la fotografía de los microplásticos identificados en el producto Eternal Secret. Estos microplásticos son de forma esférica, aunque en la fotografía se observan de una forma aplastada que se atribuye a la acción de presión del vidrio, las partículas fueron de color amarillo. Estos microplásticos presentaron diámetros entre 0.5 a 1 mm aproximadamente.

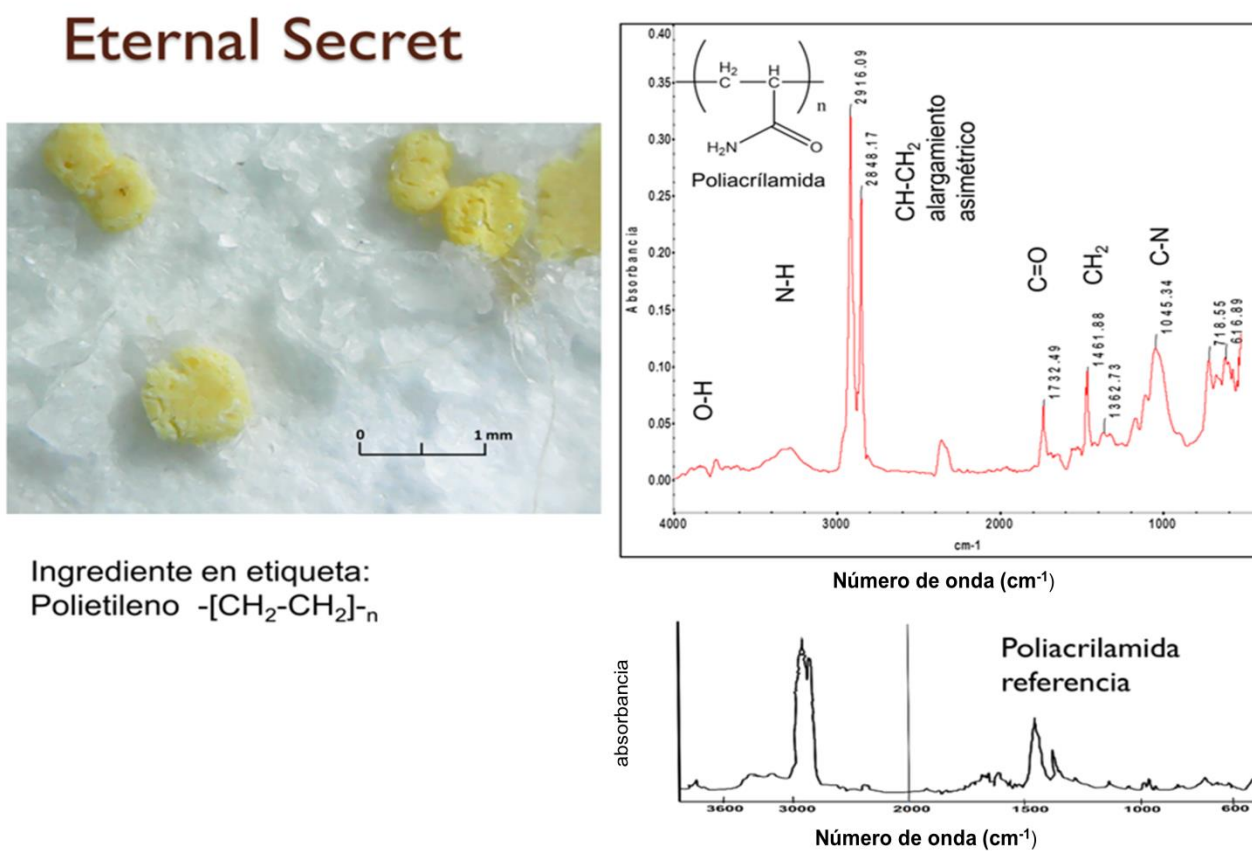


Figura 5.3 Microplásticos del producto Eternal Secret y su respectivo espectro IR. Gráfica de referencia de poliacrilamida modificada de García Quevedo y Ventura Villatoro, (2015).

Para el microplástico contenido en el producto comercial Eternal Secret, en la leyenda de su etiquetado dice que contiene polietileno. En la Tabla 5.3 se muestran las principales señales de IR para el producto Eternal Secret con sus respectivas referencias. El análisis del espectro de IR resulta en una posible poliacrilamida.

Tabla 5.3 Número de onda para los microplásticos en el producto comercial Eternal Secret y referencia.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) de referencia poliacrilamida	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico del producto
CH estiramiento	2965-2915	2916
CH estiramiento	2865-2840	2848
CH ₂ en el plano	1470-1465	1462
CH-deformación fuera del plano, banda balanceo	720-710	719
N-H estiramiento	3500-3000	3250
N-H flexión	1640-1550	1600
N-H flexión fuera del plano	600-700	617
C=O amida	1690-1630	1733
C-N	1200-1000	1045
CO ₂	2380	2350

Las características principales observadas en el espectro de IR fueron:

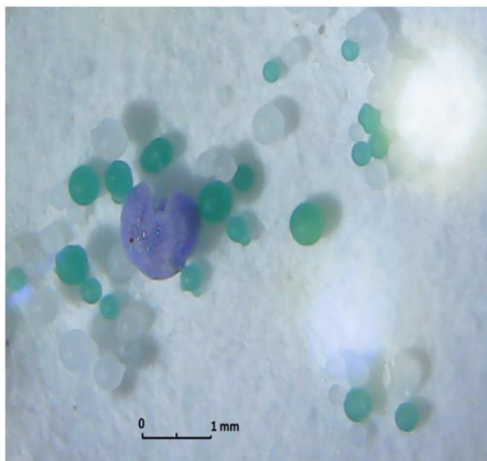
- El enlace CH-CH₂ encontrado en 2916 cm^{-1} y 2848 cm^{-1} resulta en un alargamiento asimétrico que indican enlaces C-H alcano alifático.
- La siguiente señal en 1462 cm^{-1} indica un tipo de vibración enlace -CH₂- en el plano.

- c) Las bandas de deformación de balanceo que aparecen en 719 cm^{-1} correspondientes para hidrocarburos de cadenas largas lineales.
- d) La señal del grupo carbonilo en 1733 cm^{-1} podría significar un grupo poliacrilamida cuya señal de referencia para el grupo carbonilo amida se encuentra en un intervalo de $1690\text{--}1630\text{ cm}^{-1}$.
- e) La señal para el enlace N-H con dos picos en la banda en 3250 cm^{-1} nos indica una amida primaria.
- f) La señal a 1600 cm^{-1} indica enlace N-H de flexión. Una banda entre 600 cm^{-1} y 700 cm^{-1} que corresponde a flexión amplia fuera del plano del enlace N-H, en este caso se encuentra a 617 cm^{-1} .
- g) Aparece un CO_2 en un intervalo de $2380\text{--}2400\text{ cm}^{-1}$, se observa la señal a 2350 cm^{-1} .

5.1.4 Producto Neutrogena.

La Figura 5.4 muestra la fotografía de los microplásticos identificados en el producto Neutrogena. Estos microplásticos fueron de forma esférica de diferentes colores: violeta, verde y blanca. Las partículas fueron de una forma esférica con tamaños de entre 0.5 a 1 mm de diámetro.

Neutrogena



Ingrediente estipulado en la etiqueta:
Polietileno $-\text{[CH}_2\text{-CH}_2\text{]}_n$

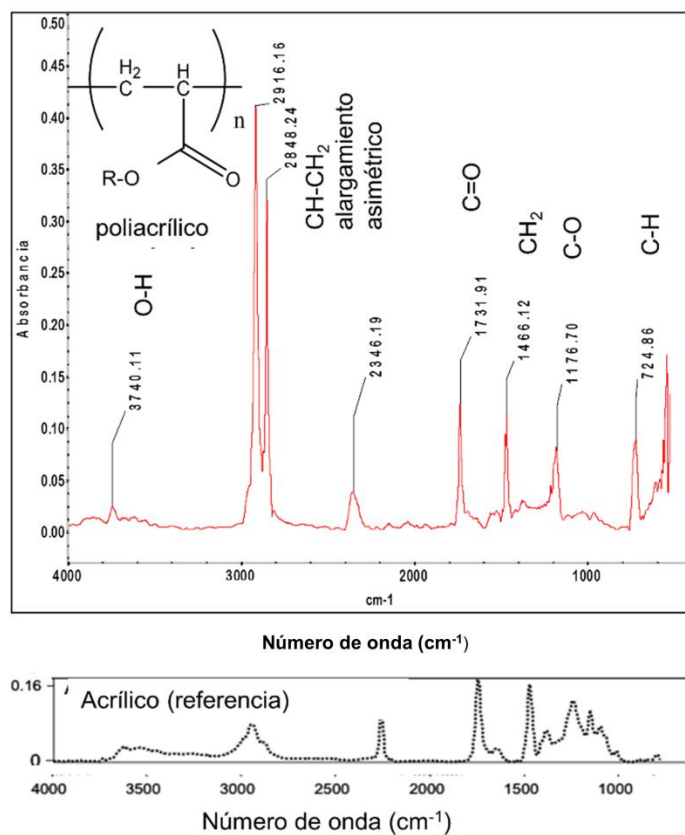


Figura 5.4 Microplásticos del producto Neutrogena y su respectivo espectro IR obtenido y el de referencia para poliacrílico (Browne et al. 2011).

En la Tabla 5.4 se muestran las principales señales de IR para el producto Neutrogena con sus respectivas referencias. El análisis del espectro de IR resulta en un posible poliacrílico.

Tabla 5.4 Número de onda para los microplásticos en el producto comercial Neutrogena y su referencia.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) referencia del poliacrílico	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico del producto
CH estiramiento	2965-2915	2916
CH estiramiento	2865-2840	2848
CH ₂ -en el plano	1470-1465	1466
CH- deformación fuera del plano.	720-710	725
C=O éster	1750-1730	1732
C-O	1300-1000	1177
CO ₂	2380	2346

Las características principales observadas en el espectro de IR fueron:

- Las bandas para el enlace C-H en 2916 cm^{-1} y 2848 cm^{-1} de alargamiento asimétrico.
- Señal para el CH₂ en el plano de 1466 cm^{-1} .
- El enlace C-H deformación fuera del plano, banda balanceo encontrado en la señal a 725 cm^{-1} todas estas señales aunadas que indican un alcano de cadena alifática larga.
- A su vez se suman las bandas para el acrílico de 1732 cm^{-1} para el grupo carbonilo indicándonos un posible éster.
- Para el enlace C-O una señal en 1177 cm^{-1} .
- La aparición de un CO₂ en 2346 cm^{-1} .

5.1.5 Producto Nivea Polietileno.

La Figura 5.4 muestra la fotografía de los microplásticos identificados en el producto Nivea Polietileno. Estos microplásticos fueron gránulos azules sin forma definida de tamaño menor a 0.5 mm.

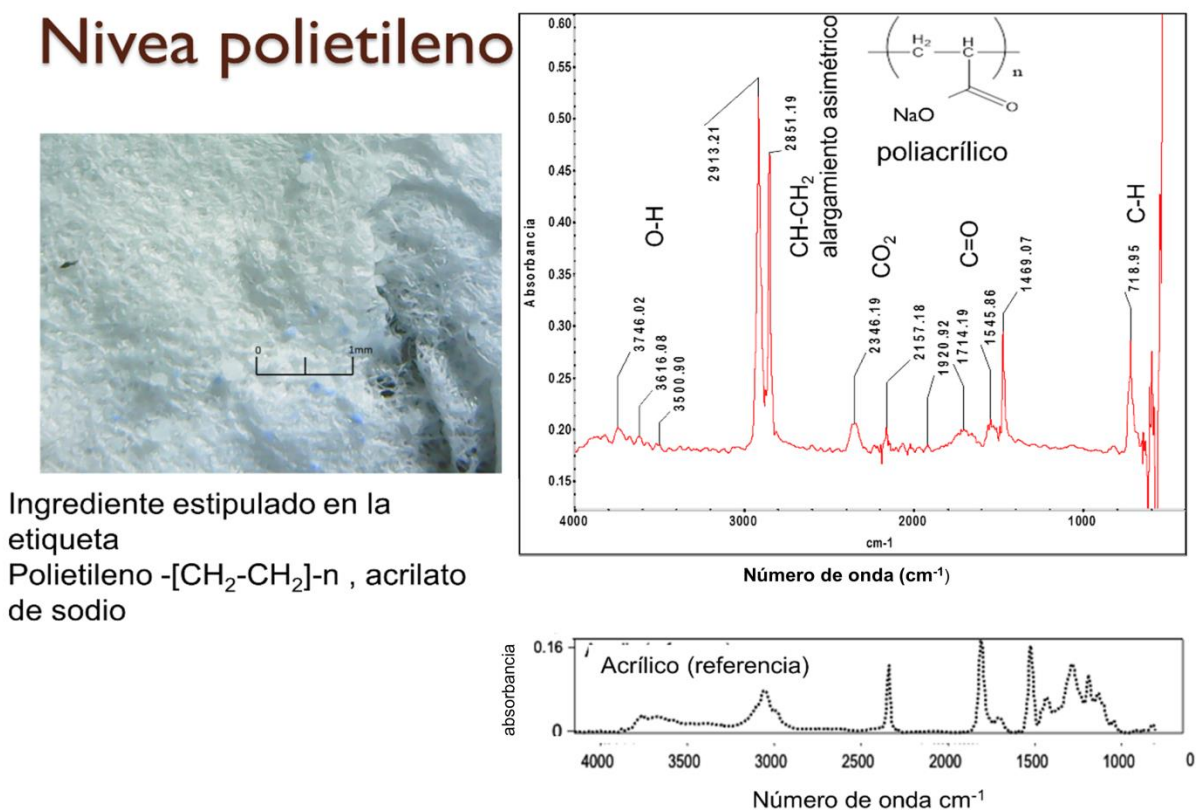


Figura 5.5 Microplásticos del producto Nivea polietileno y su respectivo espectro IR obtenido y el de referencia obtenido de Browne et al. (2011).

En la Tabla 5.5 se muestran las principales señales de IR para el producto Nivea Polietileno con sus respectivas referencias. La etiqueta de este producto estipula en su leyenda polietileno y acrilato de sodio. El análisis del espectro de IR obtenido resulta en un posible poliacrílico que puede ser acrilato de sodio para el microplástico analizado.

Tabla 5.5 Número de onda para los microplásticos en el producto comercial Nivea polietileno y la referencia poliacrilato de sodio.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) referencia del poliacrilato de sodio	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico del producto
CH estiramiento asimétrico	3200-2900	2913 y 2851
CH ₂ -en el plano	1470-1465	1469
CH-deformación fuera del plano, banda balanceo.	720-710	719
C=O en general éster	1750-1730 éster	1714
C=O poliacrilato de sodio	1730-1700	
COO-	1567-1575	1546
C-O	1300-1000	1100 señal débil.
CO ₂	2380	2346

El etiquetado del producto Nivea polietileno estipula un posible acrilato de sodio para los microplásticos. Los resultados de FT-IR nos indican un posible poliacrílico que puede ser acrilato de sodio.

Las características principales observadas en el espectro de FT-IR fueron:

- Las bandas para el enlace C-H en 2913 cm^{-1} y 2851 cm^{-1} de alargamiento asimétrico indicando un alcano alifático en la estructura.
- Señal en el plano de 1469 cm^{-1} para el enlace CH₂.
- El enlace C-H deformación fuera del plano, banda balanceo a una señal de 719 cm^{-1} indica cadenas de hidrocarburos largas.
- La banda de acrílico en 1714 cm^{-1} para el grupo carbonilo nos indica un éster en la estructura aunado a la señal de 1546 cm^{-1} que probablemente indica enlace C=O éster estiramiento asimétrico y simétrico respectivamente. Aunado al enlace de C-O con una

señal de 1100 cm^{-1} . Todo esto indica un posible poliacrílico que podría ser el poliacrilato de sodio.

e) Se observa una señal en 2346 cm^{-1} de un posible enlace CO_2 .

5.1.6 Nivea Azul.

La Figura 5.6 muestra la fotografía de los microplásticos identificados en el producto Nivea azul. Los microplásticos identificados fueron forma esférica de color azul de tamaño aproximado de 0.6 mm.

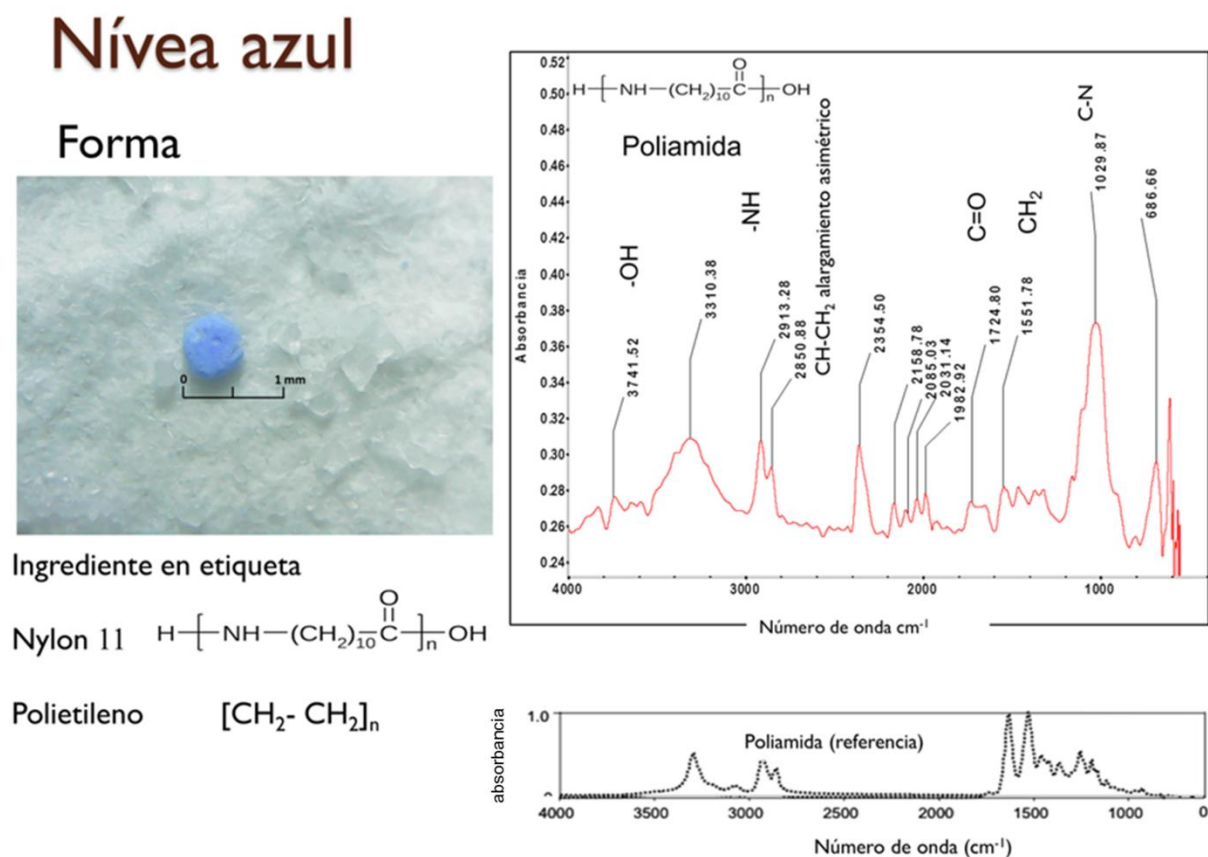


Figura 5.6 Microplásticos del producto Nivea Azul y su respectivo espectro IR obtenido y el de referencia obtenido de Browne et al. (2011).

En la Tabla 5.6 se muestran las principales señales de IR para el producto Nivea Azul con sus respectivas referencias. La etiqueta de este producto en su leyenda estipula ingredientes como el nylon 11 y polietileno, mismo que se identificó por el espectro de IR como una poliamida tipo nylon.

Tabla 5.6 Número de onda para los microplásticos en el producto comercial Nivea Azul y su referencia poliamida.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) referencia de poliamida	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico del producto
N-H estiramiento	3500-3000	3310
N-H flexión	1640-1550	1552
N-H flexión fuera del plano	600-700	687
C-H estiramiento	3000-2850	2913 y 2851
C=O alargamiento amida	1690-1630	1725
C-N	1300-1000	1030
CO ₂	2380	2355

La composición estipulada en el etiquetado fue nylon 11 y polietileno, mismo que se identificó por los espectros de FT-IR como una poliamida tipo nylon.

Las características principales observadas en el espectro de IR fueron:

- Alargamiento asimétrico en 2913 cm^{-1} y 2851 cm^{-1} para cadena de alcanos alifática.
- Para las bandas del nylon se selecciona el tipo de grupo carbonilo amida por el intervalo de referencia entre $1690\text{-}1630 \text{ cm}^{-1}$, en nuestro espectro se identifica la señal a 1725 cm^{-1} .
- Banda en 3310 cm^{-1} que corresponde al enlace N-H. La banda de un pico implica que se trata de una amida secundaria.

- d) Se observa una señal a 3742 cm^{-1} que indica un enlace O-H con probabilidad de que sea humedad en la muestra.
- e) Señal en 2355 cm^{-1} que indica CO_2 .

5.1.7 Producto Soft Soap

La Figura 5.7 muestra la fotografía de los microplásticos identificados en el producto Soft Soap. Los microplásticos identificados fueron gránulos de forma indefinidas de color café de tamaño aproximado de 0.5 mm.

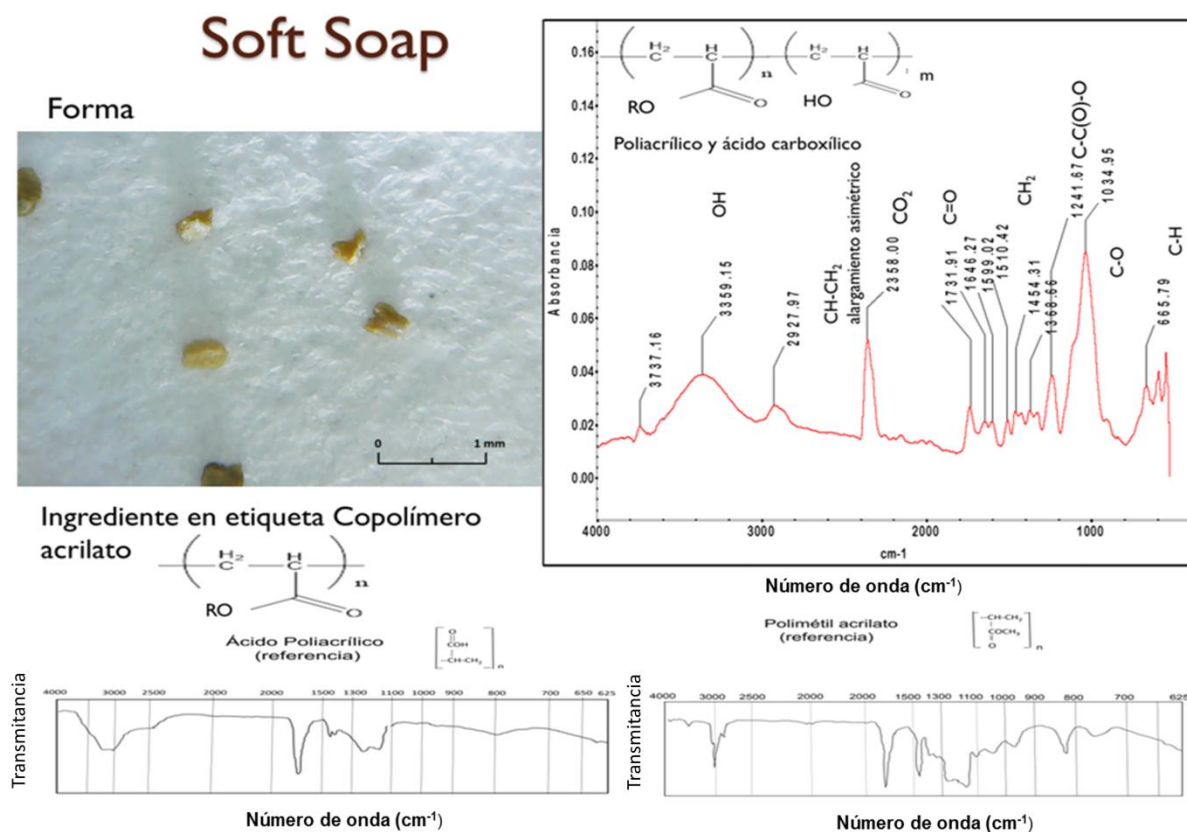


Figura 5.7 Microplásticos del producto Soft soap y su respectivo espectro IR obtenido y el de referencia para polimetilacrilato y poliácido acrílico (Pouchert, 1975).

En la Tabla 5.7 se muestran las principales señales de IR para el producto Soft Soap con sus respectivas referencias. La etiqueta de este producto en su leyenda estipula ingredientes como copolímero acrilato, mismo que se identificó por el espectro de IR. Las bandas encontradas indican que el microplástico podría ser un copolímero de éster y ácido carboxílico. Más específicamente copolímero de poli(metilacrilato-co-ácido acrílico).

Tabla 5.7 Número de onda para los microplásticos en el producto comercial Soft Soap y la referencia.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) de referencia de poliacrílico y poliácido carboxílico	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico del producto
OH ácido carboxílico	3400-2400	3359
C-H estiramiento	3000-2850	2928
CH ₃ flexión	1450-1375	1369
CH ₂ en el plano	1470-1465	1454
C-H deformación fuera del plano	1000-650	666
C=O éster en general	1750-1730	1732
C=O ácido carboxílico	1725-1700	
C=O poliacrilato de sodio	1730-1700	
[C-C(O)-O]	1250-1260	1242
C-O	1300-1000	1035
CO ₂	2380	2358

Las características principales observadas en el espectro de IR fueron:

- a) Alargamiento asimétrico en 2928 cm^{-1} para cadena alcano alifática de $\text{CH}-\text{CH}_2$.
- b) Un enlace de CH_3 flexión en una señal a 1369 cm^{-1} .
- b) Señal en 1732 cm^{-1} para el grupo carbonilo éster. (Las bandas que aparecen a la frecuencia entre $1727\text{-}1750\text{ cm}^{-1}$ y que corresponden al grupo carbonilo $\text{C}=\text{O}$ del éster de los copolímeros). Mas Gibert et al, (1971).
- c) Vibración de tensión asimétrica del grupo $\text{C}-\text{O}$ en 1242 cm^{-1} . Todo esto indicando un poliacrílico con cadena CH_2-CH más un grupo CH_3 en su estructura, resultando en polimetilacrilato por el grupo carbonilo.
- e) Banda a 3359 cm^{-1} correspondiente al enlace $\text{O}-\text{H}$, de un ácido carboxílico.

Para los copolímeros se van sumando las bandas encontradas como el etiquetado del producto Soft Soap es de copolímero acrilato se podría decir que si corresponde al analizado que es para el microplástico un posible copolímero de éster y ácido carboxílico. Más específicamente poli(metilacrilato-co-ácido acrílico).

5.1.8 Yves Rocher.

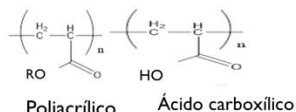
La Figura 5.8 muestra la fotografía de los microplásticos identificados en el producto Yves Rocher. Los microplásticos identificados fueron gránulos de forma indefinidas de color café de tamaño aproximado de 0.5 mm , sin embargo como se observa en la Figura 5.8, gránulos de mayor tamaño están presentes en el producto.

Yves Rocher

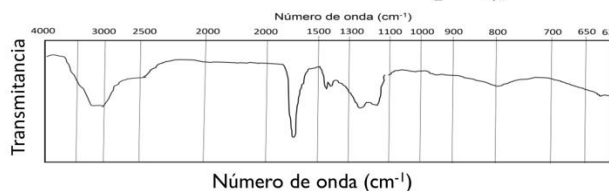
Forma



Ingrediente en etiqueta Copolímeros acrilatos



Ácido Poliacrílico (referencia)



Polimétil acrilato (referencia)

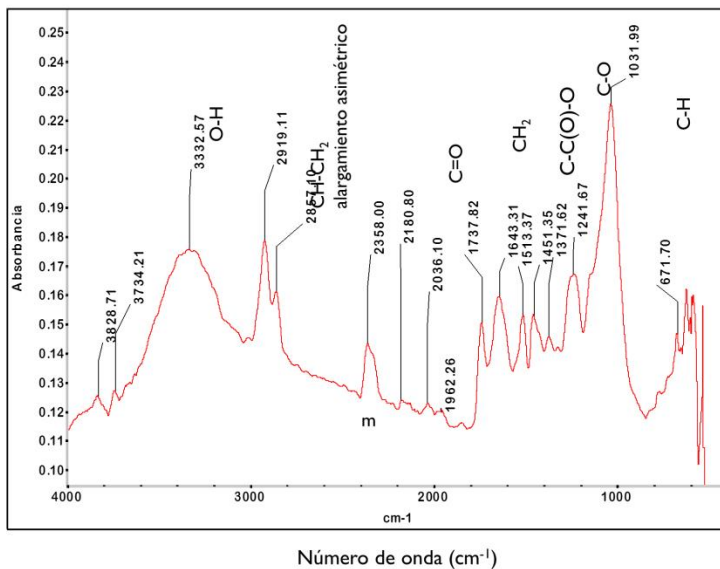
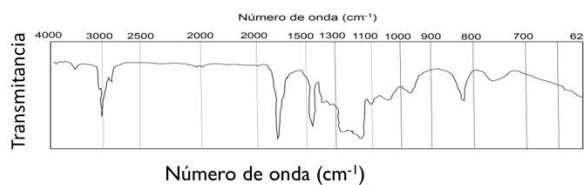


Figura 5.8 Microplásticos del producto Yves Rocher y su respectivo espectro IR obtenido y el de referencia para polimetilacrilato y ácido acrílico (Pouchert, 1975).

En la Tabla 5.8 se muestran las principales señales de IR para el producto Yves Rocher con sus respectivas referencias. La etiqueta de este producto en su leyenda estipula ingredientes como copolímero acrilato, mismo que se identificó por el espectro de IR. Las bandas encontradas indican que podría ser un copolímero de éster y ácido carboxílico.

Tabla 5.8 Número de onda para los microplásticos en el producto comercial Yves Rocher y la referencia.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) de referencia de poliacrílico y poliácido carboxílico	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico del producto
OH ácido carboxílico	3400-2400	3333
CH estiramiento	3000-2850	2919 y 2857
CH ₃ flexión	1450-1375	1372
CH ₂ en el plano	1470-1465	1451
C-H deformación fuera del plano	1000-650	672
C=O éster en general	1750-1730	1738
C=O ácido carboxílico	1725-1700	
C=O poliacrilato de sodio	1730-1700	
[C-C(O)-O]	1250-1260	1242
C-O	1300-1000	1032
CO ₂	2380	2358

Las características principales observadas en el espectro de IR fueron:

- Un alargamiento asimétrico en la señal de 2919 cm^{-1} y 2857 cm^{-1} indicando un alcano alifático con enlace CH-CH₂.
- Un enlace CH₂ en el plano a una señal de 1451 cm^{-1} .
- Para el enlace C-H fuera del plano de 672 cm^{-1} todas estas bandas correspondientes a hidrocarburos de cadena largas.
- Una señal a 1372 cm^{-1} indicando un enlace CH₃ flexión en la estructura.

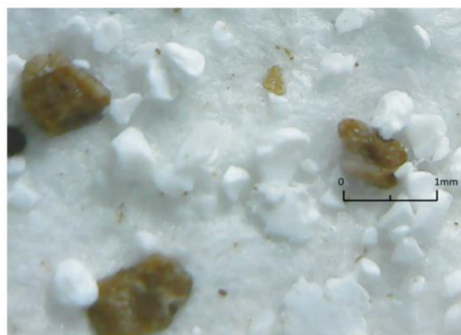
- e) Una señal en 1738 cm^{-1} para el grupo carbonilo éster (intervalo de referencia $1750\text{--}1730\text{ cm}^{-1}$), para un éster, aunado a lo encontrado anteriormente de cadena alifática y enlace CH-CH_2 , el CH_3 junto con el carbonilo se obtiene un polimetilacritato. (Por el enlace de C-H fuera del plano que indica cadenas largas de hidrocarburos). Las bandas que aparecen a la frecuencia entre $1727\text{--}1750\text{ cm}^{-1}$ y que corresponden al grupo carbonilo C=O del éster de los copolímeros. Mas Gibert et al, (1971).
- f) Vibración de tensión asimétrica en 1241 cm^{-1} correspondiente al enlace C-O .
- g) Banda a 3333 cm^{-1} correspondiente al enlace O-H , de un ácido carboxílico Para los copolímeros se van sumando las bandas encontradas como el etiquetado del producto Yves Rocher es de copolímero acrilato se podría decir que si corresponde al analizado que es para el microplástico un posible copolímero de éster y ácido carboxílico. Más específicamente poli(metilacrilato-co-ácido acrílico).
- h) Aparece un grupo CO_2 en 2358 cm^{-1} y posible humedad en la muestra a 3829 cm^{-1} .

5.1.9 Yves Rocher Bios.

La Figura 5.9 muestra la fotografía de los microplásticos identificados en el producto Yves Rocher bio. Los microplásticos identificados fueron gránulos de forma indefinidas de color café de tamaño aproximado de 0.7 mm . Los microplásticos son similares en cuanto a la forma Yves Rocher pero de mayor tamaño.

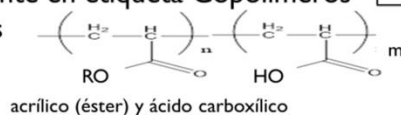
Yves Rocher bio

Forma



Ingrediente en etiqueta Copolímeros

acrilatos



Ácido Poliacrílico
(referencia)



Polimetil acrilato
(referencia)

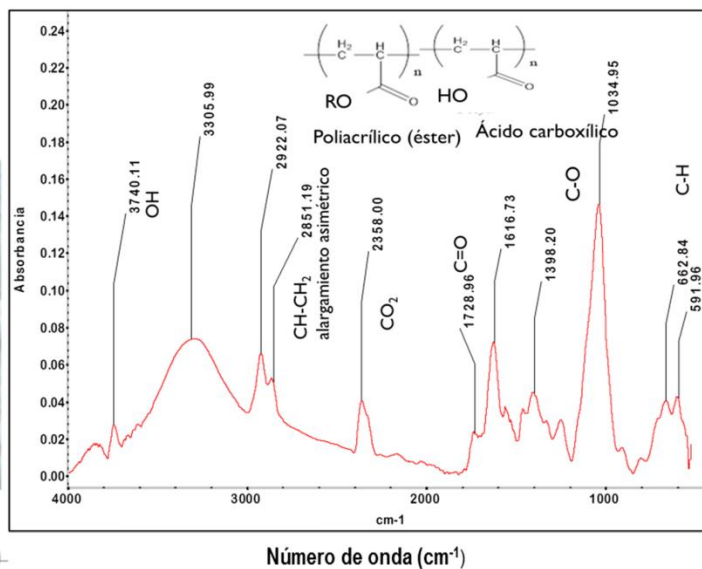
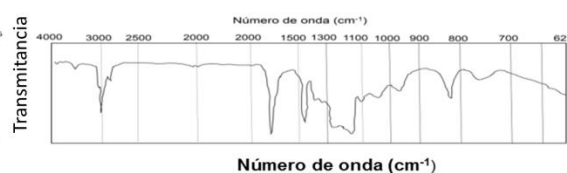


Figura 5.9 Microplásticos del producto Yves Rocher Bio y su respectivo espectro IR obtenido y el de referencia para polimetilacrilato y poliácido acrílico (Pouchert, 1975).

En la Tabla 5.9 se muestran las principales señales de IR para el producto Yves Rocher Bio con sus respectivas referencias. La etiqueta de este producto en su leyenda estipula ingredientes como copolímero acrilato, mismo que se identificó por el espectro de IR. Las bandas encontradas para el microplástico indican que podría ser un copolímero de éster y ácido carboxílico.

Tabla 5.9 Número de onda para los microplásticos en el producto comercial Yves Rocher Bio y la referencia.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) de referencia de poliacrílico y poliácido carboxílico	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico del producto
OH ácido carboxílico	3400-2400	3306
CH estiramiento	3000-2850	2922 y 2851
CH ₃ flexión	1450-1375	1398
CH ₂ en el plano	1470-1465	1450
C-H deformación fuera del plano	1000-650	663
C=O éster en general	1750-1730	
C=O ácido carboxílico	1725-1700	
C=O poliacrilato	1730-1700	1729
[C-C(O)-O]	1250-1260	1250
C-O	1300-1000	1035
CO ₂	2380	2358

Las características principales observadas en el espectro de IR fueron:

- Alargamiento asimétrico en 2922 cm^{-1} y 2851 cm^{-1} indicando un alcano alifático de CH-CH₂.
- Un enlace CH₂ en el plano a una señal de 1450 cm^{-1} .
- Para el enlace C-H fuera del plano una señal de 663 cm^{-1} todas estas bandas correspondientes a hidrocarburos de cadena largas.
- Una señal a 1398 cm^{-1} indicando un enlace CH₃ flexión en la estructura.

- e) Señal en 1729 cm^{-1} para el grupo carbonilo éster, aunado a lo encontrado anteriormente de cadena alifática CH-CH_2 y el CH_3 junto con el carbonilo se obtiene un polimetilacritato. (Por el enlace C-H fuera del plano que indica cadenas largas de hidrocarburos). Las bandas de referencia para el grupo carbonilo C=O del éster de los copolímeros es de $1727\text{-}1750\text{ cm}^{-1}$. Mas Gibert et al, (1971).
- f) Vibración de tensión asimétrica del grupo C-O en 1250 cm^{-1} .
- g) Banda en 3306 cm^{-1} correspondiente al enlace O-H de un ácido carboxílico. Para los copolímeros se van sumando las bandas encontradas, como el etiquetado del producto Yves Rocher es de copolímero acrilato se podría decir que si corresponde al analizado que es para el microplástico un posible copolímero de éster y ácido carboxílico. Más específicamente polimetil(acrilato-co-ácido acrílico).
- h) Aparece un grupo CO_2 , en 2358 cm^{-1} .

5.1.10 Resumen de resultados de los microplásticos en productos.

En la Tabla 5.10 se presenta el resumen de los resultados de identificación de los productos de limpieza personal analizados. Se observa que en la totalidad de los productos, los microplásticos están compuestos de polietileno, poliacrilamida, poliacrílico, poliamida tipo nylon, copolímero de éster y ácido carboxílico.

Tabla 5.10 Resumen de resultados del análisis de microplásticos en productos comerciales de limpieza.

Nombre de producto	Uso	Leyenda de ingrediente en etiquetado del producto	Resultado del espectro IR realizado al microplástico un posible
Crest	Pasta dental	Polietileno	polietileno
Dial	Exfoliante	Copolímero acrilato	polietileno
Eternal secret	Exfoliante	Polietileno	Poliacrilamida
Neutrogena	Exfoliante	Polietileno	poliacrílico
Nivea polietileno	Exfoliante	Polietileno y acrilato de sodio	Poliacrílico, acrilato de sodio
Nivea azul	Exfoliante	Polietileno y nylon 11	poliamida tipo nylon
Soap soap	Exfoliante	Copolímero acrilato	Copolímeros de éster y ácido carboxílico
Yves rocher	Exfoliante	Copolímero acrilato	Copolímeros de éster y ácido carboxílico
Yves rocher bio	Exfoliante	Copolímero acrilato	Copolímeros de éster y ácido carboxílico

5.2 MICROPLÁSTICOS EN PLAYAS DE LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA.

5.2.1 Estadísticas y distribución de probabilidad de microplásticos en playas.

Con el propósito de determinar si las concentraciones de microplásticos en las playas de la Península de Baja California se ajustaban a una distribución normal, se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov resultando que los datos no se ajustaban a una distribución normal. La Figura 5.10 muestra el gráfico de probabilidad de normalidad de Kolmogorov-Smirnov.

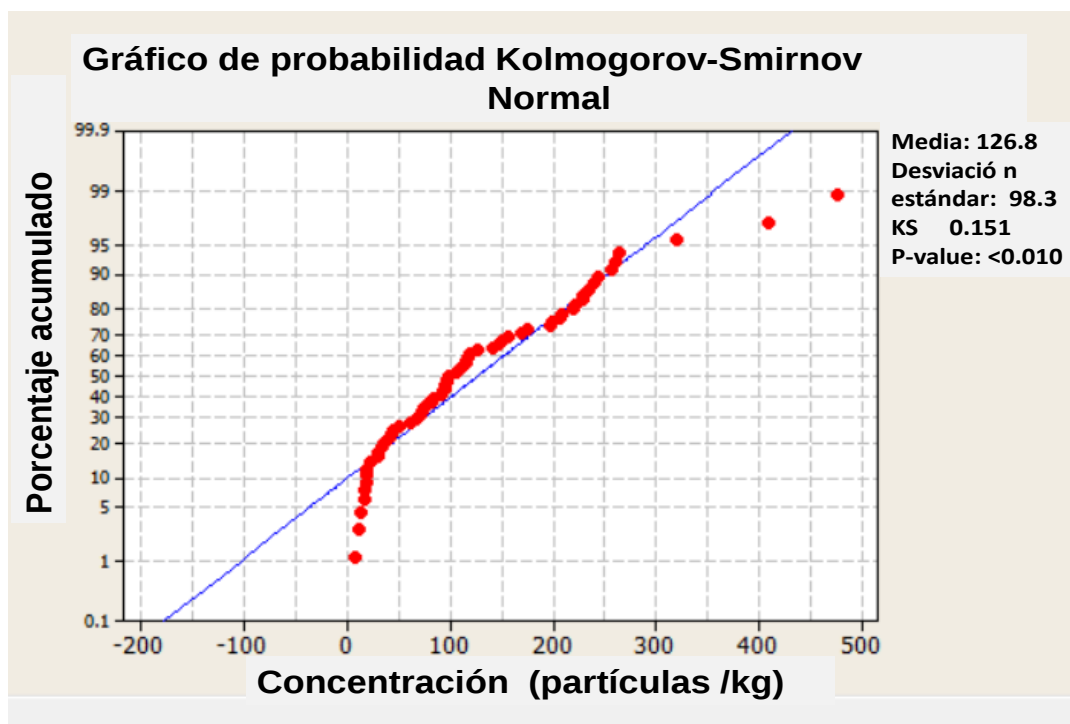


Figura 5.10 Gráfico de probabilidad de normalidad de Kolmogorov-Smirnov.

Con la prueba estadística de kolmogorov-Smirnov, como el valor de probabilidad (p-value) es <0.010 comparado con el valor de significancia de 0.05, como es menor el p-value al valor de la significancia se determina que la cantidad de los microplásticos en playas no se ajustan a una distribución normal, para un 95% de confianza.

5.2.2. Cuantificación de microplásticos.

La Tabla 5.11 muestra las concentraciones y porcentajes de microplásticos encontrados en los sitios muestreados por tipo de aspecto (fibras, gránulos, esferas y películas). Las muestras con la mayor concentración de microplásticos fueron en los sitios de Cabo San Lucas 1 (475 partículas/kg); Playas de Rosarito 1.3 (408 partículas/kg) y Tijuana protocolo (319 partículas/kg).

Tabla 5.11 Concentración y porcentajes de microplásticos por aspecto en los sitios muestreados.

Sitio (muestra)	Concentración (partículas/kg)					Porcentaje del total			
	Fibras	Gránulos	Esferas	Películas	total	Fibras	Gránulos	Esferas	Películas
Tijuana (protocolo)	289	4	24	2	319	90.6	1.3	7.5	0.6
Tijuana 2 (salvavidas)	104	0	1	13	118	88.1		0.8	11.0
Tijuana 3 (1.3)	166	0	2	7	175	94.9		1.1	4.0
Tijuana 1 (línea)	84	0	0	1	85	98.8		0.0	1.2
Playas de Rosarito 1	211	13	7	3	234	90.2	5.6	3.0	1.3
Playas de Rosarito 1.2	213	28	12	8	261	81.6	10.7	4.6	3.1
Playas de Rosarito 1.3	360	1	47	0	408	88.2	0.2	11.5	
Playas de Rosarito (Papas and beer)	207	0	0	2	209	99.0			1.0
Playas de Rosarito (muelle)	218	0	0	2	220	99.1			0.9
Playas de Rosarito (después del muelle)	205	0	0	1	206	99.5			0.5
La Misión 1	198	0	0	1	199	99.5			0.5
La Misión 2	145	0	0	2	147	98.6			1.4
La Misión 3	94	0	0	1	95	98.9			1.1
Ensenada 1	202	2	12	5	221	91.4	0.9	5.4	2.3
Ensenada 2	228	0	13	3	244	93.4		5.3	1.2
Ensenada 3	130	5	2	14	151	86.1	3.3	1.3	9.3
Punta Banda 1	334	20	5	21	380	87.9	5.3	1.3	5.5
Punta Banda 2	250	7	0	5	262	95.4	2.7		1.9
Punta Banda 3	246	2	3	1	252	97.6	0.8	1.2	0.4
Punta Banda 4	163	4	3	10	180	90.6	2.2	1.7	5.6
San Felipe 1	94	0	3	0	97	96.9		3.1	0.0
San Felipe 1.2	88	1	2	5	96	91.7	1.0	2.1	5.2
San Felipe 1.3	115	3	0	1	119	96.6	2.5	0.0	0.8
San Felipe 2	46	0	0	0	46	100.0	0.0	0.0	0.0
San Felipe 2.2	105	3	1	2	111	94.6	2.7	0.9	1.8
San Felipe 2.3	89	0	0	2	91	97.8	0.0	0.0	2.2
La Perla 1	228	11	34	7	280	81.4	3.9	12.1	2.5
La Perla 2	242	2	7	1	252	96.0	0.8	2.8	0.4
La Perla3	86	16	0	1	103	83.5	15.5		1.0
La perla 4	268	9	6	0	283	94.7	3.2	2.1	

Continuación de la Tabla 5.11

Sitio	Concentración (partículas/kg)					Porcentaje del total			
	Fibras	Gránulos	Esferas	Películas	total	Fibras	Gránulos	Esferas	Películas
Vicente Guerrero 1	69	0	0	3	72	95.8			4.2
Vicente Guerrero 2	36	0	0	0	36	100.0			
Vicente Guerrero 3	98	1	6	1	106	92.5	0.9	5.7	0.9
Santa María1	60	0	6	1	67	89.6		9.0	1.5
Santa María2	74	0	0	5	79	93.7			6.3
Santa María3	136	4	0	17	157	86.6	2.5		10.8
El Socorrito 1	116	0	0	0	116	100.0			
El Socorrito 2	160	1	0	8	169	94.7	0.6		4.7
El Socorrito 3	135	1	0	5	141	95.7	0.7		3.5
Sitio a 40 km de San Quintín 1	222	3	9	23	257	86.4	1.2	3.5	8.9
Sitio a 40 km de San Quintín 2	187	11	11	30	239	78.2	4.6	4.6	12.6
Playa La Gringa 1	30	3	8	0	41	73.2	7.3	19.5	
Playa La Gringa 2	36	3	1	4	44	81.8	6.8	2.3	9.1
Playa La Gringa 3	30	2	0	2	34	88.2	5.9		5.9
Bahía de los Ángeles 1	14	1	0	2	17	82.4	5.9		11.8
Bahía de los Ángeles 2	16	1	0	2	19	84.2	5.3		10.5
Bahía de los Ángeles 3	9	0	0	3	12	75.0			25.0
Guerrero negro 1	21	1	0	0	22	95.5	4.5		
Guerrero negro 2	47	3	2	21	73	64.4	4.1	2.7	28.8
Guerrero negro 3	12	4	1	0	17	70.6	23.5	5.9	
Ejido San Lucas 1	12	17	0	1	30	40.0	56.7		3.3
Ejido San Lucas 2	8	5	0	0	13	61.5	38.5		
Ejido San Lucas 3	5	3	0	0	8	62.5	37.5		
Loreto 1	15	3	0	1	19	78.9	15.8		5.3
Loreto 2	25	4	1	0	30	83.3	13.3	3.3	
Loreto 3	18	1	0	0	19	94.7	5.3		
Requesón 1 (palapa1)	66	4	2	10	82	80.5	4.9	2.4	12.2
Requesón 2 (palapa2)	64	0	3	7	74	86.5		4.1	9.5
Requesón 3	56	1	0	4	61	91.8	1.6		6.6
La Paz 1 (al lado del muelle)	94	1	0	4	99	94.9	1.0		4.0
La Paz 2 (Frente bar Trebo)	84	1	2	10	97	86.6	1.0	2.1	10.3
La Paz 3 (lado del muelle)	116	0	7	3	126	92.1		5.6	2.4
Balandra1	41	2	3	5	51	80.4	3.9	5.9	9.8
Balandra2	77	0	0	16	93	82.8			17.2
Balandra3	103	0	0	6	109	94.5			5.5
Todos los Santos 1	217	2	3	7	229	94.8	0.9	1.3	3.1
Todos los Santos 2	91	1	4	19	115	79.1	0.9	3.5	16.5
Todos los Santos 3	161	0	64	3	228	70.6		28.1	1.3
Cabo San Lucas1	452	6	1	16	475	95.2	1.3	0.2	3.4
Cabo San Lucas2	242	0	2	19	263	92.0		0.8	7.2
Cabo San Lucas3	188	0	2	8	198	94.9		1.0	4.0
Totales	8783	212	316	387	9698				
Porcentaje	90.6	2.2	3.3	4.0					

La forma de microplásticos más predominante fueron las fibras, con un intervalo de porcentaje entre 61.5 y 100% en los sitios muestreados, en total las fibras acumularon 90.6% del total de los microplásticos identificados. Estas formas están relacionadas a descargas de aguas residuales tratadas y no tratadas debido a que son productos del lavado de prendas de vestir. Browne et al. (2011) encontraron que un ciclo de lavado de ropa puede liberar más de 1900 fibras por litro. La mayoría de las prendas de vestir liberan más de 100 fibras por litro. Ellos demostraron que el uso de lavadoras puede indirectamente contribuir al número de fibras a los hábitats marinos.

La siguiente forma de microplásticos más frecuentemente detectadas en las muestras fueron las películas y las esferas con un 4 y 3.3% del total de los microplásticos (Tabla 5.11), respectivamente. Y por último las esferas con un 2.2%. Se puede observar que en playas preponderantemente urbanas la variedad de microplásticos fue mayor a las de playas no urbanas en cuanto a número de microplásticos por aspecto (fibras, gránulos, esferas y películas).

5.2.2.1 Cuantificación de fibras.

Debido a que la forma más predominante en los microplásticos encontrados en las playas de la península de Baja California fue la de las fibras se realizó un análisis de las cantidades por sitio y color de las fibras. La Tabla 5.12 muestra las cantidades y porcentajes de las fibras encontradas por color y sitio.

El color más abundante en las fibras fue el negro (59.6%), seguido de las fibras azules con un 25.6% y en menor proporción las fibras de color moradas (6.7%), las fibras rojas (6.6%) y por último las fibras verdes con un 1.7%. Los sitios con mayor concentración de fibras fueron Cabo San Lucas 1 con 452 fibras/ kg, seguido Playas de Rosarito 1.3 con 360 fibras/kg, Punta Banda 1

con 334 fibras/kg, en el sitio Tijuana (protocolo) con 289 fibras/kg, La Perla 4 con 268 fibras/kg y Ensenada con 228 fibras/kg. Esto refleja los sitios con mayor afluencia turística y crecimiento urbano. En cuanto a las fibras negras el sitio con mayor concentración fue Cabo San Lucas 1 con 302 fibras/kg, Punta Banda 280 fibras/kg, seguido del sitio La Perla 2 con 197 fibras/kg, Playas de Rosarito (Papas and Beer) con 165 fibras/kg y el sitio La Perla 1 con 153 fibras/kg.

Tabla 5.12 Concentración y porcentajes de fibras.

Sitios	Concentración de fibras (fibras/kg)						Porcentaje				
	A	M	N	R	V	Totales	A	M	N	R	V
Tijuana (protocolo)	154	129	5		1	289	53.3	44.6	1.7	0.0	0.3
Tijuana 2 (salvavidas)	38	7	53	5	1	104	36.5	6.7	51.0	4.8	1.0
Tijuana 3 (1.3)	49	1	95	18	3	166	29.5	0.6	57.2	10.8	1.8
Tijuana 1 (línea)	13		66	5		84	15.5	0.0	78.6	6.0	0.0
Playas de Rosarito 1	169	35	6		1	211	80.1	16.6	2.8	0.0	0.5
Playas de Rosarito 1.2	136	60	16	1		213	63.8	28.2	7.5	0.5	0.0
Playas de Rosarito 1.3	196	138	17	6	3	360	54.4	38.3	4.7	1.7	0.8
Playas de Rosarito (Papas and Beer)	27	7	165	4	4	207	13.0	3.4	79.7	1.9	1.9
Playas de Rosarito (muelle)	47	5	155	10	1	218	21.6	2.3	71.1	4.6	0.5
Playas de Rosarito (después del muelle)	48	3	140	10	4	205	23.4	1.5	68.3	4.9	2.0
La Misión 1	63	4	123	5	3	198	31.8	2.0	62.1	2.5	1.5
La Misión 2	13	4	124	2	2	145	9.0	2.8	85.5	1.4	1.4
La Misión 3	34		50	7	3	94	36.2	0.0	53.2	7.4	3.2
Ensenada 1	49	3	129	14	7	202	24.3	1.5	63.9	6.9	3.5
Ensenada 2	57	13	142	10	6	228	25.0	5.7	62.3	4.4	2.6
Ensenada 3	23	4	89	9	5	130	17.7	3.1	68.5	6.9	3.8
Punta Banda 1	29	4	280	18	3	334	8.7	1.2	83.8	5.4	0.9
Punta Banda 2	24	6	201	17	2	250	9.6	2.4	80.4	6.8	0.8
Punta Banda 3	11	1	226	8		246	4.5	0.4	91.9	3.3	0.0
Punta Banda 4	16	1	130	13	3	163	9.8	0.6	79.8	8.0	1.8
San Felipe 1	23	1	70			94	24.5	1.1	74.5	0.0	0.0
San Felipe 1.2	13		55	19	1	88	14.8	0.0	62.5	21.6	1.1
San Felipe 1.3	20	1	87	5	2	115	17.4	0.9	75.7	4.3	1.7
San Felipe 2	5	1	37	3		46	10.9	2.2	80.4	6.5	0.0
San Felipe 2.2	25		71	4	5	105	23.8	0.0	67.6	3.8	4.8
San Felipe 2.3	9	1	72	6	1	89	10.1	1.1	80.9	6.7	1.1
La Perla 1	25	16	153	24	10	228	11.0	7.0	67.1	10.5	4.4
La Perla 2	18	10	197	14	3	242	7.4	4.1	81.4	5.8	1.2
La Perla 3	10	2	53	20	1	86	11.6	2.3	61.6	23.3	1.2
La Perla 4	6	1	77	182	2	268	2.2	0.4	28.7	67.9	0.7
Vicente Guerrero 1	5	1	57	3	3	69	7.2	1.4	82.6	4.3	4.3
Vicente Guerrero 2	5	1	28	1	1	36	13.9	2.8	77.8	2.8	2.8
Vicente Guerrero 3	8	4	79	5	2	98	8.2	4.1	80.6	5.1	2.0
Santa María1	14	3	41	1	1	60	23.3	5.0	68.3	1.7	1.7
Santa María2	30	1	40	2	1	74	40.5	1.4	54.1	2.7	1.4
Santa María3	24	8	98	3	3	136	17.6	5.9	72.1	2.2	2.2
El Socorrito 1	26		77	12	1	116	22.4	0.0	66.4	10.3	0.9
El Socorrito 2	28	9	114	6	3	160	17.5	5.6	71.3	3.8	1.9
El Socorrito 3	25		108	2		135	18.5	0.0	80.0	1.5	0.0

A: azul; M: morado; N: negro; R: rojo; V: verde; T: totales

Continuación de Tabla 5.12

Sitios	A	M	N	R	V	Totales	A	M	N	R	V
Sitio a 40 km de San Quintín 1	68	2	147	4	1	222	30.6	0.9	66.2	1.8	0.5
Sitio a 40 km de San Quintín 2	46	10	124	3	4	187	24.6	5.3	66.3	1.6	2.1
Playa La Gringa 1	1		26	2	1	30	3.3	0.0	86.7	6.7	3.3
Playa La Gringa 2	2	1	26	6	1	36	5.6	2.8	72.2	16.7	2.8
Playa La Gringa 3	9	1	14	6		30	30.0	3.3	46.7	20.0	0.0
Bahía de los Ángeles 1			14			14	0.0	0.0	100	0.0	0.0
Bahía de los Ángeles 2	1		11	4		16	6.3	0.0	68.8	25.0	0.0
Bahía de los Ángeles 3			8		1	9	0.0	0.0	88.9	0.0	11.1
Guerrero negro 1	1		20			21	4.8	0.0	95.2	0.0	0.0
Guerrero negro 2	4	1	39	2	1	47	8.5	2.1	83.0	4.3	2.1
Guerrero negro 3	1	1	9	1		12	8.3	8.3	75.0	8.3	0.0
Ejido San Lucas 1	2		9		1	12	16.7	0.0	75.0	0.0	8.3
Ejido San Lucas 2	1		5	1	1	8	12.5	0.0	62.5	12.5	12.5
Ejido San Lucas 3			4	1		5	0.0	0.0	80.0	20.0	0.0
Loreto 1			14	1		15	0.0	0.0	93.3	6.7	0.0
Loreto 2	2		22	1		25	8.0	0.0	88.0	4.0	0.0
Loreto 3	5		12	1		18	27.8	0.0	66.7	5.6	0.0
Requesón 1 (palapa1)	5	3	53	1	4	66	7.6	4.5	80.3	1.5	6.1
Requesón 2 (palapa2)	10	3	47	3	1	64	15.6	4.7	73.4	4.7	1.6
Requesón 3	8	2	40	3	3	56	14.3	3.6	71.4	5.4	5.4
La Paz 1 (al lado del muelle)	17		69	5	3	94	18.1	0.0	73.4	5.3	3.2
La Paz 2 (Frente bar Trebo)	35	8	38	3		84	41.7	9.5	45.2	3.6	0.0
La Paz 3 (lado del muelle)	39	6	67	3	1	116	33.6	5.2	57.8	2.6	0.9
Balandra1	9	2	29	1		41	22.0	4.9	70.7	2.4	0.0
Balandra2	24	2	42	4	5	77	31.2	2.6	54.5	5.2	6.5
Balandra3	31	3	52	14	3	103	30.1	2.9	50.5	13.6	2.9
Todos los Santos 1	118	28	65	6		217	54.4	12.9	30.0	2.8	0.0
Todos los Santos 2	46	8	27	8	2	91	50.5	8.8	29.7	8.8	2.2
Todos los Santos 3	35	9	116	1		161	21.7	5.6	72.0	0.6	0.0
Cabo San Lucas1	108	3	302	27	12	452	23.9	0.7	66.8	6.0	2.7
Cabo San Lucas2	62	5	157	11	7	242	25.6	2.1	64.9	4.5	2.9
Cabo San Lucas3	43	8	114	10	13	188	22.9	4.3	60.6	5.3	6.9
Totales	2219	587	5215	581	151	8753					
Porcentajes	25.4	6.7	59.6	6.6	1.7						

Cabe mencionar que todos los sitios cercanos al muelle de Rosarito se encontraron altas concentraciones de fibras de color negro (140 a 155 fibras/kg), a diferencia de los sitios lejanos al muelle (Playas de Rosarito 1; Playas de Rosarito 1.2 y Playas de Rosarito 1.3) en los cuales el intervalo de concentraciones fue entre 6 y 17 fibras/kg. Esto podría estar relacionado a una mayor actividad de pesca recreativa desarrollada en el muelle. Otro sitio con altas concentración

de fibras de color negro, el denominado Punta Banda donde las concentraciones fueron entre 130 a 280 fibras/kg. Estos sitios en adición con el sitio de Cabo San Lucas fueron de los lugares con mayor número de fibras por kilogramo, que refleja la actividad turística de estos lugares.

5.2.2.2 Cuantificación de películas

La forma más abundante después de las fibras fueron las películas con un total de 387 partículas lo que equivale a un 4.0% del total (Tabla 5.13). Se observa una mayor variedad de colores debido posiblemente a la gran variedad de empaques usados para una gran variedad de usos.

Tabla 5.13 Cantidad y porcentaje de películas.

	Películas									
	V	Ro	A	C	Am	R	T	M	N	Total
Número	11	64	139	2	17	18	101	4	31	387
%total	2.8	16.5	35.9	0.5	4.4	4.7	26.1	1.0	8.0	

V: verde, Ro: rosa, A: azul, C: multicolor, Am: amarilla, R: rojas, T: transparentes, M: moradas, N: negras.

En la Tabla 5.13 se observa que las películas de color azul fueron las más abundantes con un total de 139 películas lo que equivale a aproximadamente a un 35.9% de todas las películas identificadas. Después de las películas de color azul, las más abundantes fueron las transparentes con 101 películas, equivalentes a un 26% del total de películas transparentes. Seguidas de las partículas de color rosa con 64 películas/kg, equivalentes a un 16.5% del total. Los sitios con concentración más alta fueron el sitio localizado a 40 kilómetros al sur de San Quintín 2 con 30 películas/kg, seguido del sitio Punta Banda 1 con 21 películas/kg. Los sitios Todos los Santos 2 y

Santa María 3 (San Quintín) con 19 y 17 películas, fueron también en donde se identificó concentraciones de películas transparentes.

5.2.2.3 Cuantificación de esferas.

Las esferas presentes en las muestras fueron de color amarillo, blanco y transparente. El total de esferas fue de 322 lo que equivale al 3.3% del total de las partículas encontradas (Tabla 5.14) El color más abundante en las esferas fue el blanco con un total de 210, seguido del amarillo con 53 y 59 esferas transparentes; El orden los porcentajes del color de las esferas fueron 65.2% blancas, 18.3% transparentes y 16.5% amarillas.

Tabla 5.14 Número y porcentaje de esferas identificadas en las muestras.

ESFERAS				
	T	B	Am	Total
Número	59	210	53	322
%total	18.3	65.2	16.5	

T: transparentes, B: blancas, Am: amarillas.

Los sitios con mayor número de esferas identificados fueron los sitios de Todos los Santos 3 con 64 esferas/kg, Playas de Rosarito 1.3 con 47 esferas/kg, La Perla 1 con 34 esferas/kg, Tijuana (protocolo) con 24 esferas/kg y en menor número, pero también importante Ensenada 2 con 13 esferas/kg.

5.2.2.4 Cuantificación de gránulos.

Las partículas denominadas gránulos fueron definidas como aquellas formas irregulares con volumen. El total de gránulos encontrada fue de 212 partículas lo que equivale al 2.2% del total de las partículas encontradas (Tabla 5.15). Los gránulos más abundantes fueron los blancos con un total de 111 gránulos, lo que equivale a 50.2% del total de los gránulos identificados en las muestras.

Tabla 5.15 Número y porcentaje de gránulos identificados en las muestras.

	GRÁNULOS							
	V	Am	Ro	R	A	N	B	Total
Número	30	5	17	29	23	6	111	221
%total	13.6	2.3	7.7	13.1	10.4	2.1	50.2	

V: verde, Am: amarilla, Ro: rosa, R: rojas A: azul, N: negras, B: blanco.

Los sitios con mayor número de gránulos identificados fueron los sitios de Playas de Rosarito 1.2 y Punta Banda 1 con 28 y 20 gránulos, respectivamente. Seguido del sitio denominado Ejido San Lucas 1 con 17 y el sitio denominado La Perla 3 con 16 gránulos.

5.2.3 Análisis comparativo de playas de acuerdo a su naturaleza y localización.

Con el propósito de llevar a cabo un análisis de las playas de acuerdo a su naturaleza (urbana o no urbana) se separó los sitios muestreado de acuerdo al parámetro de población que estipula el INEGI. Este criterio considera poblaciones menores a 2500 habitantes como rurales y mayores a

2500 habitantes como urbanas (Tabla 5.16). De la misma manera se separaron aquellos sitios localizados en el Océano Pacífico y en el Golfo de California (Tabla 5.17).

Como se había mencionado en la sección 5.2.1, los datos de las concentraciones de microplásticos en playas no se ajustan a una distribución normal por lo que se utilizó pruebas no paramétricas para la comparación de las medianas de playas urbanas y no urbanas, así como de las playas localizadas en el Océano Pacífico y Golfo de California.

Para la comparación entre la cantidad de los microplásticos entre playas localizadas en centros urbanos y no urbanos se utilizó la prueba de U Mann Whitney. Esta prueba es utilizada para la comparación de las medianas de dos grupos de datos independientes que no se ajustan a una distribución normal. El resultado indica que a un 95% de confianza, que las medianas son diferentes, indicando que la mediana del número de los microplásticos en playas urbanas y no urbanas son diferentes. Lo que indica que la mediana en playas urbanas (126 partículas) es mayor a la mediana de playas no urbanas (88 partículas). Indicando que las concentraciones en playas urbanas es un 43% mayor que en playas no urbanas.

Para la comparación en la cantidad de microplásticos de playas del océano pacífico y el golfo de California. Se utilizó de la misma manera la prueba de U Mann Whitney para comparar las medianas de la cantidad de los microplásticos obtenidos en playas localizadas en el Océano Pacífico contra aquellas cuantificadas en las playas del Golfo de California. La mediana del número de los microplásticos encontrados en las playas ubicadas en el Océano Pacífico fue de 175 partículas/kg, que es un 98% mayor a la cantidad de microplásticos encontrados en playas del Golfo de California que fue de 87 partículas/kg.

Tabla 5.16. Cantidad de microplásticos en playas urbanas y no urbanas.

Playas Urbanas		Playas no urbanas	
Tijuana (protocolo)	319	Requesón 1 (palapa1) Mulegé	82
Tijuana 2 (salvavidas)	118	Requesón 2 (palapa2) Mulegé	74
Tijuana 3 (1.3)	175	Requesón 3 Mulegé	61
Tijuana 1 (línea)	85	El Socorrito 1	116
Playas de Rosarito 1	234	El Socorrito 2	169
Playas de Rosarito 1.2	261	El Socorrito 3	141
Playas de Rosarito 1.3	408	Sitio aislado 1	257
Playas de Rosarito (Papas and Beer)	209	Sitio aislado 2	239
Playas de Rosarito (muelle)	220	La Misión 1	199
Playas de Rosarito (después del muelle)	206	La Misión 2	147
San Felipe 1	97	La Misión 3	95
San Felipe 1.2	96	Santa María1 (San Quintín)	67
San Felipe 1.3	119	Santa María2 (San Quintín)	79
San Felipe 2	46	Santa María3 (San Quintín)	157
San Felipe 2.2	111	Balandra1	51
San Felipe 2.3	91	Balandra2	93
La Paz 1 (al lado del muelle)	99	Balandra3	109
La Paz 2 (Frente bar Trebo)	97	La Gringa 1	41
La Paz 3 (lado del muelle)	126	La Gringa 2	44
Ensenada 1	221	La Gringa 3	34
Ensenada 2	244	Lucas 1	30
Ensenada 3	151	Lucas 2	13
Cabo San Lucas1	475	Lucas 3	8
Cabo San Lucas2	263	Bahía de los Ángeles 1	17
Cabo San Lucas3	198	Bahía de los Ángeles 2	19
Guerrero negro 1	22	Bahía de los Ángeles 3	12
Guerrero negro 2	73	La Perla 1	280
Guerrero negro 3	17	La Perla 2	252
Loreto 1	19	La Perla 3	103
Loreto 2	30	La Perla 4	283
Loreto 3	19		
Todos los Santos 1	229		
Todos los Santos 2	115		
Todos los Santos 3	228		
Vicente Guerrero 1	72		
Vicente Guerrero 2	36		
Vicente Guerrero 3	106		
Punta Banda 1	380		
Punta Banda 2	262		
Punta Banda 3	252		
Punta Banda 4	180		
Estadísticos		Estadísticos	
Mediana	126	Mediana	87.5
Media	164	Media	109.1
Media geométrica	122.2	Media geométrica	73.9
Desviación estándar	110.4	Desviación estándar	85.5

Tabla 5.17 Cantidad de microplásticos en playas localizadas en el Océano Pacífico y Golfo de California.

Océano Pacífico		Golfo de California	
Tijuana (protocolo)	319	San Felipe 1	97
Tijuana 2 (salvavidas)	118	San Felipe 1.2	96
Tijuana 3 (1.3)	175	San Felipe 1.3	119
Tijuana 1 (línea)	85	San Felipe 2	46
Playas de Rosarito 1	234	San Felipe 2.2	111
Playas de Rosarito 1.2	261	San Felipe 2.3	91
Playas de Rosarito 1.3	408	Requesón 1 (palapa1) Mulegé	82
Playas de Rosarito (Papas and beer)	209	Requesón 2 (palapa2) Mulegé	74
Playas de Rosarito (muelle)	220	Requesón 3 Mulegé	61
Playas de Rosarito (después del muelle)	206	La Paz 1 (al lado del muelle)	99
Todos los Santos 1	229	La Paz 2 (Frente bar Trebo)	97
Todos los Santos 2	115	La Paz 3 (lado del muelle)	126
Todos los Santos 3	228	Valandra1	51
Vicente Guerrero 1	72	Valandra2	93
Vicente Guerrero 2	36	valandra3	109
Vicente Guerrero 3	106	Cabo San Lucas1	475
El Socorrito 1	116	Cabo San Lucas2	263
El Socorrito 2	169	Cabo San Lucas3	198
El Socorrito 3	141	La Gringa 1	41
Sitio aislado 1	257	La Gringa 2	44
Sitio aislado 2	239	La Gringa 3	34
La Misión 1	199	Lucas 1	30
La Misión 2	147	Lucas 2	13
La Misión 3	95	Lucas 3	8
Ensenada 1	221	Bahía de los Ángeles 1	17
Ensenada 2	244	Bahía de los Ángeles 2	19
Ensenada 3	151	Bahía de los Ángeles 3	12
Santa María1 (San Quintín)	67	Loreto 1	19
Santa María2 (San Quintín)	79	Loreto 2	30
Santa María3 (San Quintín)	157	Loreto 3	19
Guerrero negro 1	22	La Perla 1	280
Guerrero negro 2	73	La Perla 2	252
Guerrero negro 3	17	La Perla 3	103
Punta Banda 1	380	La Perla 4	283
Punta Banda 2	262		
Punta Banda 3	252		
Punta Banda 4	180		
Estadísticos		Estadísticos	
Mediana	175	Mediana	86.5
Promedio	175.4	promedio	102.7
Media Geométrica	144.7	Media Geométrica	65.2
Desviación Estándar	93.0	Desviación Estándar	102.4

Esto probablemente se debe a la mucha menor cantidad de centros urbanos de gran población localizadas y menores actividades económicas realizadas en las costas del Golfo de Baja California de la península. Otra causa serían las corrientes marinas presentes en la costa del Océano Pacífico.

5.2.4 Comparación de concentración de microplásticos con otros estudios publicados.

La Tabla 5.18 muestra las concentraciones reportadas por estudios anteriores. La más alta concentración de microplásticos de la Tabla 5.18 fue en las costas del Océano Atlántico Noreste con 67000 partículas por kg. Los resultados encontrados en este estudio se encuentran en el intervalo del número de microplásticos reportados en otros estudios. Sin embargo, en el caso de algunas playas localizadas en el Golfo de California, fueron muy pequeñas (8 partículas por kilogramo).

Tabla 5.18 Cantidad de microplásticos en distintos estudios publicados.

PAÍS	UBICACIÓN	CONCENTRACIÓN	UNIDAD	REFERENCIA
Florida	Sedimentos submareales.	214	#partículas l ⁻¹	Graham y Thompson, 2009.
Atlántico Noreste	Océano abierto.	67000	#partículas kg ⁻¹	Colton et al, 1974.
Reino Unido	Lechos marinos submareales.	86	#partículas kg ⁻¹	Thompson et al, 2004.
Estados Unidos, Maine	Sedimentos submareales.	105	#partículas l ⁻¹	Graham y Thompson, 2009.
Costas del océano Pacífico	Playa.	105-214	#partículas l ⁻¹	Browne et al, 2011.
Bélgica	Playa de puerto.	92.1±166.7	#partículas kg ⁻¹	Claessens et al, 2011.
Sweden	Sedimentos de puerto.	50	#partículas l ⁻¹	Norén, 2008.
Sweden	Sedimentos de puerto industrial.	3320	#partículas l ⁻¹	Norén, 2008.
Bélgica	Playa sedimentos secos.	68-390	#partículas kg ⁻¹	Claessens et al, 2011.
Océano Pacífico	Sedimentos.	214	#partículas l ⁻¹	Browne et al, 2011.
México	Playas de Baja California y Baja California Sur	8-475	#partículas kg ⁻¹	Este estudio.

5.3 ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS DE PLAYAS.

Los microplásticos se observaron en el microscópio y se clasificaron en cuatro formas: Fibras (colores negro, azul, rojo, morado y verde); Películas (colores verde, rosa, azul, de colores, amarilla, roja, transparente, morada y roja); Gránulos (colores verde, amarillo, rosa, rojo, azul, negro y transparente) y esferas con los colores amarillo, blanco y transparente. De las 21 playas muestreadas con un total de 72 muestras se realizaron 24 espectros de infrarrojo a las partículas de microplásticos para los parámetros de forma (fibras, esferas, gránulos y películas) y sus distintos colores encontrados en la clasificación. La caracterización analítica de los microplásticos se llevó a cabo a partir de la asignación de las correspondientes bandas a determinados grupos químicos y la comparación de los espectros con espectros de referencia. (Browne et al, 2011; García Quevedo y Ventura Villatoro, 2015; Pouchert, 1975).

Cabe señalar que en este estudio aparece la banda de dióxido de carbono en la banda cercana de 2380 cm^{-1} para la mayoría de los espectros y posible presencia de humedad en el intervalo de $3750\text{-}3300\text{ cm}^{-1}$ en la muestra, O-H (San Andrés et al., 2010). . Para la identificación de los microplásticos se utilizó la técnica de Espectroscopia de Infrarrojo con Reflexión total Atenuada. Los microplásticos estudiados con base a los grupos funcionales o enlaces identificados en los espectros fueron los siguientes: Polietileno, poliacrílico, poliacrilamida, poliamida tipo nylon y tereftalato de polietileno. Las características de los microplásticos, así como el posible tipo de polímeros del cual son hechos estos microplásticos son mostrados en la Tabla 5.19.

Tabla 5.19 Características y composición química de los microplásticos.

Parámetro	Forma y color	Clase de posible polímero
Gránulo.	Gránulo blanco.	Poliacrílico
Fibras, esferas, gránulos y películas.	Fibras negra y morada. Película amarilla, azul, de colores, transparente, morada, negra y verde. Esfera amarilla, blanca, transparente. Gránulo amarillo, rojo, verde, rosa.	poliacrilamida.
Gránulo	Gránulo azul.	poliamida tipo nylon.
Película	Película rosa.	poliamida tipo nylon.
Fibras y gránulo.	Fibra roja, azul y verde. Gránulo negro.	Poliéster aromático, tereftalato de polietileno.

A continuación se presentan la descripción de los microplásticos más representativos encontrados en las playas.

5.3.1 Gránulo blanco del sitio playa a 40 km al sur de San Quintín.

La Figura 5.11 muestra el microplástico con forma de gránulo blanco encontrado en el sitio playa a 40 km al sur de San Quintín. Se aprecia un gránulo cilíndrico de un color blanco con tamaño aproximado de 3mm de longitud.

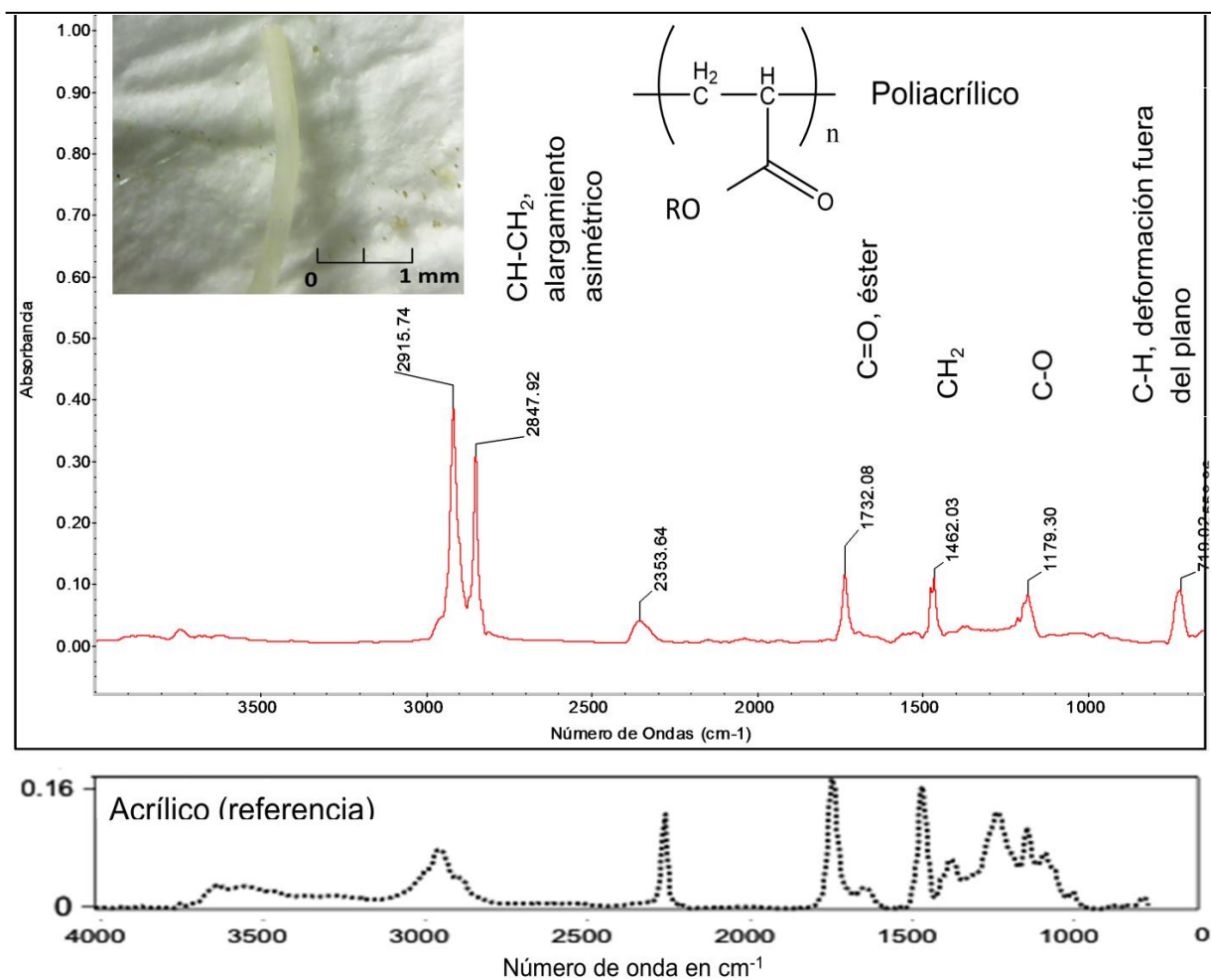


Figura 5.11 Microplástico gránulo blanco encontrado en el sitio playa a 40km al sur de San Quintín, espectro y espectro de referencia, posible poliacrílico (Browne et al 2011).

Las principales señales en el espectro IR para el gránulo blanco encontrado en el sitio playa a 40 km al sur de San Quintín se muestran en la Tabla 5.20.

Tabla 5.20 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y gránulo blanco encontrado en el sitio playa a 40 km al sur de San Quintín.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) referencia de poliacrílico	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico gránulo blanco
CH estiramiento	2965-2915	2915
CH estiramiento	2865-2840	2848
CH ₂ en el plano	1470-1465	1462
CH-deformación fuera del plano, banda balanceo	720-710	711
C=O éster	1750-1730	1732
C-O	1300-1000	1179
CO ₂	2380	2354

El microplástico con forma de gránulo y color blanco encontrado en la muestra del sitio playa al sur de 40 km de San Quintín, analizado con infrarrojo se identificó un posible poliacrílico, con las siguientes características:

- El enlace de estiramiento C-H en 2915 cm^{-1} y 2848 cm^{-1} lo que indica un alcano de cadenas alifáticas en la estructura.
- Un enlace de CH₂ flexión en la señal 1462 cm^{-1} , y para C-H deformación fuera del plano, 711 cm^{-1} .
- Además se encontró la presencia del grupo carbonilo C=O en 1732 cm^{-1} dentro del intervalo de presencia de éster aunado al enlace C-O en la señal 1179 cm^{-1} que indica un posible acrílico. Esto es el microplástico gránulo transparente opaco es un posible polímero poliacrílico.

5.3.2 Película negra encontrada en el sitio playa Balandra 3, posible poliacrilamida.

La Figura 5.12 muestra el microplástico con forma de película negra encontrado en el sitio playa Balandra 3, con tamaño aproximado de 1mm de longitud.

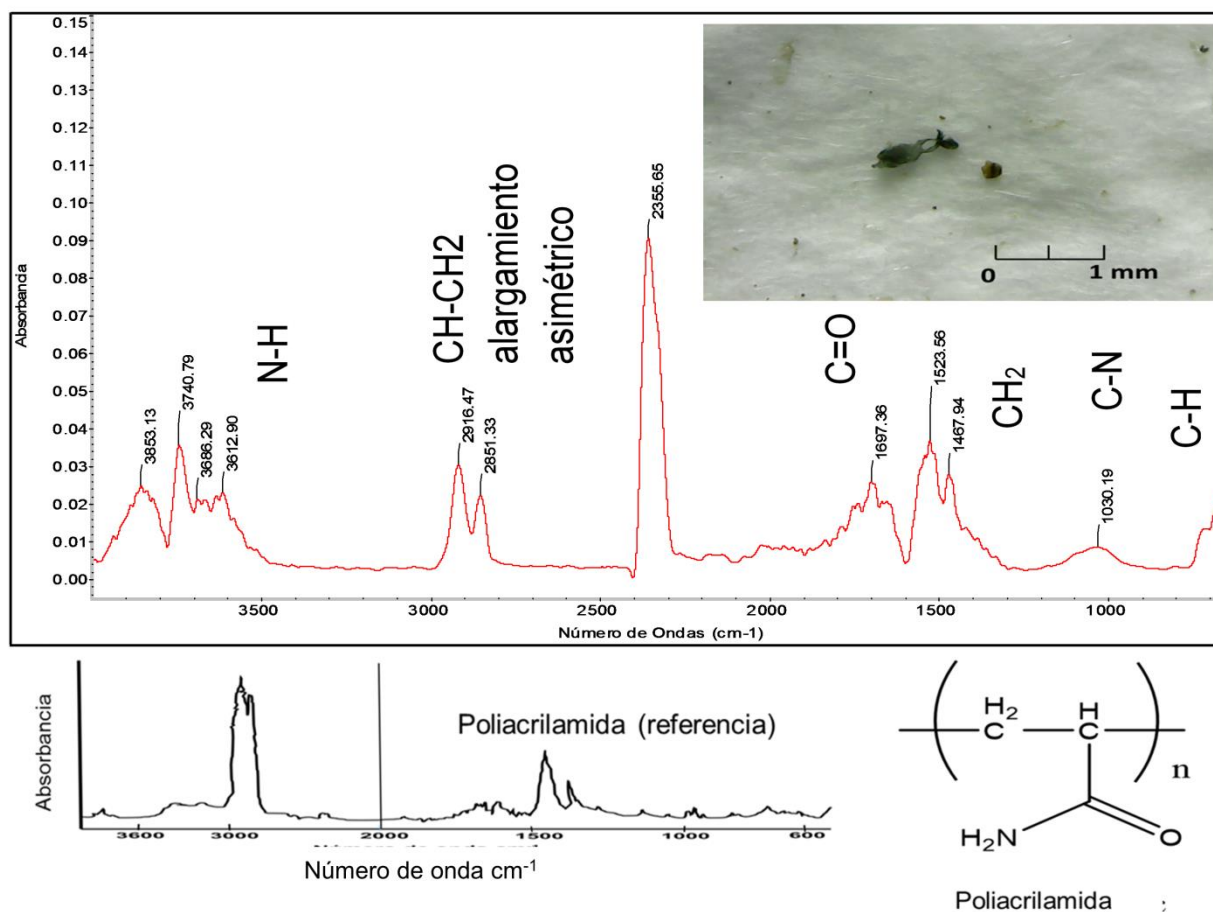


Figura 5.12 Microplástico película negra encontrada en el sitio playa Balandra 3, espectro y espectro de referencia, posible poliacrilamida (García Quevedo y Ventura Villatoro, 2015).

Las principales señales en el espectro IR para la película negra encontrado en el sitio playa Balandra 3 se muestran en la Tabla 5.21.

Tabla 5.21 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y película negra encontrada en el sitio playa Balandra 3.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) referencia de poliacrilamida	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico película negra
-O-H, humedad en la muestra	3750-3300	3853
N-H estiramiento	3500-3000	3613
N-H flexión	1640-1550	1524
N-H flexión fuera del plano	600-700	680
CH estiramiento	3000-2850	2916 y 2851
CH ₂ en el plano	1470-1465	1468
C=O alargamiento amida	1690-1630	1697
C-N alargamiento	1200-1000	1030
CO ₂	2380	2357

Análisis FT-IR realizado al microplástico con forma de película y de color negro encontrado en la muestra del sitio playa Balandra 3, se identificó como una posible poliacrilamida con las siguientes características:

- a) La banda a 3613 cm^{-1} perteneciente a la vibración N-H estiramiento, característico del alargamiento acoplado de las amidas primarias, con dos picos en la banda gráfica, con intervalo de referencia de $3500\text{-}3000 \text{ cm}^{-1}$; se encuentra un poco desplazada a la derecha en este caso de estudio. La señal a 1524 cm^{-1} se observa un enlace N-H flexión donde el intervalo de referencia es de $1640\text{-}1550 \text{ cm}^{-1}$. Aparece también una señal a 680 cm^{-1} que es la correspondiente a la señal del enlace N-H de flexión amplia fuera del plano con intervalo de $600\text{-}700 \text{ cm}^{-1}$ (Bucarito, 2014), aunada a una señal con intervalo de

referencia de $1200\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ perteneciente al enlace C-N que aparece en este caso en 1030 cm^{-1} con figura de banda ancha. Donde la clasificación para amida primaria de referencia en el espectro nos indica una señal a 1125 cm^{-1} banda ancha y dos señales a 750 cm^{-1} y 600 cm^{-1} para enlace N-H (Pavia et al. 2001).

- b) Las bandas que aparecen en un intervalo de $3000\text{-}2850\text{ cm}^{-1}$, son características de los modos vibracionales de los enlaces C-H cadenas de alcanos alifáticos. En este caso aparecen a 2916 cm^{-1} y 2851 cm^{-1} . Esta señal aparece débil en algunos espectros, esto quizás a la señal fuerte de CO_2 (bióxido de carbono) encontrada en el espectro.
- c) Las bandas que aparecen en 1697 cm^{-1} con intervalo de referencia de $1690\text{-}1630\text{ cm}^{-1}$, se atribuyen a vibraciones del grupo carbonilo C=O para amida.
- d) Una banda a 1468 cm^{-1} puede ser atribuida a CH_2 en el plano. Todas estas señales nos indican una posible poliacrilamida.

Los microplásticos con una similar composición y espectros se presentan en el Anexo 1.

5.3.3 Película rosa del sitio playa Cabo San Lucas 2, posible poliamida (tipo nylon).

La Figura 5.13 muestra el microplástico con forma de película y color rosa encontrado en el sitio playa de Cabo San Lucas 2 con tamaño aproximado de 0.2 mm de longitud.

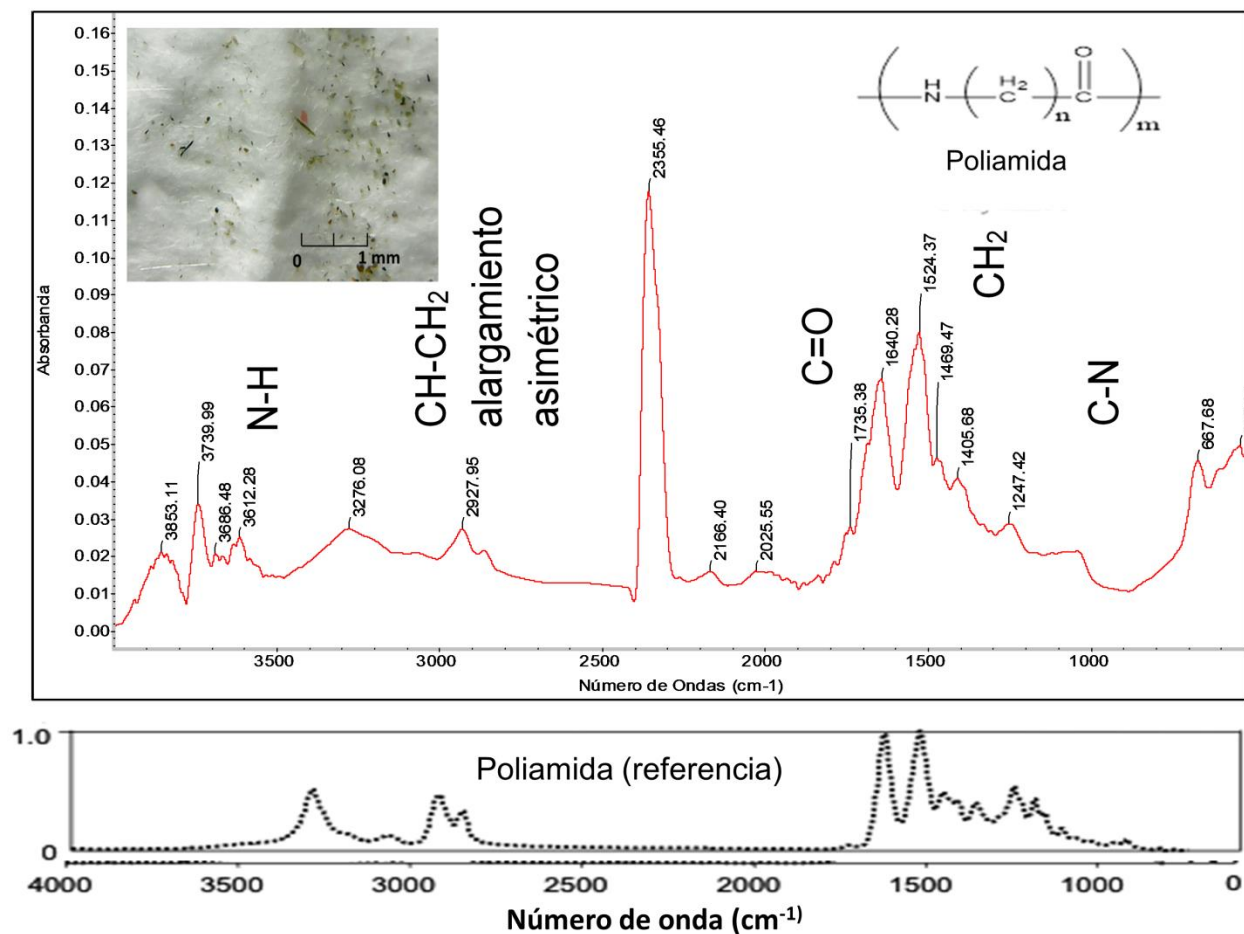


Figura 5.13 Microplástico película rosa encontrado en el sitio playa Cabo San Lucas 2, espectro y espectro de referencia, Posible poliamida tipo nylon (Browne et al 2011).

Las principales señales en el espectro IR para la forma de película y color rosa encontrado en el sitio playa Cabo San Lucas 2 se muestran en la Tabla 5.22.

Tabla 5.22 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico película rosa encontrado en la muestra del sitio playa Cabo San Lucas 2. Posible poliamida tipo nylon.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) de referencia de poliamida (tipo nylon).	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico película rosa
O-H, humedad en la muestra	3750-3300	3853
N-H estiramiento	3500-3000	3612
N-H flexión	1640-1550	1524
N-H flexión fuera del plano	600-700	668
CH estiramiento	3000-2850	2928 y 2860
CH ₂ en el plano	1470-1465	1469
C=O amida	1690-1630	1640
C-N alargamiento	1200-1000	1030
CO ₂	2380	2356

Análisis FT-IR realizado al microplástico con forma de película y de color rosa encontrado en la muestra del sitio playa Cabo San Lucas 2, se identificó como una posible poliamida (del tipo nylon), a continuación se indican las siguientes características:

- El enlace CH para las vibraciones simétrica y asimétrica presenta señales en un intervalo entre $3000\text{-}2850\text{ cm}^{-1}$, en este caso se presenta la señal en 2928 cm^{-1} y 2860 cm^{-1} , también hay absorción en el enlace CH₂ en el plano a una señal entre $1470\text{-}1465\text{ cm}^{-1}$ para este caso nos da en 1469 cm^{-1} . Todo esto correspondiente a las señales de enlaces C-H y probablemente el compuesto contiene cadenas alifáticas lineales de alcanos.
- Aparece un grupo carbonilo C=O en la señal 1640 cm^{-1} indicando una absorción probable de amida según el intervalo de referencia de $1690\text{-}1630\text{ cm}^{-1}$.

- c) Como el enlace para N-H aparece en un intervalo aproximado de 3500 a 3000 cm^{-1} en nuestro estudio nos dio en la señal 3612 cm^{-1} un poco desplazada a la derecha, en su banda sólo indica un pico se deduce amida secundaria. En su estructura cuenta con cadenas de C-H alifáticos se deduce poliamida de tipo nylon.

Los microplásticos con una similar composición y espectros se presentan en el Anexo 1.

5.3.4 Fibra azul del sitio playa Cabo San Lucas 2, posible Tereftalato de polietileno (PET).

La Figura 5.14 muestra el microplástico con forma de fibra y color azul encontrado en el sitio playa de Cabo San Lucas 2 con tamaño aproximado de 4 mm de longitud.

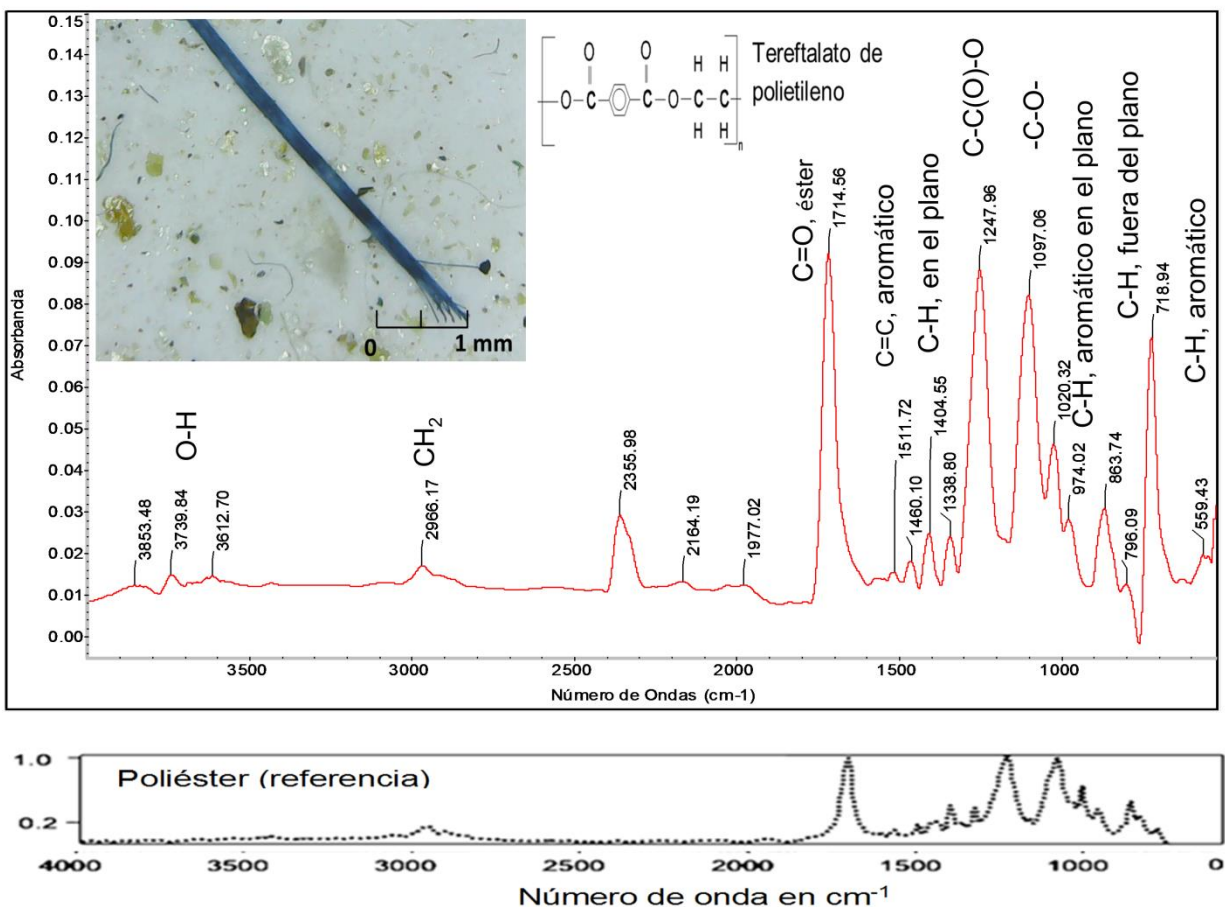


Figura 5.14. Microplástico fibra azul encontrado en el sitio o playa Cabo San Lucas 2, referencia de poliéster (Browne et al, 2011).

Las principales señales en el espectro IR para la forma de fibra y color azul encontrado en el sitio playa Cabo San Lucas 2 se muestran en la Tabla 5.23.

Tabla 5.23 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico fibra azul encontrado en la muestra del sitio playa Cabo San Lucas 2.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) de referencia de tereftalato de polietileno (PET)	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico fibra azul
-CH ₂ -asimétrico y simétrico	3000-2850	2966
=C-H aromáticos estiramiento	3150-3050	3100 señal débil
C=O éster	1750-1705	1715
C=C anillo aromático	1600 y 1475	1512 y 1460
C=C poliéster aromático	1615, 1580 y 1505	
C-H asimétrico en el plano, simétrico en el plano	1471, 1409 y 1340	1405 y 1339
C-C(O)-O	1260-1250	1248
-O-C-	1130-1120 1100-1090	1097
C-H anillo aromático en el plano	1016 y 970	974
C-H anillo aromático fuera del plano	900-690	864
C-H anillo aromático aleteo	720	719
CO ₂	2380	2356

Los análisis FT-IR realizado al microplástico con forma de fibra y de color azul encontrado en la muestra del sitio playa Cabo San Lucas 2, se identificó como un posible poliéster, tereftalato de polietileno, a continuación se indican las siguientes características:

Las bandas de vibración características del grupo éster [R(Ar)-COO-R] (Ar= arilo) son las siguientes:

- a) El enlace $\text{-CH}_2\text{-}$ simétrico asimétrico en la señal de 2966 cm^{-1} indica cadenas de C-H alcanos alifáticos en la estructura, con un intervalo de referencia de $3000\text{-}2850\text{ cm}^{-1}$ para las señales.
- b) La vibración de tensión del grupo carbonilo (C=O) éster se localiza a 1715 cm^{-1} con señal en un intervalo de referencia de $1750\text{-}1705\text{ cm}^{-1}$.
- c) La vibración de estiramiento asimétrica del grupo $[\text{C-C(O)-O}]$ con señal en 1248 cm^{-1} en la que están implicados el carbono de radical alquilo (R) o arilo (Ar) unido al carbono del grupo carbonilo (CO) y el oxígeno unido mediante enlace sencillo a éste mismo átomo de carbono con una señal de intervalo de $1260\text{-}1250\text{ cm}^{-1}$.
- d) Las bandas de vibración de estiramiento asimétrica de la unión -O-C- a una señal de 1097 cm^{-1} , con señales en el intervalo de $1130\text{-}1120\text{ cm}^{-1}$ y $1100\text{-}1090\text{ cm}^{-1}$.
- e) Cuando hay un anillo aromático el enlace =C-H estiramiento aparece a la izquierda de 3000 cm^{-1} en este caso es de 3100 cm^{-1} el intervalo de referencia encontrado indica señales entre $3150\text{-}3050\text{ cm}^{-1}$.
- f) Para poliéster aromático aparece el enlace C=C en señales como 1615 cm^{-1} , 1580 cm^{-1} y 1505 cm^{-1} en específico para el tereftalato de polietileno, pero en general aparecen en 1600 cm^{-1} y 1475 cm^{-1} para poliéster aromático en este caso la señal aparece a 1512 cm^{-1} y 1460 cm^{-1} .
- g) Para el enlace C-H asociado al anillo aromático desplazamiento en el plano las señales son de 1016 cm^{-1} y 970 cm^{-1} en este caso se observa la señal a 974 cm^{-1} , C-H anillo aromático fuera del plano 870 cm^{-1} en este caso la señal se encuentra en 864 cm^{-1} y por último para C-H anillo aromático aleteo es de 720 cm^{-1} de referencia en este caso es de 719 cm^{-1} . Para anillos para-disustituídos una banda fuerte aparece en la región de $800\text{-}850\text{ cm}^{-1}$, como es para este caso de estudio y se deduce para-disustituído el anillo

aromático, además de los picos entre las señales 2000-1600 cm^{-1} que confirma este hecho.

La composición química de tereftalato de polietileno se encontró de misma manera en microplásticos de fibra roja, fibra verde y gránulo negro los cuales se presentan en el Anexo 1.

6 CONCLUSIONES

En este estudio se analizó la presencia de los microplásticos en playas de la península de Baja California, así como en productos comerciales de limpieza personal (exfoliadores y pasta de dientes, principalmente). Las formas o aspectos de los microplásticos en las playas de la península de Baja California fueron clasificadas como fibras, esferas, gránulos y películas. Identificándose que éstos son principalmente compuestos por: polietileno, poliacrílico, poliacrilamida, poliamida tipo nylon y poliéster aromático (tereftalato de polietileno). Por otra parte, los microplásticos encontrados en los productos comerciales estuvieron compuestos por polietileno, poliacrilamida, poliacrílico, acrilato de sodio, poliamida tipo nylon y copolímero de éster y ácido carboxílico.

La forma o el aspecto más abundante encontrados en playas de la península de Baja California fueron las fibras con un 90.6% de los microplásticos cuantificados. Esto es debido posiblemente a la descarga de aguas residuales tratadas y no tratadas, así como a la actividad pesquera. Dentro de las fibras, las de color negro fueron las más abundantes con 59.6%, seguido de las fibras azules con un 25.6%, fibras de color moradas 6.7%, fibras rojas 6.6% y las fibras verdes con un 1.7%.

Se determinó que la concentración de microplásticos en playas del Océano Pacífico (mediana de 190 partículas/kg) fue 88% mayor que la encontrada en el Golfo de California (101 partículas/kg). Esto fue corroborado por la prueba de U Mann Whitney, que es utilizada para datos no paramétricos y nos indica si hay una diferencia estadísticamente significativa entre dos grupos de datos. La menor concentración de microplásticos encontrada en playas del Golfo de California es debido a la menor cantidad de centros urbanos de gran población

y menor actividad económica. Otra causa serían las corrientes marinas presentes en el Océano Pacífico.

De la misma manera, las concentraciones de microplásticos encontradas en playas urbanas (198 partículas/Kg) fue mayor a aquellas en playas no urbanas (115 partículas/Kg) indicando que las concentraciones en playas urbanas es un 72% mayor que en playas no urbanas. Las altas concentraciones de microplásticos en los sitios como Playas de Tijuana (319 partículas/kg), Playas de Rosarito (408 partículas/kg) son debido a su uso del suelo (actividad turística e industrial). Y a la actividad pesquera y turística en el caso de Cabo San Lucas (475 partículas/kg). Una mayor diversidad de formas o aspectos de microplásticos encontrados en estas playas, fue debido probablemente a las diversas actividades económicas llevadas a cabo en estos sitios. Los resultados han mostrado que las concentraciones más altas encontradas en este estudio son mayores que las de otros estudios publicados.

Por último, los resultados de este proyecto servirán como herramienta de toma de decisiones tendientes al control de estos contaminantes en México.

7. REFERENCIAS

- Alcántara H. (2016). Esperan hasta 10 mil visitantes por día en playas de Tijuana. La Jornada Baja California. 24 de Marzo del 2016. Disponible en <http://jornadabc.mx/tijuana/24-03-2016/esperan-hasta-10-mil-visitantes-por-dia-en-playas-de-tijuana> consultado Junio 7, 2016.
- Andrady A. L.(2000). Plastics and their impacts in the marine environment. Proc. International Marine Debris Conference on Derelict Fishing Gear and the Ocean Environment, August 6–11 Hawaii Convention Center Honolulu, Hawaii.
- Andrady A.L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 62: 1596–1605.
- Arthur C. A., Baker J., Bamford H. (eds.). (2009). Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris, September 9–11, 2008 Washington, NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30.
- Avery-Gomm S., O'Hara P.D., Kleine L., Bowes V., Wilson L.K., Barry K.L. (2012). Northern fulmars as biological monitors of trends of plastic pollution in the eastern North Pacific. *Marine Pollution Bulletin* 64 (6):1776–1781.
- Bakir A., Rowland S.J., Thompson R.C. (2012). Competitive sorption of persistent organic pollutants onto microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 64:2782–2789
- 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* 364:1985–1998.

- Bhattacharya P., Lin S., Turner J.P., Ke P. C. (2010). Physical adsorption of charged plastic nanoparticles affects algal photosynthesis. *The Journal of Physical Chemistry C*, 114: 16556-16561.
- Betts K. (2008). Why small plastic particles may pose a big problem in the oceans. *Environmental Science and Technology* 42 (24): 8995-8995.
- Boerger C.M., Lattin G.L., Moore S.L., Moore C.J. (2010). Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin* 60: 2275-2278.
- Browne M. A., Galloway T. S., Thompson R. C. (2010). Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environmental Science and Technology*, 44:3404–3409
- Browne M.A., Crump P., Nivens S.J., Teuten E., Tonkin A., Galloway T., Thompson R. (2011). Accumulation of microplastics on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science and Technology* 45(21): 9175-9179.
- Browne M.A., Galloway T.S., Thompson R.C. (2007). Microplastic—an emerging contaminant of potential concern?. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 3(4): 559–561.
- Browne M.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.
- Bucarito J., Fuentes M.V., Prin J.L., García A., Rojas L. A., Barrios E., Rojas B. G. (2014). Síntesis y uso de hidrogeles de poliacrilamida para la evaluación de metales biodisponibles en aguas intersticiales de los sedimentos del Golfo de Cariaco (Venezuela). *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 15(1):7-20.
- Carpenter E. J., Anderson S. J., Harvey G. R., Miklas H. P., Peck B. (1972). Polystyrene spherules in coastal water. *Science* 178: 491-497.

- Carson H.S., Colbert S.L., Kaylor M.J., Mcdermid K.J. (2011). Small plastic debris changes water movement and heat transfer through beach sediments. *Marine Pollution Bulletin* 62:1708–1713
- Claessens M., De Meester S., Van Landuyt L., De Clerck K., Janssen C.R. (2011). Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine Pollution Bulletin* 62 (10):2199-2204.
- Colton., J.B. (1974). Plastics in the ocean. *Oceanus* 18:61–64.
- Committee on the Effectiveness of International and National Measures to Prevent and Reduce Marine Debris and Its Impacts. National Research Council. (2008). *Tackling Marine Debris in the 21st century*. The National Academic Press.
- Corcoran P. L., Biesinger M. C., Grifi M. (2009). Plastics and beaches: A degrading relationship. *Marine Pollution Bulletin* 58:80-84.
- Dantas D.V., Barletta M., Da Costa M.F. (2012). The seasonal and spatial patterns of ingestion of polyfilament nylon fragments by estuarine drums (*Sciaenidae*). *Environmental Science and Pollution Research* 19:600-606.
- Davison P., Asch R. (2011). Plastic ingestion by mesopelagic fishes in the North Pacific Subtropical Gyre. *Marine Ecology Progress Series*; 432:173–180.
- Davidson T. M. (2012). Boring crustaceans damage polystyrene floats under docks polluting marine waters with microplastic. *Marine Pollution Bulletin*, 64:1821–1828.
- Derraik J.G.B. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin* 44:842–852.
- Doyle M.J., Watson W., Bowlin N.M., Sheavly S.B. (2011). Plastic particles in coastal pelagic ecosystems of the Northeast Pacific ocean. *Marine Environmental Research* 71: 41-52.

- Endo S., Takizawa R., Okuda K., Takada H., Chiba K., Kanehiro H., Ogi H., Yamashita R., Date T. (2005). Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: variability among individual particles and regional differences. *Marine Pollution Bulletin* 50:1103–1114.
- Fendall L.S., Sewell M.A. (2009). Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Marine Pollution Bulletin* 58:1225–1228.
- Fiedler H. (2007). Guidance for Analysis of Persistent Organic Pollutants (POPs); UNEP Chemicals Branch, DTIE, Geneva.
- Fossi M.C., Panti C., Gurranti C., Coppola D., Giannetti M., Marsili L., Minutoli R. (2012). Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (*Balaenoptera physalus*). *Marine Pollution Bulletin* 64 (11): 2374-2379.
- Fotopoulou K.N., Karapanagioti H.K. (2012). Surface properties of beached plastic pellets. *Marine Environmental Research* 81:70-77.
- Frias J.P.G.L., Sobral P., Ferreira A. (2010). Organic pollutants in microplastics from two Portuguese beaches. *Marine Pollution Bulletin* 60:1988–1992.
- García Quevedo D.M, Ventura Villatoro L.C. (2015). Aplicación del método de espectroscopia infrarroja para la identificación de acrilamida en papas tipo chips. Tesis de Licenciatura. Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador.
- Gasslander U., Arbin A., Albertsson A.(2007).Polymer-water partition coefficients of the extended range measured by using organic modifiers in the aqueous phase. *Polymer* 48: 75-23-7530.

GEF (2012). Secretariat of the Convention on Biological Diversity and Scientific and Technical Advisory Panel GEF, Impacts of Marine Debris on Biodiversity: Current Status and Potential Solutions, vol. 67 (2012) p. 9. Montreal.

Gobierno del estado de Baja California (2015). Evolución demográfica. Disponible en:

http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/municipios/ensenada/evolucion_dem_o.jsp. Consultado 12 de septiembre 2016.

Goldstein M.C., Rosenberg M., Cheng L. (2012). Increased oceanic microplastic debris enhances oviposition in an endemic pelagic insect. *Biology Letters* 8 (5): 817-820.

Gordon M. (2006). Eliminating Land-based Discharges of Marine Debris, In: California: A Plan of Action from The Plastic Debris Project, California State Water Resources Control Board, Sacramento, CA.

Gorycka, M. (2009). Environmental risks of microplastics. Vrije Universiteit. Disponible en línea. http://www.cleanup-sa.co.za/images/environmental_risks_microplastics.pdf

Graham E.R., Thompson J.T. (2009). Deposit and suspension-feeding sea cucumbers (Echinodermata) ingest plastic fragments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 368 (1):22–29.

Gray H., Lattin G.L., Moore C.J. (2012) Incidence, mass and variety of plastics ingested by Laysan (Phoebastria immutabilis) and black-footed albatrosses (P. nigripes) recovered as by-catch in the North Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 64:2190–2192

Greene C.H. (1985). Planktivore functional groups and patterns of prey selection in pelagic communities. *Journal of Plankton Research* 7 (1): 35-40.

- Gregory M.R. (1977). Plastic pellets on New Zealand beaches. *Marine Bulletin Pollution*. 8:82-84.
- Gregory M.R. (1978). Accumulation and distribution of virgin plastic granules on New Zealand Beaches. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 12:399-414.
- Gregory M. R. (1978). Accumulation and distribution of virgin plastic granules on beaches” *New Zealand journal of Marine and Freshwater Research* 12 (4): 399-414.
- Gregory, M.R. (1996). Plastic ‘scrubbers’ in hand cleansers: a further (and minor) source for marine pollution identified. *Marine Pollution Bulletin* 32:867–871
- Harper C. A. (2000). *Modern Plastic Handbook*. McGraw-Hill Handbooks.
- Hellenic Marine Environment Protection Association(2009). International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto (MARPOL)”. Retrieved 20.04.2009 from http://www.imo.org/TCD/contents.asp?doc_id=678&topic_id=258
- Hirai H., Takada H., Ogata H., Yamashita Y., Mizukawa R., Saha K., Kwan M., Moore C., Gray C.H., Laursen D., Zettler E.R., Farrington J.W., Reddy C.M., Peacock, E.E., Ward, M.W. (2011). Organic micropollutants in marine plastics debris from the open ocean and remote and urban beaches. *Marine Pollution Bulletin*, 62 (8): 1683–1692.
- Huang X., Teng X., Chen D., Tang F., He J.(2010).The effect of the shape of mesoporous silica nanoparticles on cellular uptake and cell function. *Biomaterials* 31 (3):438-448.
- Ilyina T.(2006).The fate of persistent organic pollutants in the North Sea, Multiple Year Modal Simulations of γ -HCH, α -HCH an PCB 153”; Hamburg Studies on Maritime Affairs, vol.7; Hamburg.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2010). Principales resultados por localidad 2010 (ITER). Disponible en:

http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est

consultado 13 de octubre 2016.

INEGI (2015). Población rural y urbana. Disponible en:

http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P Consultado el 13 de mayo

2016.

Ivar do Sul J.A., Costa M.F., Barletta M., Cysneiros F.J.A. (2013). Pelagic microplastics around an archipelago of the Equatorial Atlantic. *Marine Pollution Bulletin* 75:305-309.

Karapanagioti H.K., Klontza I. (2008). Testing phenanthrene distribution properties of virgin plastic pellets and plastic eroded pellets found on Lesbos island beaches (Greece). *Marine. Environmental Research* 65:283–290.

Khordagui H.K., Abu-Hilal A.H. (1994). Industrial plastic on the southern beaches of the Arabian Gulf and the western beaches of the Gulf of Oman. *Environmental Pollution* 84(3):325-327.

Klemchuck P. P. (1990). Degradable Plastics: A Critical Review. *Polymer Degradation and Stability* 27:183-202.

Laist D.W. (1997). Impacts of marine debris: entanglement of marine life in marine debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion records. En: J.M. Coe, D.B. Rogers (Eds.), *Marine Debris—sources, Impacts and Solutions*, Springer-Verlag New York Inc., New York (1997), pp. 99–139.

- Lattin G.L., Moore C.J., Zellers A.F., Moore S.L., Weisberg S.B. (2004). A comparison of neustonic plastic and zooplankton at different depths near the southern California shore. *Marine Pollution Bulletin* 49: 291-294.
- Mas Gibert C., Ros M. J., Izquierdo A. S. (1971). Identificación y diferenciación de fibras acrílicas por espectroscopía infrarroja. Disponible en Upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/5950/Article02.pdf
- Lobelle D., Cunliffe M. (2011). Early microbial biofilm formation on marine plastic debris. *Marine Pollution Bulletin* 62 (1):197-200.
- Mato Y., Isobe T., Takada H., Kanehiro H., Ohtake C., Kaminuma T. (2001). Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. *Environmental Science and Technology*, 35(2):318–324.
- Lusher A.L., McHugh M., Thompson R.C. (2012). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Pollution Bulletin* 67:(1-2):94-99.
- Mato Y., Isobe T., Takada H., Kanehiro H., Ohtake C., Kaminuma T. (2001). Plastics resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment, *Environmental Science and Technology* 35:318-324.
- McDermid K.J., McMullen T.L. (2004). Quantitative analysis of small-plastic debris on beaches in the 891 Hawaiian archipelago. *Marine Pollution Bulletin* 48:790-794.
- Moore C.J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research* 108:131–139.
- Moore M. R., Vetter W., Gaus C., Shaw G. R., Müller J. (2002). Trace organic compounds in marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 45:62 – 68.

- Moore C. J., Lattin G., Zellers A.(2005).A Brief analysis of organic pollutants sorbed to pre and post-production plastic particles from the Los Angeles and San Gabriel river Watersheds.presented at Plastic Debris, Rivers to Sea Conference September 7-9.
- Moore C.J., Moore S.L., Leecaster M.K., Weisberg S.B. (2001). A comparison of plastic and plankton in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin* 42 (12): 1297-1300.
- Moore M. R., Vetter W., Gaus C., Shaw G. R., Müller J. (2002).Trace organic compounds in marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 45:62 – 68.
- Morét-Ferguson S., Law K.L., Proskurowski G., Murphy E.K., Peacock E.E., Reddy C.M. (2010). The size, mass, and composition of plastic debris in the western North Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 60 (10):1873-1878.
- Murray F, Cowie P.R. (2011). Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758). *Marine Pollution Bulletin*, 62 (6):1207–1217.
- Muthukumar T., Aravinthan A., Lakshmi K., Venkatesan R., Vedaprakash L.,Doble M. (2011). Fouling and stability of polymers and composites in marineenvironment. *International Biodeterioration and Biodegradation* 65 (2):276-284.
- Nemmar A., Hoylaerts M. F., Hoet P. H. M., Vermeylen J., Nemery, B. (2003). Size effect of intratracheally instilled particles on pulmonary inflammation and vascular thrombosis, *Toxicology and Applied Pharmacology* 186: 38–45.
- Ng K.L., Obbard J.P. (2006). Prevalence of microplastics in Singapore’s coastal marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 52 (7):761-767.
- NOWAP (2007). Recycling Plastic Marine Litter”, Special Monitoring and Coastal Environmental Assesment regional Activity Centre of the Northwest Pacific Action Plan. Consultado el 15/09/2009 from <http://www.cearac-project.org/>, Japan.

- Norén F. (2008). Small plastic particles in coastal swedish waters. N-research report, commissioned by KIMO Sweden.
- Noren F., Naustvoll F. (2010). Survey of Microscopic Anthropogenic Particles in Skagerrak. Commissioned by KLIMA- OG FORURENSNINGSDIREKTORATET, Norway
- O’Brine, T., Thompson, R.C. (2010). Degradation of plastic carrier bags in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 60:2279–2283.
- Ogata Y., Takada H., Mizukawa K., Hirai H., Iwasa S., Endo S., Mato Y., Saha M., Okuda K., Nakashima A., Murakami M., Zurcher N., Booyatumanondo R., Zakaria M.P., Dung L., Gordon M., Miguez C., Suzuki S., Moore C., Karapanagioti, H.K. (2009). International pellet watch: global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs1. *Marine Pollution Bulletin* 58(10):1437–1446.
- Oehlmann J.R., Schulte-Oehlmann U., Kloas W., Jagnytsch O., Lutz I., Kusk K.O., Wollenberger L., Santos E.M, Paull G.C., Van Look K.J.W., Tyler C.R. (2009). A critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Science*, 364 (1526):2047–2062.
- Patel M.M., Goyal B.R., Bhadada S.V., Bhatt J.S., Amin A.F. (2009). Getting into the brain: approaches to enhance brain drug delivery. *CNS Drugs* 23:35–58.
- Pavia D.L., Lampman G.L., Kriz G.S. (2001). *Introduction to Spectroscopy*. Third edition. Brooks/Cole Thompson,
- Petratis, P. S. (1987). Immobilisation of the predatory gastropod, *Nucella lapillus*, by its prey, *Mytilus edulis*, *Biological Bulletin* 172 (3):307-314.
- Plastics Europe (2006). *Analysis of Plastics Production, Demand and Recovery in Europe*; Plastics Europe, Association of Plastic Manufacturers: Brussels, pp 1-20.

- Possatto F. E., Barletta M., Costa M. F., do Sul J. A. I., Dantas, D.V. (2011). Plastic debris ingestion by marine catfish: An unexpected fisheries impact. *Marine Pollution Bulletin*, 62:1098–1102.
- Pouchert C.J. (1975). *The Aldrich Library of infrared spectra*. Second edition. Aldrich Chemical company.
- Powell M.D., Berry A.J. (1990). Ingestion and regurgitation of living and inert materials by the estuarine copepod *Eurytemora affinis* (Poppe) and the influence of salinity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 31 (6):763-773.
- Ramos J.A.A., Barletta M., Costa M.F. (2012). Ingestion of nylon threads by Gerreidae while using a tropical estuary as foraging grounds. *Aquatic Biology* 17:29-34
- Reddy, S.M., Basha, S., Adimurthy, S., Ramachandraiah, G., 2006. Description of small plastics fragments in marine sediments along the Alang-Sosiya ship-breaking yard, India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 68:656–660.
- Rios L.M., Moore C., Jones P.R. (2007). Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Marine Pollution Bulletin* 54:1230–1237.
- Rios L.M., Joes P.R., Moore C., Narayan U.V. (2010). Quantification of persistent organic pollutants adsorbed on plastic debris from the Northern Pacific Gyre's "eastern garbage patch". *Journal of Environmental Monitoring* 12:2226–2236
- Rochman C. M., Hoh E., Kurobe T., Teh S. J. (2013). Ingested plastic transfer hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific Reports*, volume 3
- Roy P.K., Hakkarainen M., Varma I.K., Albertsson A.C. (2011). Degradable polyethylene: fantasy or reality. *Environmental Science & Technology* 45:4217–4227.

- Ryan P.G., Moore C.J., Van Franeker J.A., Moloney C.L. (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364:1999–2012.
- San Andrés M. et al.(2008). Número de onda de referencia de polietileno, número de onda de referencia del copolímero polietilenacetato disponible en www.mecd.gob.es/cultura-mecd/dms/...y.../MatsintReinaSof.pdf Materiales sintéticos utilizados en la manipulación, exposición y almacenamiento de obras de arte y bienes culturales. Caracterización por espectroscopia FTIR-ATR. (UCM-IPCE).
- Sajiki J. Yonekubo J.(2003). Leaching of bisphenol A (BPA) to seawater from polycarbonate plastic and its degradation by reactive oxygen species, *Chemosphere* 51 (1):55-62.
- Shatalov V., Breivik K., Berg T., Dutchak S., Pacyna J. (2004). Persistent organic pollutants; EMEP assessment, Part 1: European Perspective, pp. 129-150, Norwegian Meteorological Institute.
- Shaw D.G., Day R.H.(1994). Colour- and form- dependent loss of plastic microdebris from the North Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 28 (1):39-43.
- Shiber J.G. (1979). Plastic pellets on the coast of Lebanon. *Marine Pollution Bulletin* 10:28-30.
- Swift G. (2003). Biodegradable water-soluble polymers, In: Andrady, A. L. (ed), *Plastics and the Environment*, Wiley, New Jersey, USA, pp. 491-519.
- Talsness C.E, Andrade A.J.M., Kuriyama S.N., Taylor J.A., Vom Saal F.S. (2009). Components of plastic: experimental studies in animals and relevance for human health. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Science*, 364 (1526): 2079–2096.

- Teuten E. L., Rowland S.J., Galloway T. S., Thompson R. C. (2007). Potential for Plastics to Transport Hydrophobic Contaminants. *Environmental Science and Technology* 41 (22):7759-7764.
- Thiel M., Gutow L. (2005). The ecology of rafting in the marine environment. II. The rafting organisms and community. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 43:279-418.
- Thompson R., Olsen Y., Mitchell R. P., Davis A., Rowland S. J., John A. W. G., McGonigle D., Russel A. E. (2004). Lost at sea: Where is all the plastic?. *Science* 304:838-838.
- Thompson, R.C. (2006). Plastic debris in the marine environment: consequences and solutions. In: Krause, J.C., Nordheim, H., Bräger, S. (Eds.), *Marine Nature Conservation in Europe*. Federal Agency for Nature Conservation, Stralsund, Germany, pp. 107–115.
- Thompson R., Browne M. A, Galloway T. (2007).Microplastic – an emerging contaminant of potential concern?. *Integrated environmental assessment and Management* 3(4):559-561.
- Thompson R., Browne B., Dissanayake A., Galloway T., Lowe D. (2008). Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis* (L.), *Environmental Science and Technology*, 42(13):5026–5031.
- Thompson R.C., Olsen Y., Mitchell R.P., Davis A., Rowland S.J., John A.W.G., McGonigle, Thompson R.C., Moore C.J., Vom Saal F.S., Swan S.H. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Science* 364 (1526):2153-2166.
- Turner, A., Holmes, L., 2011. Occurrence, distribution and characteristics of beached plastic production pellets on the island of Malta (central Mediterranean). *Marine Pollution Bulletin* 62 (2):377-381

- Van Noord J.E. (2013). Diet of five species of the family Myctophidae caught off the Mariana Islands. *Ichthyology Research* 60:89–92.
- Vianello A., Boldrin A., Guerriero P., Moschino V., Rella R., Sturaro A., Da Ros L. (2013). Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 130:54–61.
- Wan Y., Hu J., Yang M., An L., An W., Jin X., H. T., Itoh M. (2005). Characterization of trophic transfer for polychlorinated dibenzo p dioxins, dibenzofurans, non and mono ortho polychlorinated biphenyls in the marine food web of Bohai Bay, North China. *Environmental Science and Technology* 39 (8): 2417-2425.
- Warheit D.B., Laurence B.R., Reed K.L., Roach D.H., Reynolds G.A.M., Webb T.R. (2004). Comparative pulmonary toxicity assessment of single-wall carbon nanotubes in rats. *Toxicological Sciences* 77 (1):117-125
- Wirsén N. C. (1971). Microbial degradation of organic matter in the deep sea. *Science* 171 (3972):672-675.
- Wright, S.L, Thompson, R.C., Galloway T.S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental pollution*. 178:483–492
- Zitko V., Hanlon M. (1991). Another source of pollution by plastics: skin cleansers with plastic scrubbers. *Marine Pollution Bulletin* 22:41–42.

ANEXO 1

A.1 POLIACRILAMIDAS.

A.1.1 Fibra negra del sitio playa Cabo San Lucas 2.

La Figura A.1 muestra la fotografía del microplástico con forma de fibra y color negro encontrado en el sitio playa Cabo San Lucas 2, con tamaño aproximado de 6.5 mm de longitud.

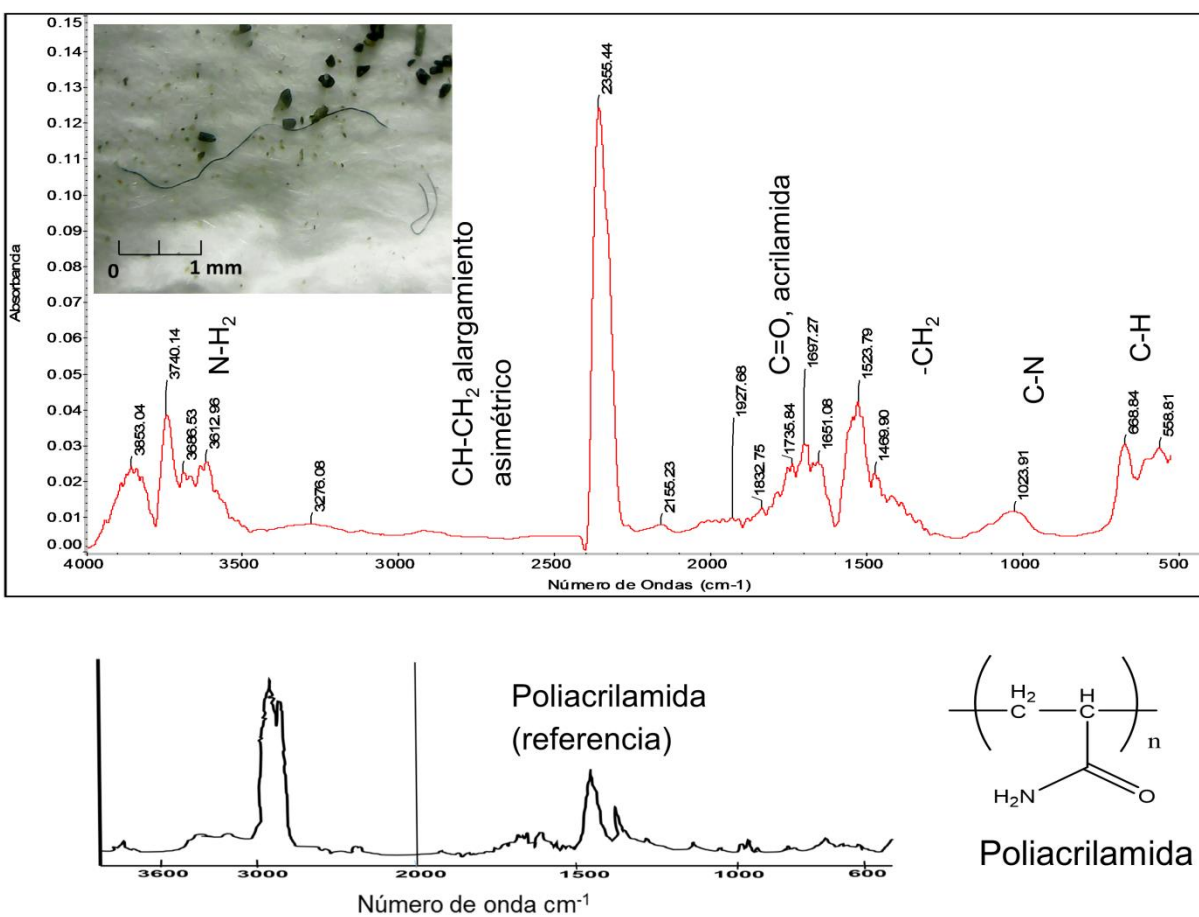


Figura A.1 Espectro del microplástico fibra negra encontrado en el sitio Cabo San Lucas 2, y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para la fibra negra encontrado en el sitio playa Cabo San Lucas 2 se muestran en la Tabla A.1.

Tabla A.1 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico fibra negra encontrado en la muestra del sitio playa Cabo San Lucas 2.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) de referencia de poliacrilamida	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico fibra negra
-O-H, humedad en la muestra	3750-3300	3853
N-H estiramiento	3500-3000	3613
N-H flexión	1640-1550	1524
N-H flexión fuera del plano	600-700	669
CH estiramiento	3000-2850	2920 señal débil.
CH ₂ en el plano	1470-1465	1470
C=O alargamiento amida	1690-1630	1697
C-N alargamiento	1200-1000	1024
CO ₂	2380	2355

A.1.2 Fibra morada del sitio playa Balandra 2.

La Figura A.2 muestra el microplástico con forma de fibra y color morado encontrado en el sitio playa Balandra 2, con tamaño aproximado de 3 mm de longitud.

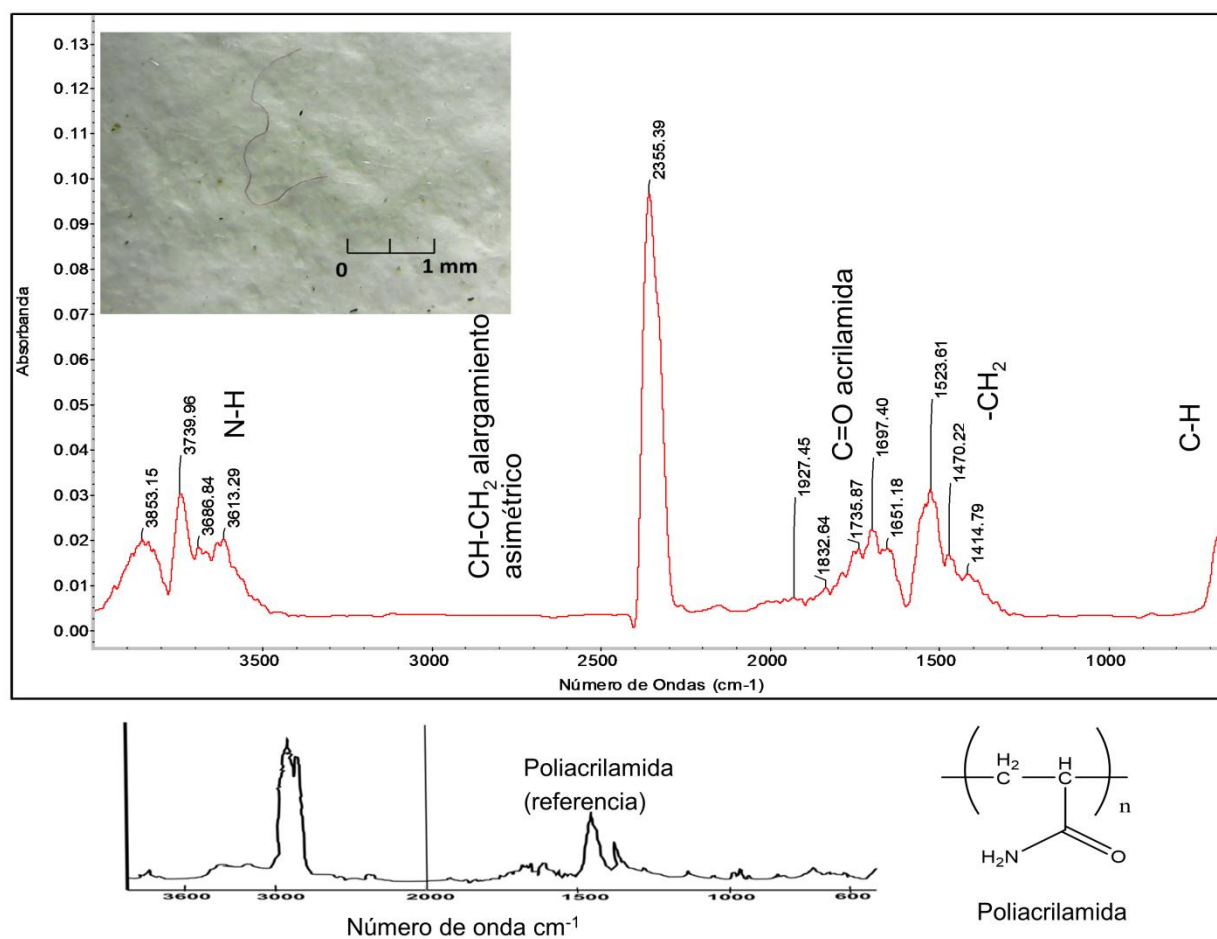


Figura A.2 Espectro del microplástico fibra morada encontrado en el sitio playa Balandra 2 y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para la fibra morada encontrado en el sitio playa Balandra 2 se muestran en la Tabla A.2.

Tabla A.2 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico fibra morada encontrado en el sitio playa Balandra 2.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm ⁻¹) referencia de poliacrilamida	Número de onda (cm ⁻¹) del microplástico fibra morada
-O-H, humedad en la muestra	3750-3300	3853
N-H estiramiento	3500-3000	3613
N-H flexión	1640-1550	1524
N-H flexión fuera del plano	600-700	670
CH estiramiento	3000-2850	
CH ₂ en el plano	1470-1465	1470
C=O alargamiento amida	1690-1630	1697
C-N alargamiento	1200-1000	
CO ₂	2380	2355

A.1.3. Película amarilla del sitio playa a 40 km al sur de San Quintín.

La Figura A.3 muestra el microplástico con forma de película y color amarillo encontrado en el sitio playa a 40 km al sur de San Quintín, con tamaño aproximado de 1 mm de longitud.

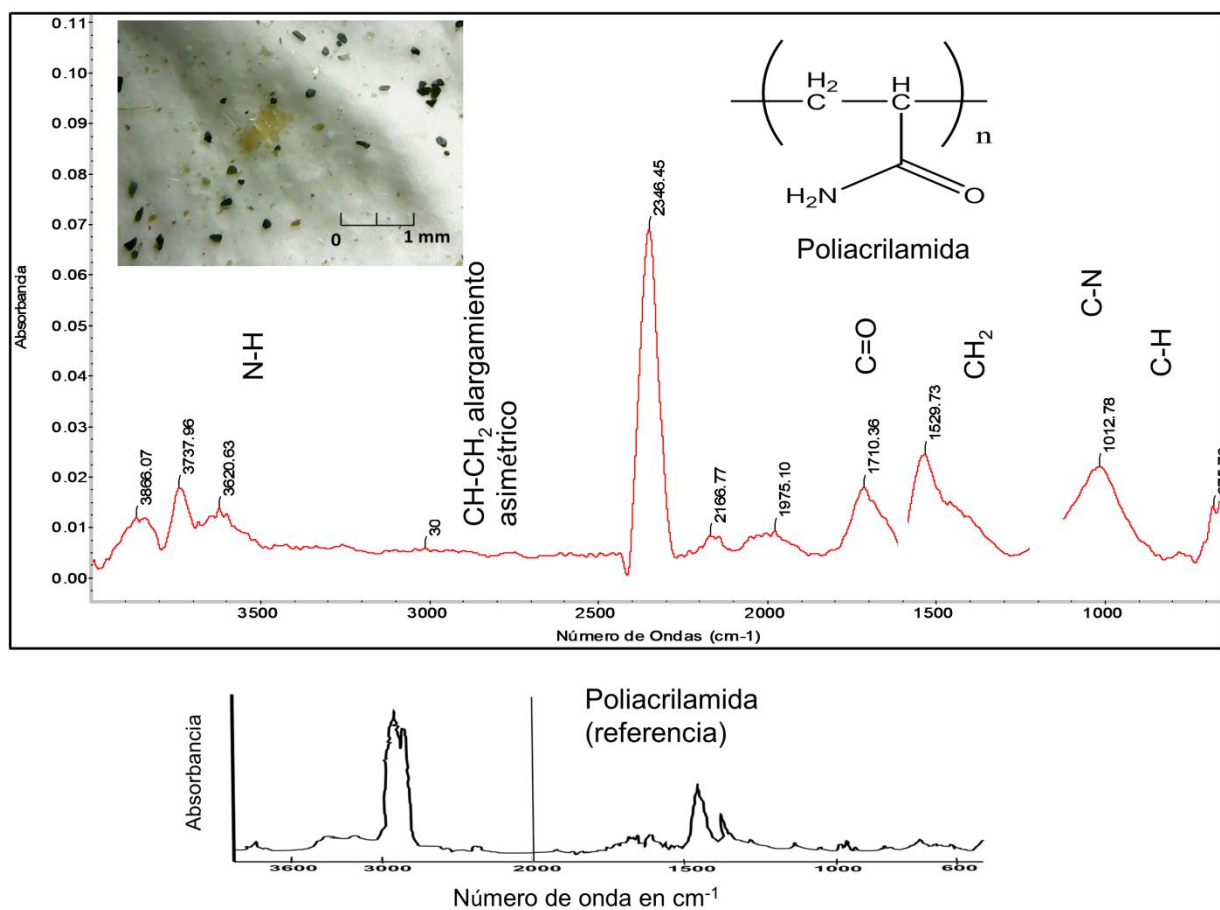


Figura A.3 Espectro microplástico película amarilla encontrado en el sitio playa a 40 km al sur de San Quintín y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para la película amarilla encontrado en el sitio playa a 40 km al sur de San Quintín se muestran en la Tabla A.3.

Tabla A.3 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico película amarilla encontrado en la muestra del sitio o playa a 40km al sur de San Quintín.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm ⁻¹) referencia de poliacrilamida	Número de onda (cm ⁻¹) del microplástico película amarilla
-O-H, humedad en la muestra	3750-3300	3866
N-H estiramiento	3500-3000	3621
N-H flexión	1640-1550	1530
N-H flexión fuera del plano	600-700	676
CH estiramiento	3000-2850	3010 señal débil.
CH ₂ en el plano	1470-1465	1450
C=O alargamiento amida	1690-1630	1710
C-N alargamiento	1200-1000	1013
CO ₂	2380	2346

A.1.4 Película azul del sitio playa todos los santos 1.

La Figura A.4 muestra el microplástico con forma de película y color azul encontrado en el sitio playa Todos los Santos 1 con tamaño aproximado de 0.16 mm de longitud.

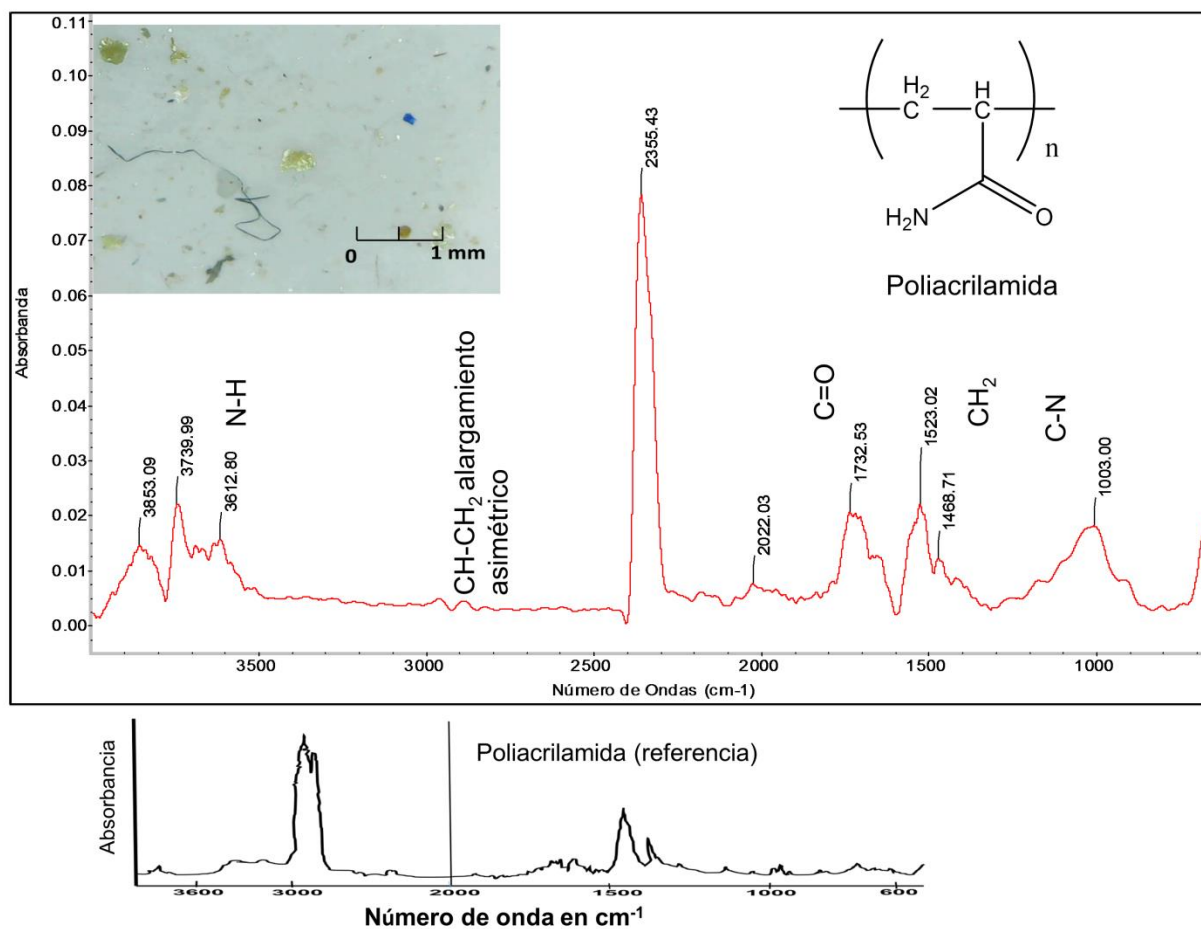


Figura A.4 Espectro del microplástico película azul del sitio playa todos los santos 1 y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para la película azul encontrado en el sitio o playa

Todos los Santos 1, se muestran en la Tabla A.4.

Tabla A.4 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico película azul del sitio playa todos los santos 1.

Grupo funcional o enlace.	Número de onda (cm^{-1}) referencia de poliacrilamida	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico película azul
-O-H, humedad en la muestra	3750-3300	3853
N-H estiramiento	3500-3000	3613
N-H flexión	1640-1550	1523
N-H flexión fuera del plano	600-700	690
CH estiramiento	3000-2850	2940 y 2880 señal débil.
CH ₂ en el plano	1470-1465	1469
C=O alargamiento amida	1690-1630	1733
C-N alargamiento	1200-1000	1003
CO ₂	2380	2355

A.1.5 Película multicolores del sitio playa todos los santos 1.

La Figura A.5 muestra el microplástico con forma de película y multicolores encontrado en el sitio playa Todos los Santos 1 con tamaño aproximado de 0.83mm de longitud.

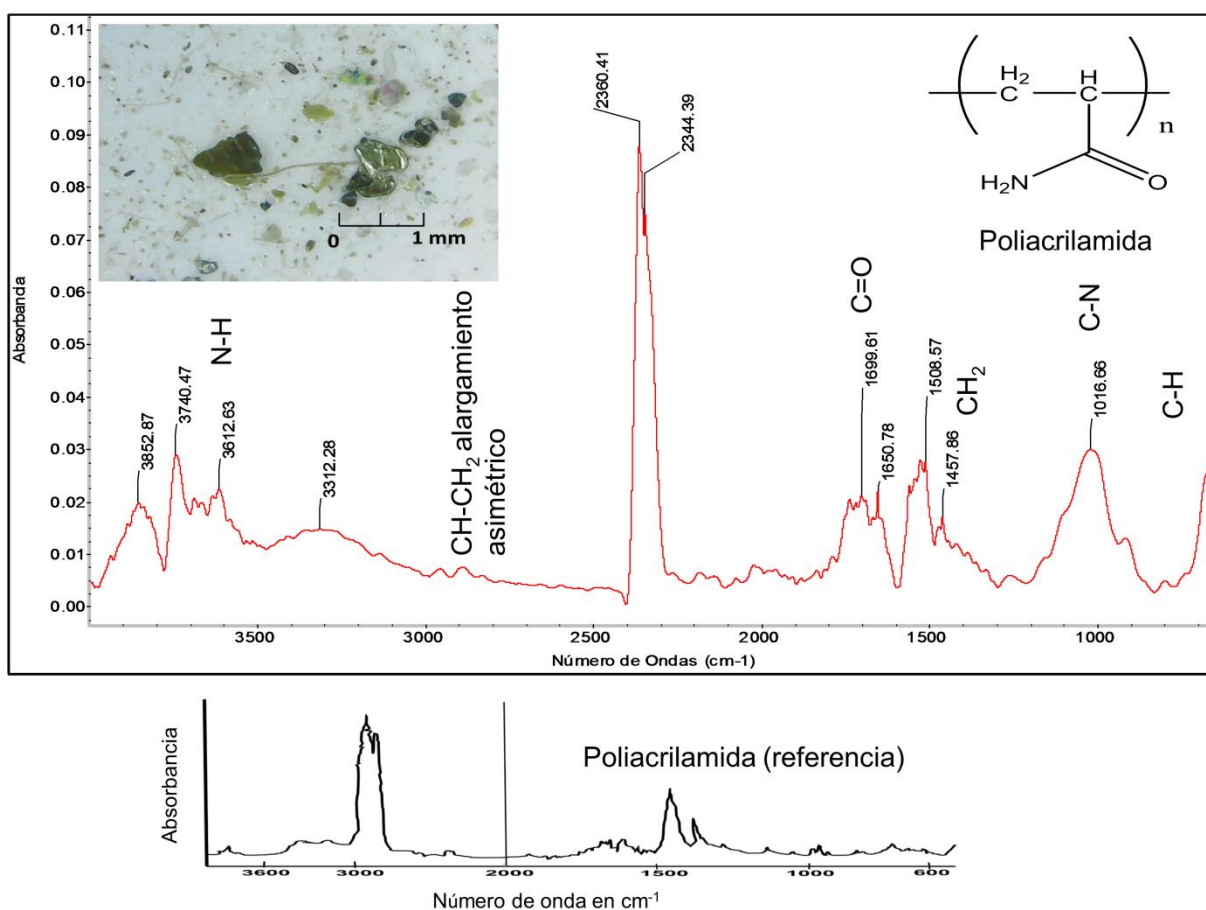


Figura A.5 Espectro del microplástico película multicolores del sitio playa todos los santos 1 y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para el microplástico película multicolor encontrada en el sitio playa Todos los Santos 1, se muestran en la Tabla A.5.

Tabla A.5 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico película multicolores encontrado en la muestra del sitio o playa Todos los Santos 1.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) de referencia de poliacrilamida	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico película multicolores
-O-H, humedad en la muestra	3750-3300	3853
N-H estiramiento	3500-3000	3613
N-H flexión	1640-1550	1509
N-H flexión fuera del plano	600-700	670
CH estiramiento	3000-2850	2950 Y 2900 señal débil.
CH ₂ en el plano	1470-1465	1458
C=O alargamiento amida	1690-1630	1670
C-N alargamiento	1200-1000	1017
CO ₂	2380	2360

A.1.6 Película roja del sitio playa Balandra 3.

La Figura A.6 muestra la fotografía del microplástico con forma de película y color rojo encontrado en el sitio playa Balandra 3 con tamaño aproximado de 1.33 mm de longitud.

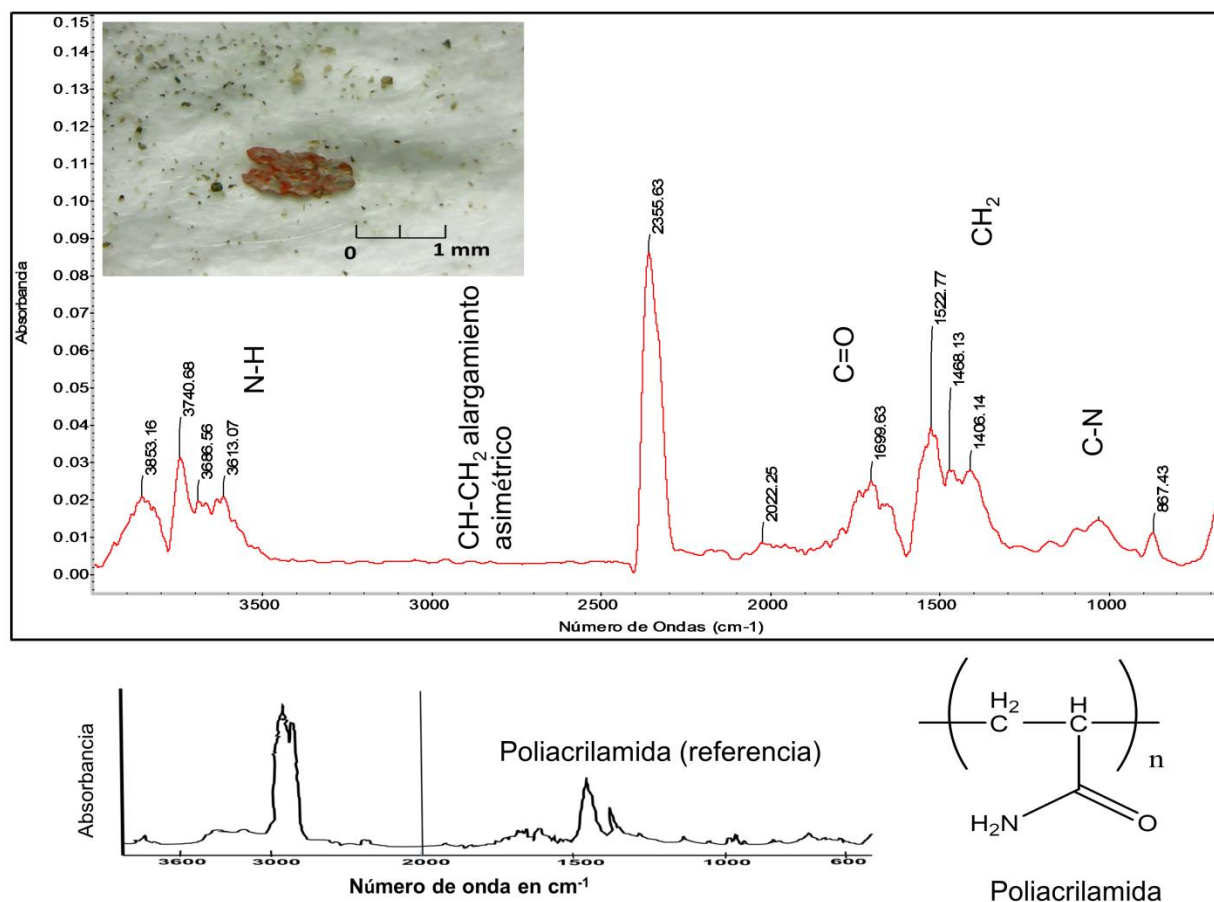


Figura A.6 Espectro del microplástico película roja encontrado en el sitio playa Balandra 3 y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para la película roja encontrado en el sitio o playa

Balandra 3 se muestran en la Tabla A.6.

Tabla A.6. Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico película roja encontrado en la muestra del sitio o playa Balandra 3.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) referencia de poliacrilamida	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico película roja
-O-H, humedad en la muestra	3750-3300	3853
N-H estiramiento	3500-3000	3613
N-H flexión	1640-1550	1523
N-H flexión fuera del plano	600-700	680
CH estiramiento	3000-2850	2980 señal débil.
CH ₂ en el plano	1470-1465	1468
C=O alargamiento amida	1690-1630	1700
C-N alargamiento	1200-1000	1029
CO ₂	2380	2356

A.1.7 Película transparente del sitio playa Balandra 2.

La Figura A.7 muestra el microplástico con forma de película y color transparente encontrado en el sitio playa Balandra 2 con tamaño aproximado de 0.94 mm de longitud.

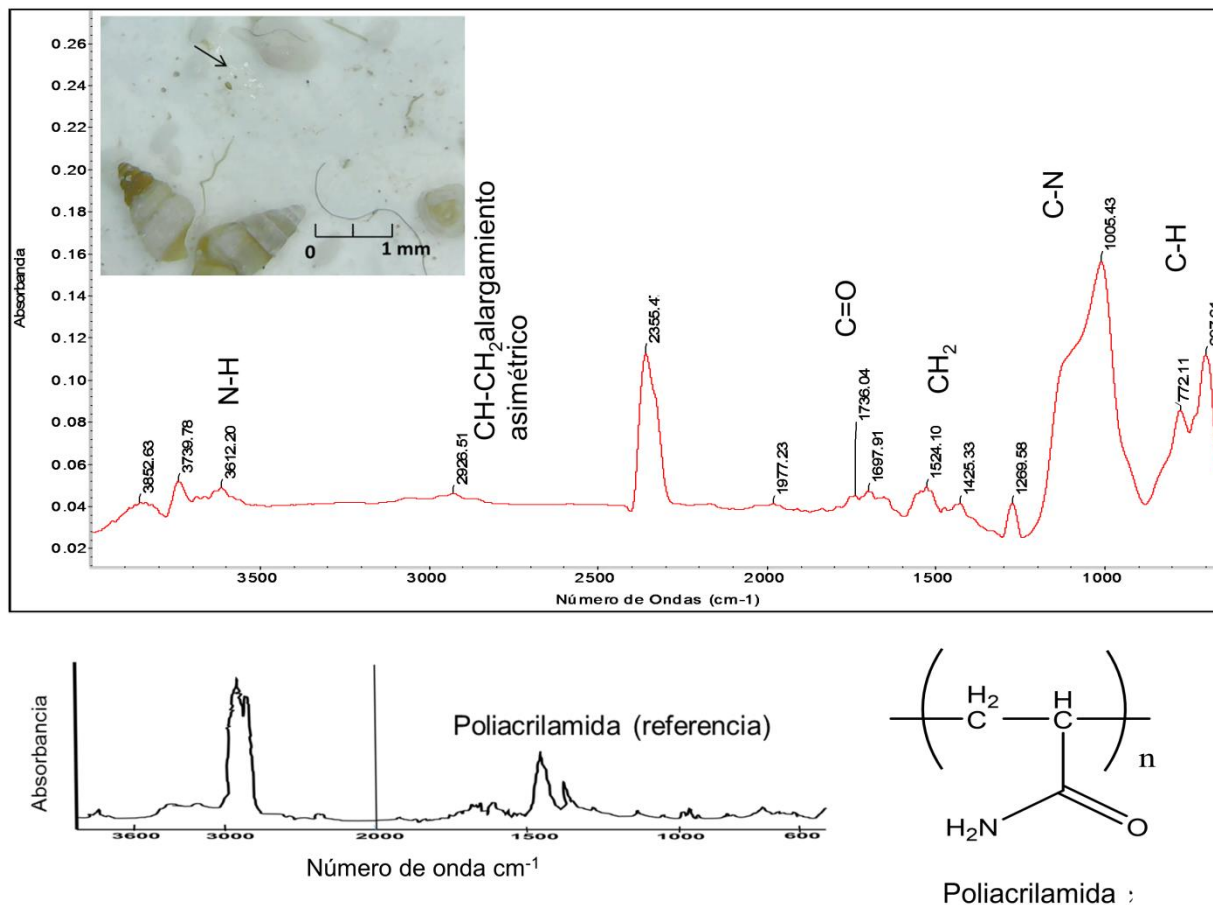


Figura A.7 Espectro del microplástico película transparente encontrado en el sitio playa Balandra 2 y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para la película transparente encontrado en el sitio playa Balandra 2 se muestran en la Tabla A.7.

Tabla A.7 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico película transparente encontrado en la muestra del sitio o playa Balandra 2

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) de referencia de poliacrilamida	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico película transparente
-O-H, humedad en la muestra	3750-3300	3853
N-H estiramiento	3500-3000	3612
N-H flexión	1640-1550	1524
N-H flexión fuera del plano	600-700	698
CH estiramiento	3000-2850	2927 señal débil.
CH ₂ en el plano	1470-1465	1425
C=O alargamiento amida	1690-1630	1698
C-N alargamiento	1200-1000	1005
CO ₂	2380	2356

A.1.8 Película morada del sitio playa Ensenada 3.

La Figura A.8 muestra el microplástico con forma de película y color morado encontrado en el sitio playa Ensenada 3 con tamaño aproximado de 0.21 mm de longitud.

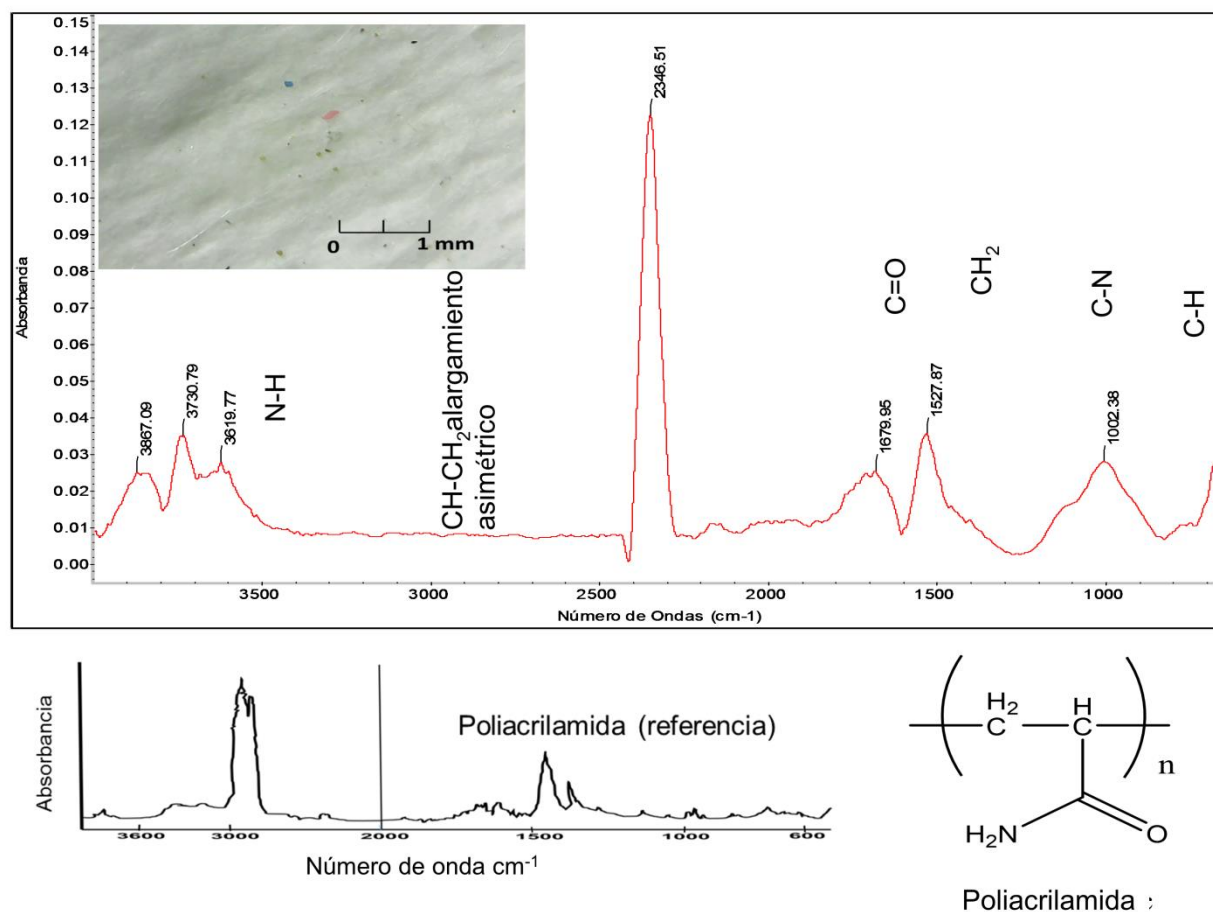


Figura A.8 Espectro del microplástico película morada encontrado en el sitio o playa Ensenada 3 y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para la película morada encontrado en el sitio playa

Ensenada 3 se muestran en la Tabla A.8.

Tabla A.8 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico película morada encontrado en la muestra del sitio o playa Ensenada 3.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm ⁻¹) referencia de poliacrilamida	Número de onda (cm ⁻¹) del microplástico película morada
-O-H, humedad en la muestra	3750-3300	3867
N-H estiramiento	3500-3000	3620
N-H flexión	1640-1550	1528
N-H flexión fuera del plano	600-700	670
CH estiramiento	3000-2850	
CH ₂ en el plano	1470-1465	1460
C=O alargamiento amida	1690-1630	1680
C-N alargamiento	1200-1000	1002
CO ₂	2380	2347

A.1.9 Esfera amarilla del sitio playa Todos los Santos 3.

La Figura A.9 muestra la fotografía del microplástico con forma de esfera y color amarillo encontrado en el sitio playa Todos los Santos 3 con tamaño aproximado de 0.09 mm de longitud.

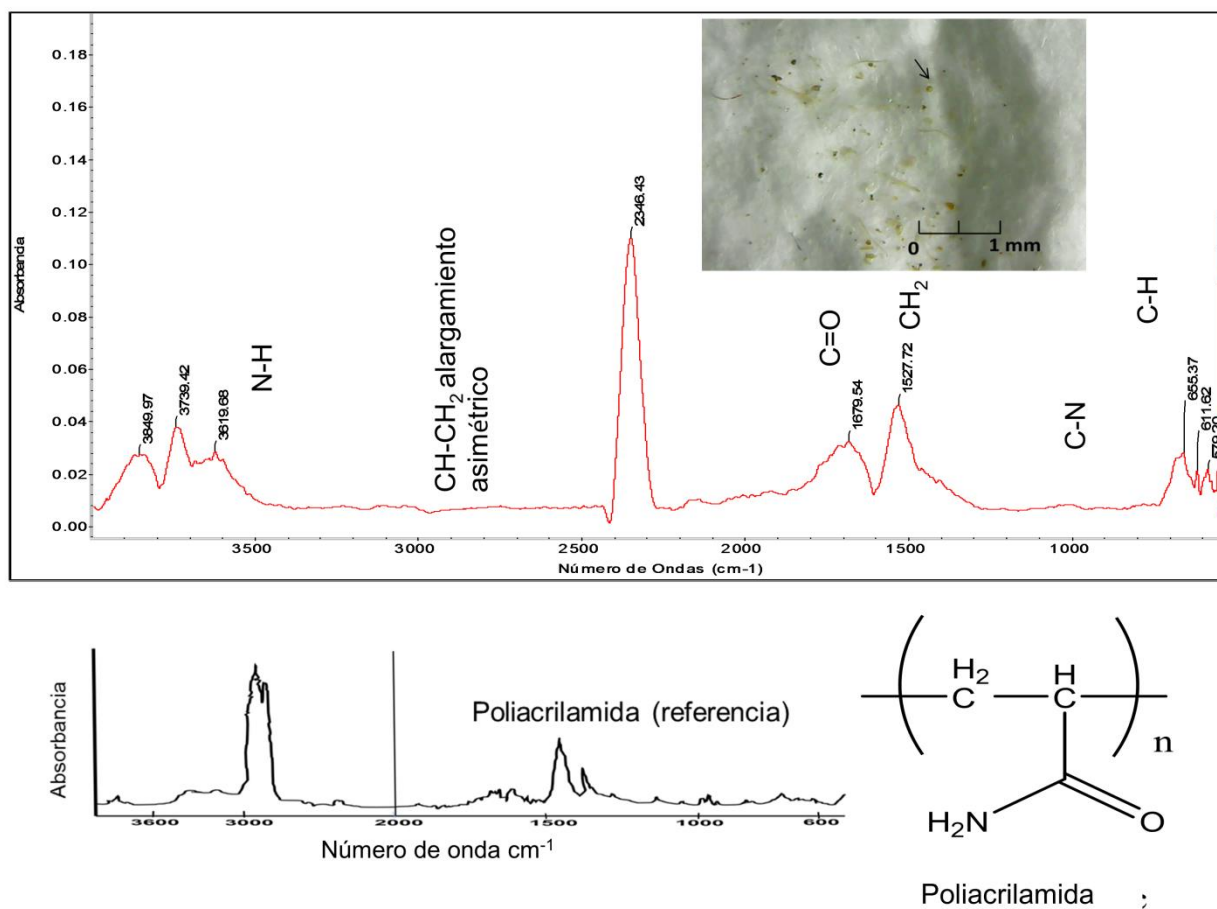


Figura A.9 Espectro del microplástico esfera amarilla encontrado en el sitio playa Todos los Santos 3 y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para la esfera amarilla encontrado en el sitio playa

Todos los Santos 3 se muestran en la Tabla A.9.

Tabla A.9 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico esfera amarilla encontrado en la muestra del sitio playa Todos los Santos 3.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) referencia de poliacrilamida	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico esfera amarilla
-O-H, humedad en la muestra	3750-3300	3850
N-H estiramiento	3500-3000	3620
N-H flexión	1640-1550	1528
N-H flexión fuera del plano	600-700	655
CH estiramiento	3000-2850	
CH ₂ en el plano	1470-1465	1460
C=O alargamiento amida	1690-1630	1680
C-N alargamiento	1200-1000	1020
CO ₂	2380	2346

A.1.10 Esfera blanca del sitio playa Ensenada 2.

La Figura A.10 muestra el microplástico con forma de esfera y color blanco encontrado en el sitio playa Ensenada 2 con tamaño aproximado de 0.21 mm de longitud.

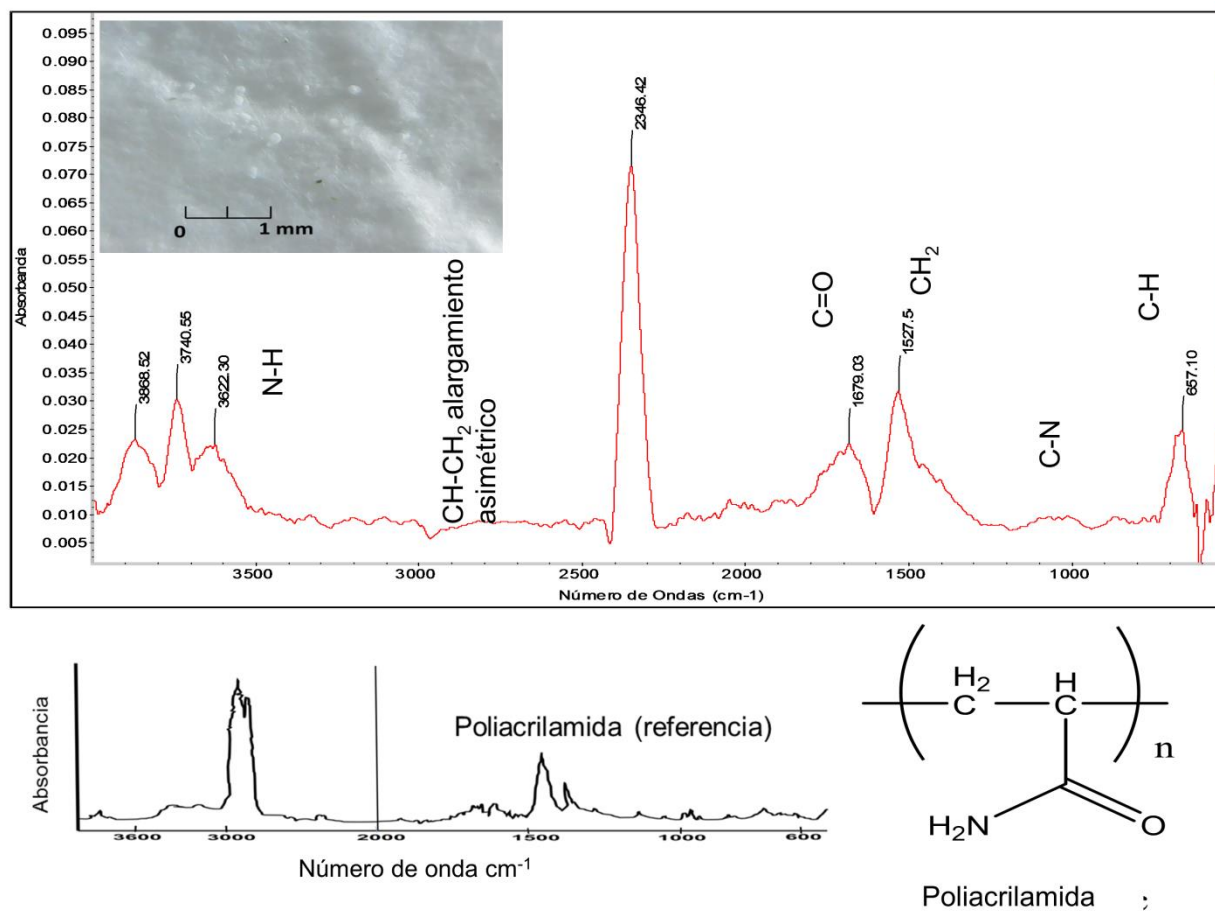


Figura A.10. Espectro del microplástico esfera blanca encontrado en el sitio o playa Ensenada 2 y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para la esfera blanca encontrado en el sitio playa

Ensenada 2 se muestran en la Tabla A.10.

Tabla A.10 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico esfera blanca encontrado en la muestra del sitio o playa Ensenada 2.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm ⁻¹) referencia de poliacrilamida	Número de onda (cm ⁻¹) del microplástico esfera blanca
-O-H, humedad en la muestra	3750-3300	3869
N-H estiramiento	3500-3000	3622
N-H flexión	1640-1550	1528
N-H flexión fuera del plano	600-700	657
CH estiramiento	3000-2850	
CH ₂ en el plano	1470-1465	1450
C=O alargamiento amida	1690-1630	1679
C-N alargamiento	1200-1000	1010
CO ₂	2380	2346

A.1.11 Esfera transparente del sitio Playas de Rosarito 1.

La Figura A.11 muestra el microplástico con forma de esfera y color transparente encontrado en el sitio Playas de Rosarito 1 con tamaño aproximado de 0.2 mm de longitud.

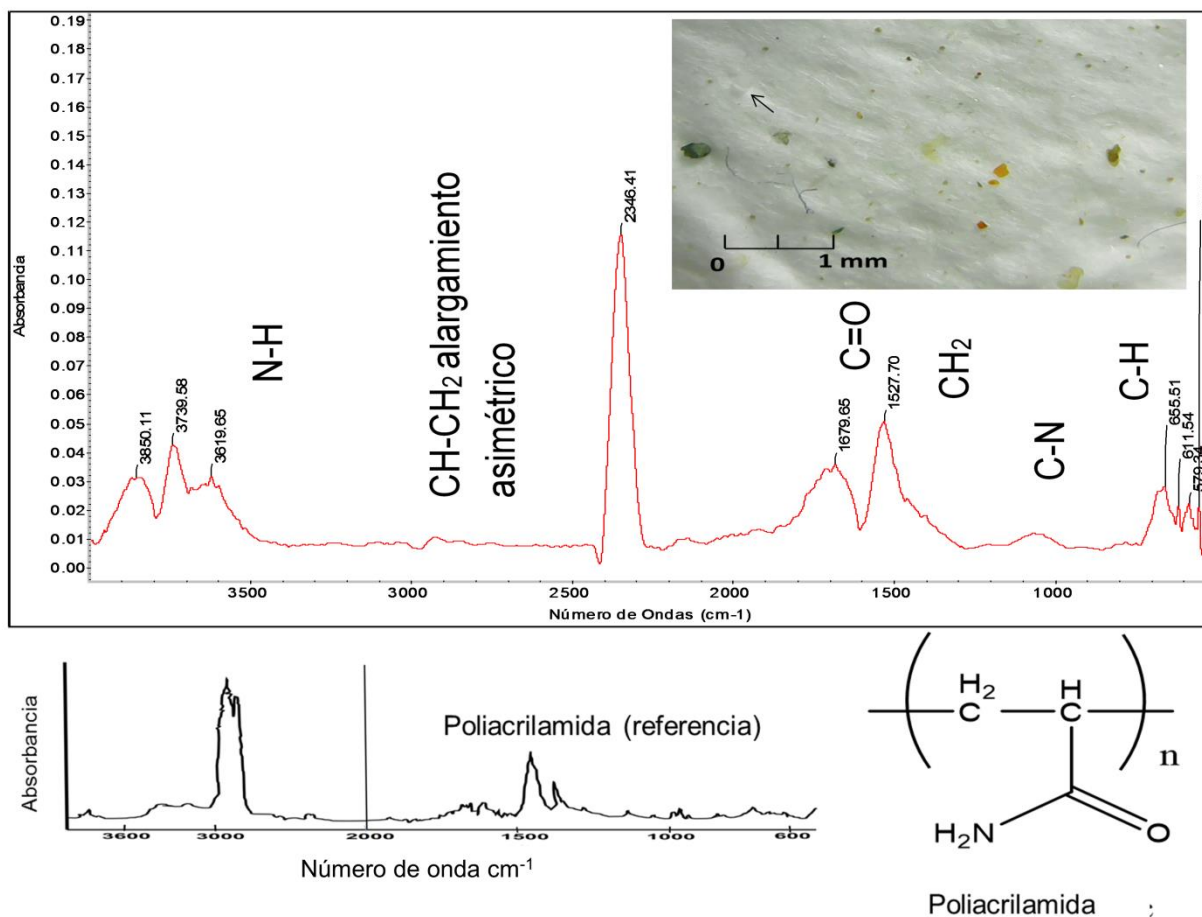


Figura A.11 Espectro del microplástico esfera transparente encontrado en el sitio Playas de Rosarito 1 y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para la esfera transparente encontrado en el sitio Playas de Rosarito 1 se muestran en la Tabla A.11.

Tabla A.11 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico esfera transparente encontrado en la muestra del sitio Playas de Rosarito 1.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) referencia de poliacrilamida	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico esfera transparente
-O-H, humedad en la muestra	3750-3300	3850
N-H estiramiento	3500-3000	3620
N-H flexión	1640-1550	1528
N-H flexión fuera del plano	600-700	656
CH estiramiento	3000-2850	2940 señal débil.
CH ₂ en el plano	1470-1465	1440
C=O alargamiento amida	1690-1630	1680
C-N alargamiento	1200-1000	1050
CO ₂	2380	2346

A.1.12 Gránulo amarillo del sitio Playas de Rosarito 1.

La Figura A.12 muestra el microplástico con forma de gránulo y color amarillo encontrado en el sitio Playas de Rosarito 1 con tamaño aproximado de 0.77 mm de longitud.

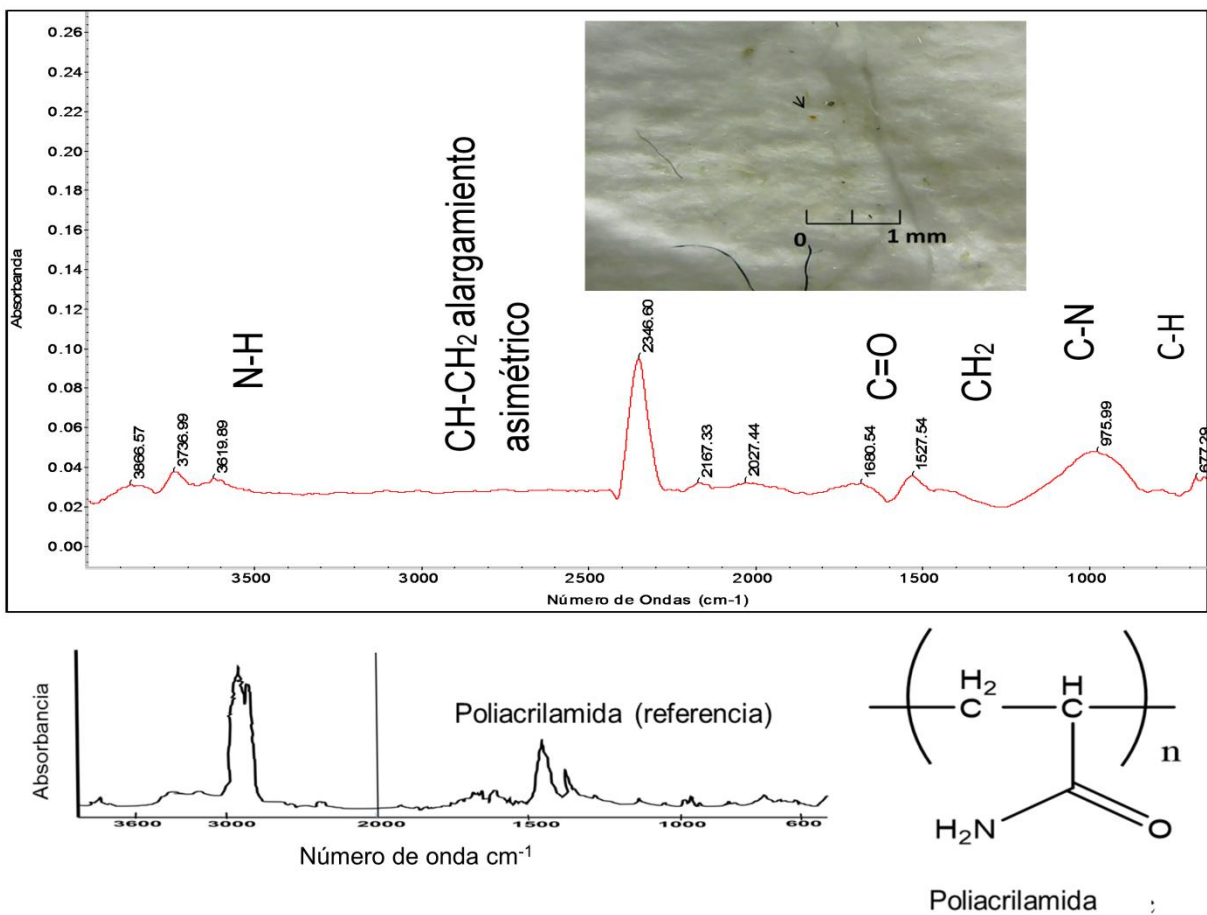


Figura A.12 Espectro del microplástico gránulo amarillo encontrado en el sitio Playas de Rosarito 1 y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para la gránulo amarillo encontrado en el sitio Playas de Rosarito 1 se muestran en la Tabla A.12.

Tabla A.12 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico gránulo amarillo encontrado en la muestra del sitio Playas de Rosarito 1

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm ⁻¹) referencia de poliacrilamida	Número de onda (cm ⁻¹) del microplástico granulo amarillo
-O-H, humedad en la muestra	3750-3300	3867
N-H estiramiento	3500-3000	3620
N-H flexión	1640-1550	1528
N-H flexión fuera del plano	600-700	677
CH estiramiento	3000-2850	
CH ₂ en el plano	1470-1465	1490
C=O alargamiento amida	1690-1630	1681
C-N alargamiento	1200-1000	976
CO ₂	2380	2347

A.1.13 Gránulo rojo del sitio o playa San Felipe 1.3.

La Figura A.13 muestra el microplástico con forma de gránulo y color rojo encontrado en el sitio o playa San Felipe 1.3 con tamaño aproximado de 0.1 mm de longitud.

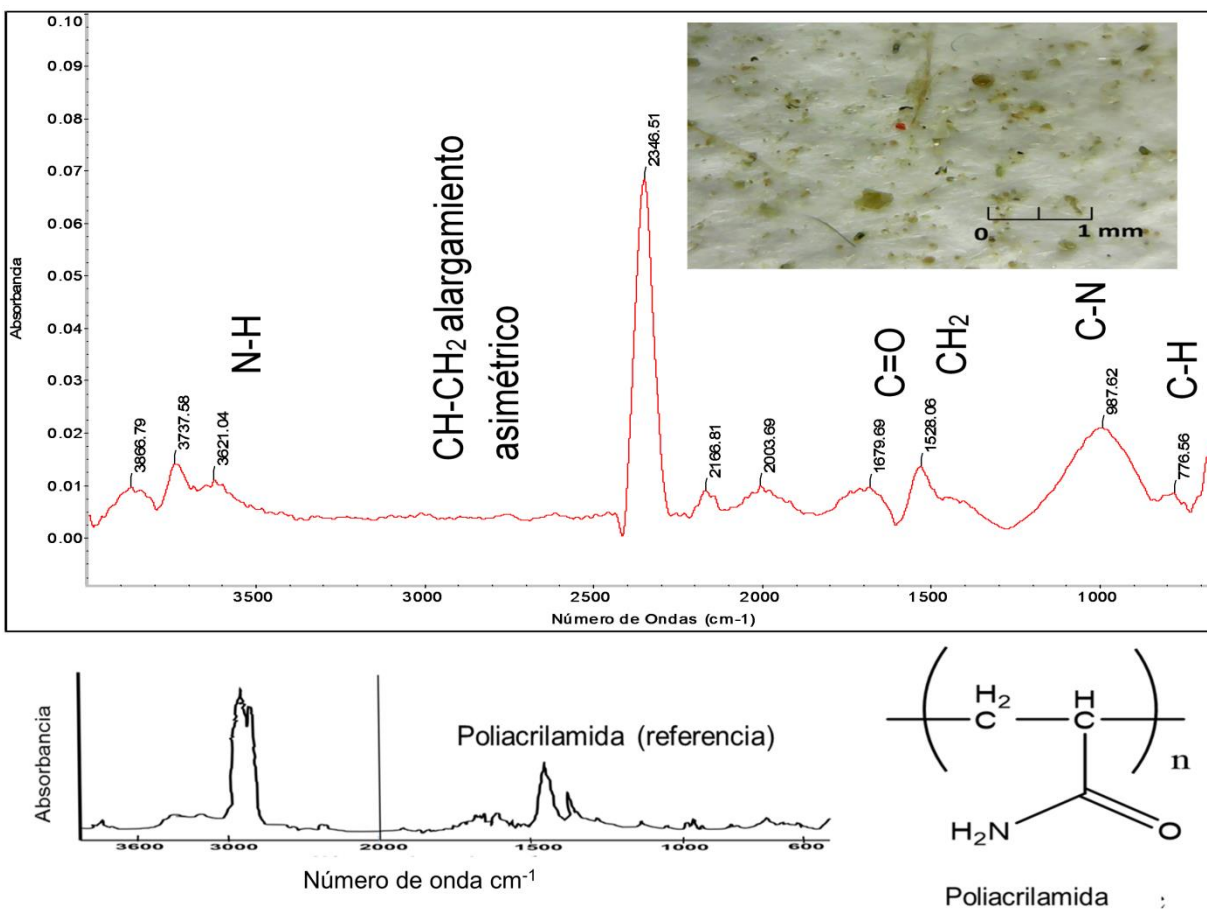


Figura A.13 Espectro del microplástico gránulo rojo encontrado en el sitio playa San Felipe 1.3 y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para la gránulo rojo encontrado en el sitio playa San Felipe 1.3 se muestran en la Tabla A.12.

Tabla A.13 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico gránulo rojo encontrado en la muestra del sitio playa San Felipe 1.3.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm ⁻¹) referencia de poliacrilamida	Número de onda (cm ⁻¹) del microplástico gránulo rojo
-O-H, humedad en la muestra	3750-3300	3867
N-H estiramiento	3500-3000	3621
N-H flexión	1640-1550	1528
N-H flexión fuera del plano	600-700	680
CH estiramiento	3000-2850	
CH ₂ en el plano	1470-1465	1480
C=O alargamiento amida	1690-1630	1680
C-N alargamiento	1200-1000	988
CO ₂	2380	2347

A.1.14 Gránulo verde del sitio o playa Todos Los santos 1.

La Figura A.14 muestra el microplástico con forma de gránulo y color verde encontrado en el sitio o playa Todos los Santos 1 con tamaño aproximado de 0.3 mm de longitud.

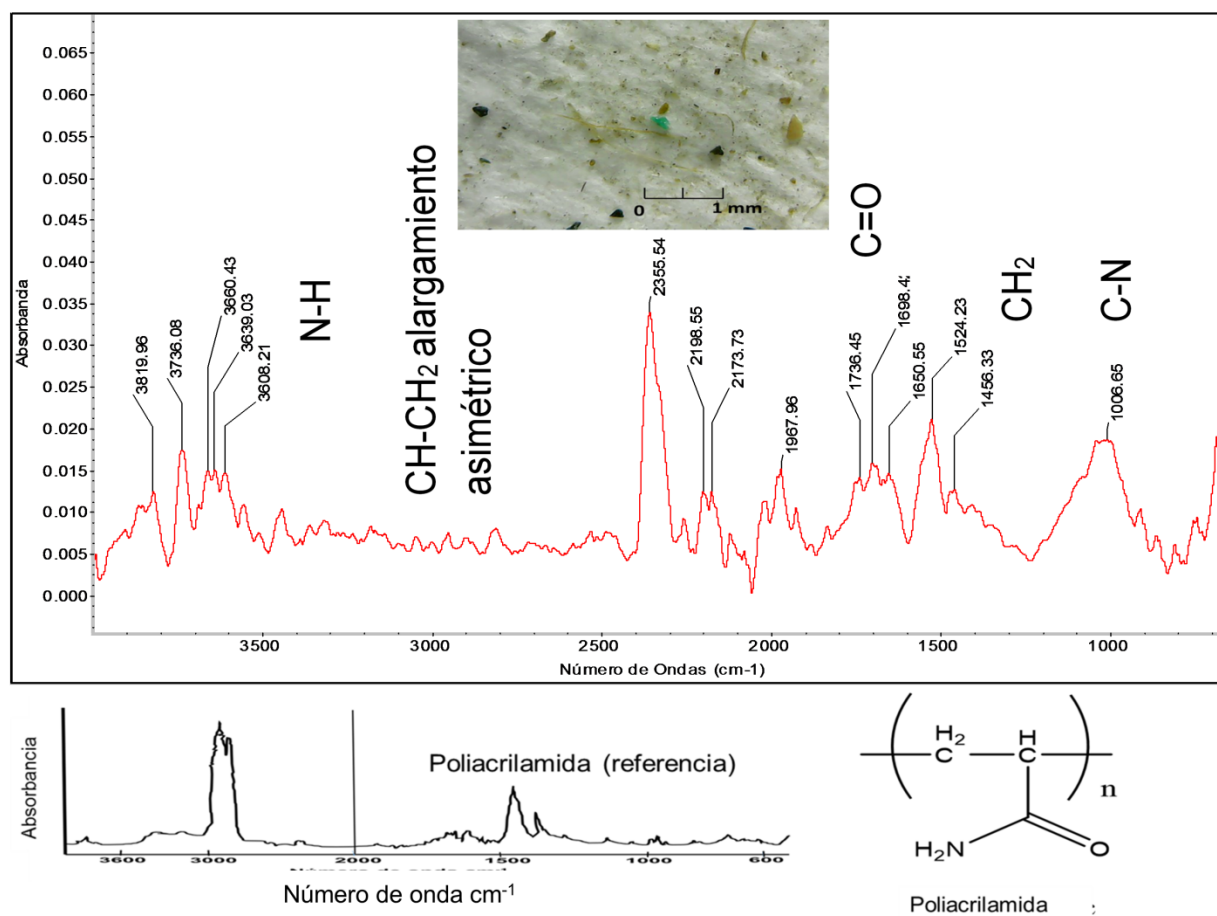


Figura A.14 Espectro del microplástico gránulo verde encontrado en el sitio playa Todos los Santos 1 y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para la gránulo verde encontrado en el sitio playa Todos los Santos 1 se muestran en la Tabla A.13.

Tabla A.14 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico gránulo verde encontrado en la muestra del sitio playa Todos los Santos 1.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm ⁻¹) referencia de poliacrilamida	Número de onda (cm ⁻¹) del microplástico gránulo verde
-O-H, humedad en la muestra	3750-3300	3820
N-H estiramiento	3500-3000	3608
N-H flexión	1640-1550	1524
N-H flexión fuera del plano	600-700	700
CH estiramiento	3000-2850	2960 y 2920 señal débil.
CH ₂ en el plano	1470-1465	1456
C=O alargamiento amida	1900-1650	1736
C-N alargamiento	1200-1000	1007
CO ₂	2380	2357

A.1.15 Gránulo rosa del sitio playa Requesón 1.

La Figura A.15 muestra el microplástico con forma de gránulo y color rosa encontrado en el sitio o playa Requesón 1 con tamaño aproximado de 0.3 mm de longitud.

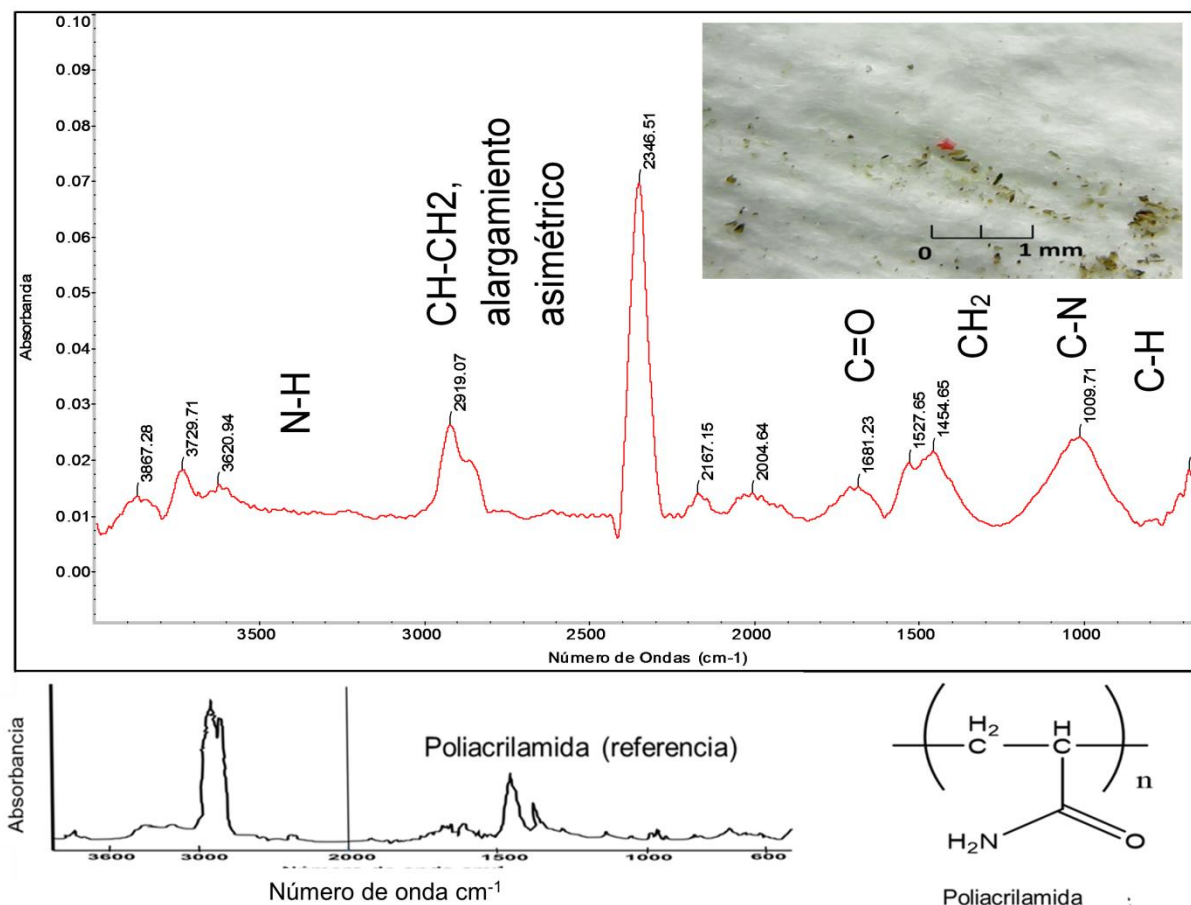


Figura A.15 Espectro del microplástico gránulo rosa encontrado en el sitio o playa Requesón 1 y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para la gránulo rosa encontrado en el sitio playa

Requesón 1 se muestran en la Tabla A.14.

Tabla A.15 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico gránulo rosa encontrado en la muestra del sitio playa Requesón 1.

Grupo funcional o enlace.	Número de onda (cm^{-1}) referencia de poliacrilamida	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico gránulo rosa
-O-H, humedad en la muestra	3750-3300	3867
N-H estiramiento	3500-3000	3621
N-H flexión	1640-1550	1528
N-H flexión fuera del plano	600-700	677
CH estiramiento	3000-2850	2919 y 2850
CH ₂ en el plano	1470-1465	1455
C=O alargamiento amida	1690-1630	1681
C-N alargamiento	1200-1000	1010
CO ₂	2380	2347

A.1.16 Película verde del sitio o playa Ensenada 1.

La Figura A.16 muestra el microplástico con forma de película y color verde encontrado en el sitio o playa Ensenada 1 con tamaño aproximado de 1 mm de longitud.

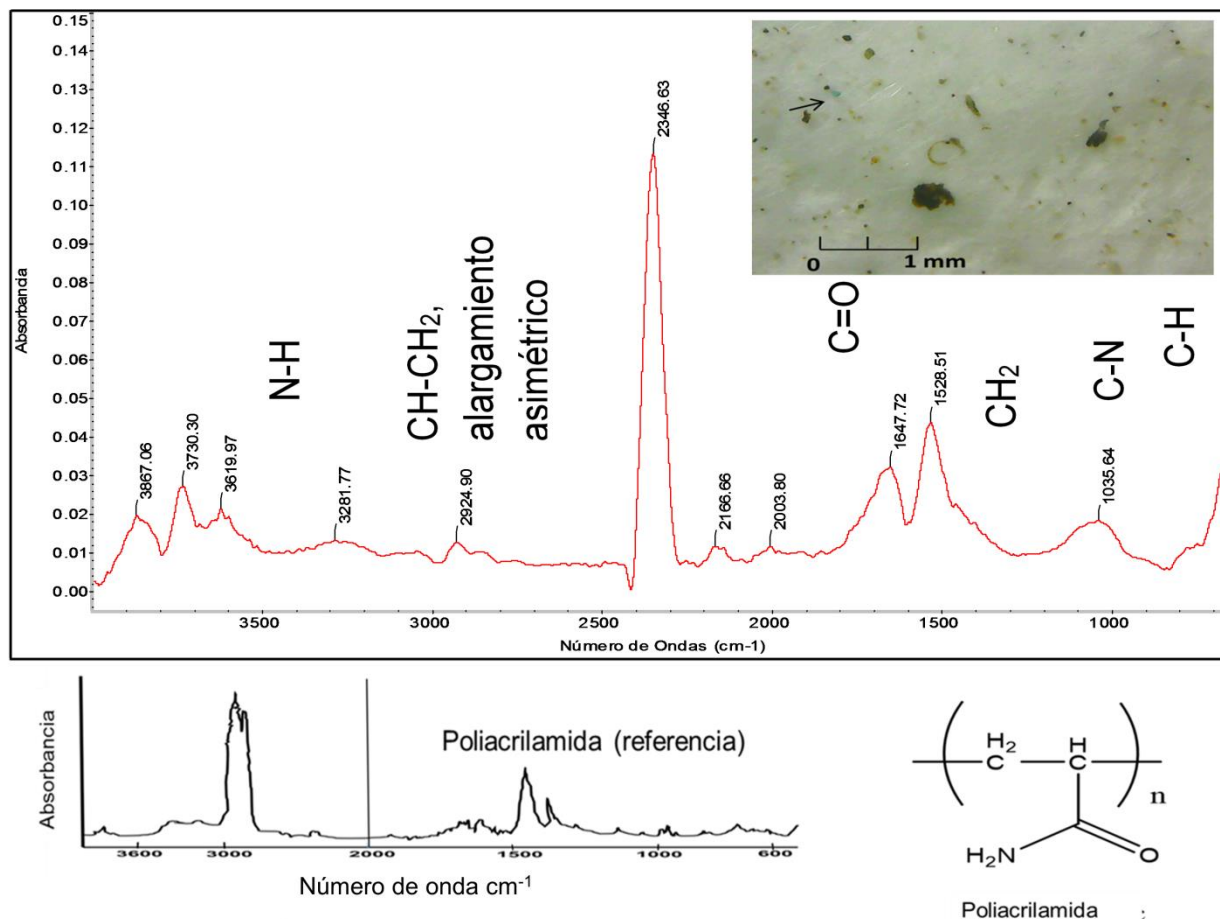


Figura A.16 Espectro del microplástico película verde encontrado en el sitio o playa Ensenada 1 y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para la película verde encontrado en el sitio playa Ensenada 1 se muestran en la Tabla A.15.

Tabla A.16 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico Película verde del sitio o playa Ensenada 1.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) referencia de poliacrilamida	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico película verde
-O-H, humedad en la muestra	3750-3300	3867
N-H estiramiento	3500-3000	3620
N-H flexión	1640-1550	1529
N-H flexión fuera del plano	600-700	650
CH estiramiento	3000-2850	2925 y 2850
CH ₂ en el plano	1470-1465	1460
C=O alargamiento amida	1690-1630	1648
C-N alargamiento	1200-1000	1036
CO ₂	2380	2347

A.2 POLIAMIDAS.

A.2.1 Gránulo azul del sitio playa Santa María 3.

La Figura A.17 muestra la fotografía del microplástico con forma de gránulo y color azul encontrado en el sitio playa Santa María 3 con tamaño aproximado de 0.8 mm de longitud.

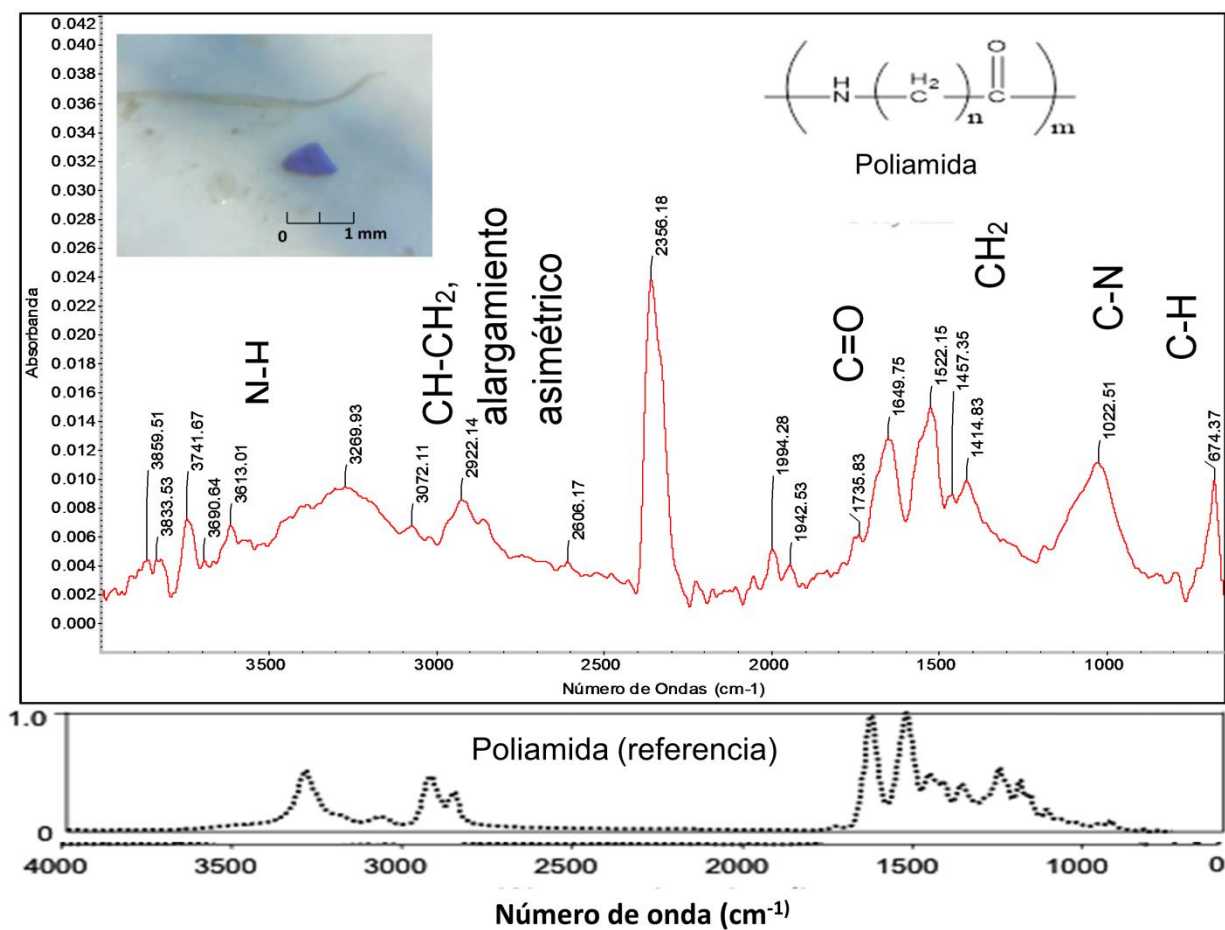


Figura A.17 Espectro del microplástico gránulo azul encontrado en el sitio o playa Santa María 3 y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para el gránulo azul encontrado en el sitio playa Santa María 3 se muestran en la Tabla A.15.

Tabla A.17 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico gránulo azul encontrado en la muestra del sitio playa Cabo Santa María 3.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm ⁻¹) referencia de poliamida (tipo nylon)	Número de onda (cm ⁻¹) del microplástico gránulo azul
O-H, humedad en la muestra	3750-3300	3860
N-H estiramiento	3500-3000	3613
N-H flexión	1640-1550	1522
N-H flexión fuera del plano	600-700	674
CH estiramiento	3000-2850	2923 y 2860
CH ₂ en el plano	1470-1465	1457
C=O amida	1690-1630	1650
C-N alargamiento	1200-1000	1023
CO ₂	2380	2356

A.3 TEREFTALATO DE POLIETILENO, (PET).

A.3.1 Fibra roja del sitio playa Ensenada 2.

La Figura A.18 muestra el microplástico con forma de fibra y color rojo encontrado en el sitio playa Ensenada 2 con tamaño aproximado de 1.5 mm de longitud.

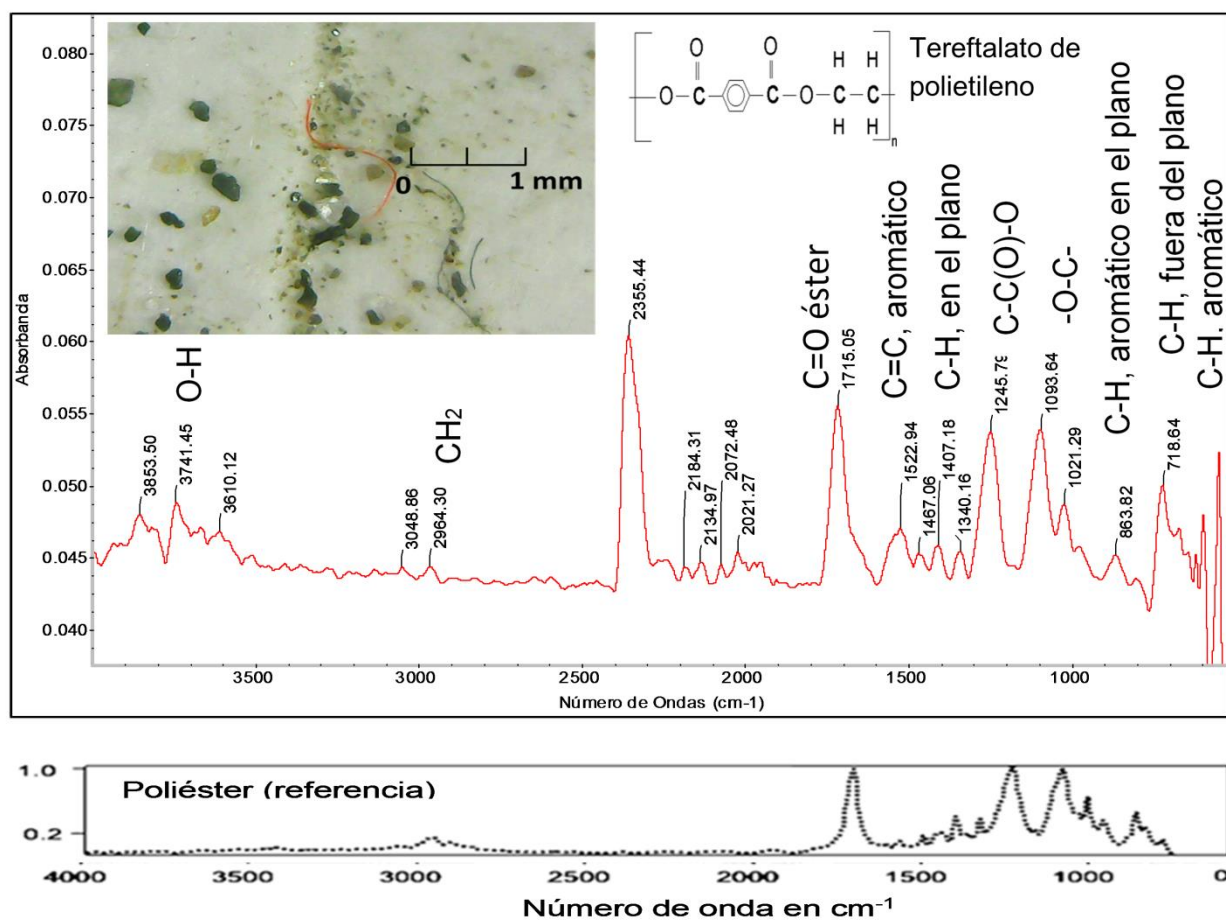


Figura A.18 Espectro del microplástico fibra roja encontrado en el sitio playa Ensenada 2 y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para la fibra roja encontrado en el sitio playa Ensenada 2 se muestran en la Tabla A.17.

Tabla A.18 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico fibra roja encontrado en la muestra del sitio playa Ensenada 2.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) referencia de tereftalato de polietileno (PET)	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico fibra roja
-CH ₂ -asimétrico y simétrico	3000-2850	2964
=C-H aromáticos estiramiento	3150-3050	3049
C=O éster	1750-1705	1715
C=C anillo aromático	1600 y 1475	1523 y 1467
C=C poliéster aromático	1615, 1580 y 1505	
C-H asimétrico en el plano, simétrico en el plano	1471, 1409 y 1340	1407, y 1340
C-C(O)-O	1260-1250	1246
[-O-C-],	1130-1120 1100-1090	1094
C-H anillo aromático en el plano	1016 y 970	1021
C-H anillo aromático fuera del plano	900-690	863
C-H anillo aromático aleteo	720	719
CO ₂	2380	2355

A.3.2 Fibra verde del sitio o Playa Tijuana 1.3.

La Figura A.19 muestra el microplástico con forma de fibra y color verde encontrado en el sitio playa Tijuana 1.3 con tamaño aproximado de 5 mm de longitud.

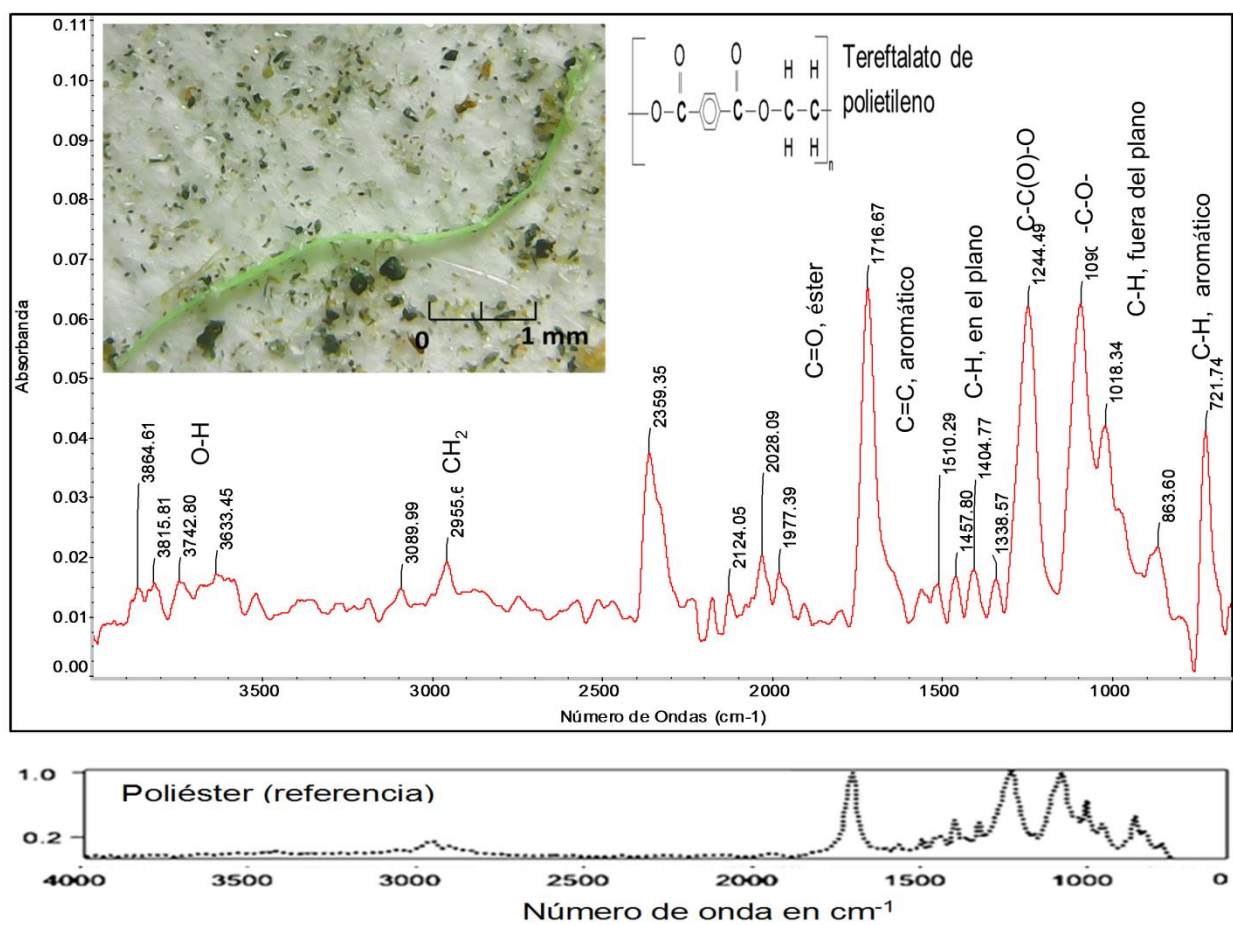


Figura A.19 Espectro del microplástico fibra verde encontrado en el sitio o playa Tijuana 1.3 y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para la fibra verde encontrado en el sitio playa Tijuana 1.3 se muestran en la Tabla A.17.

Tabla A.19 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico fibra verde encontrado en la muestra del sitio playa Tijuana 1.3.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) referencia de tereftalato de polietileno (PET)	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico fibra verde
-CH ₂ -asimétrico y simétrico	3000-2850	2956
=C-H aromáticos estiramiento	3150-3050	3090
C=O éster	1750-1705	1717
C=C anillo aromático	1600 y 1475	1550 y 1458
C=C poliéster aromático	1615, 1580 y 1505	
C-H asimétrico en el plano, simétrico en el plano	1471, 1409 y 1340	1405 y 1339
C-C(O)-O	1260-1250	1245
[-O-C-],	1130-1120 1100-1090	1091
C-H anillo aromático en el plano	1016 y 970	1018
C-H anillo aromático fuera del plano	900-690	864
C-H anillo aromático aleteo	720	722
CO ₂	2380	2359

A.3.3 Gránulo negro del sitio o playa Cabo San Lucas 1.

La Figura A.20 muestra la fotografía del microplástico con forma de gránulo y color negro encontrado en el sitio o playa Cabo San Lucas 1 con tamaño aproximado de 3 mm de longitud.

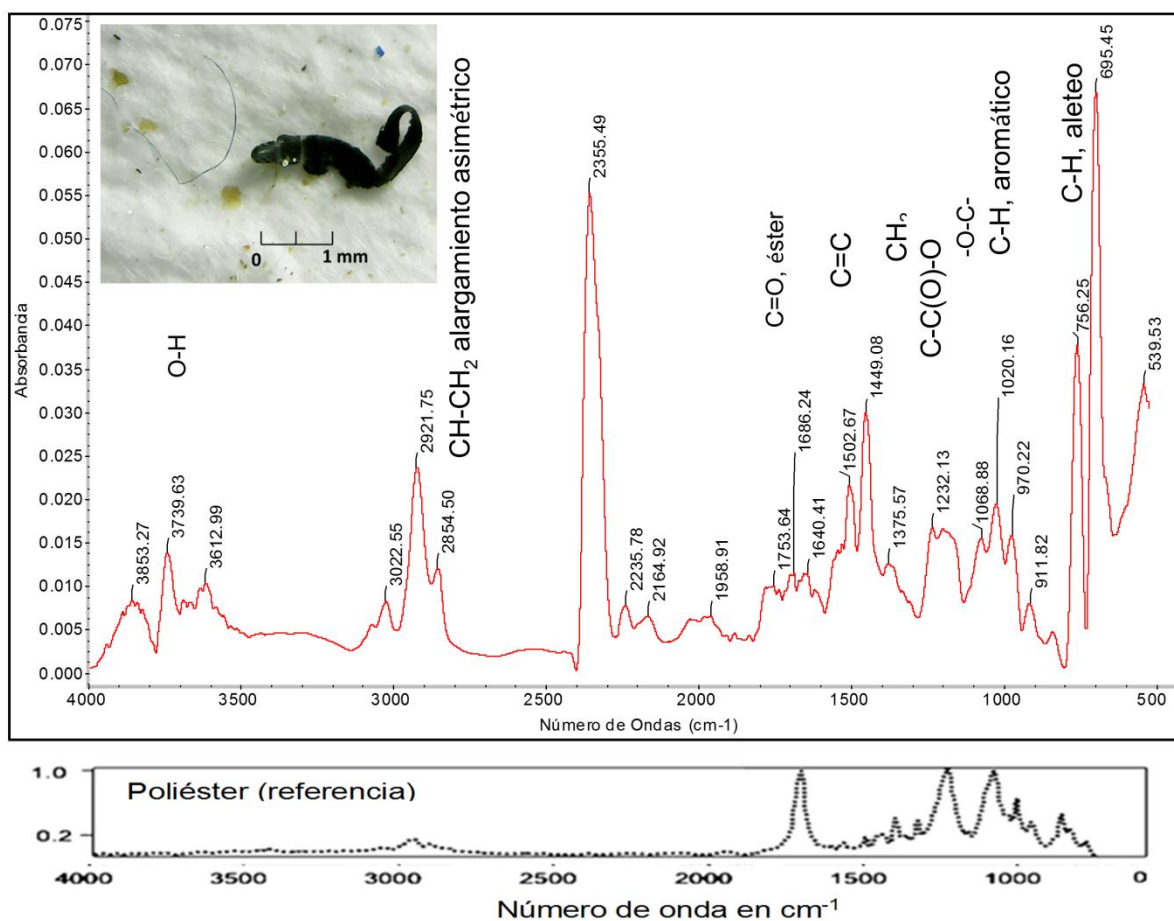


Figura A.20 Espectro del microplástico gránulo negro encontrado en el sitio o playa Cabo San Lucas 1 y espectro de referencia.

Las principales señales en el espectro IR para el gránulo negro encontrado en el sitio o playa Cabo San Lucas 1 se muestran en la Tabla A.18.

Tabla A.20 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico gránulo negro encontrado en la muestra del sitio playa Cabo San Lucas 1.

Grupo funcional o enlace	Número de onda (cm^{-1}) referencia de tereftalato de polietileno (PET)	Número de onda (cm^{-1}) del microplástico gránulo negro
-CH ₂ -asimétrico y simétrico	3000-2850	2922, 2855
=C-H aromáticos estiramiento	3150-3050	3023
C=O éster	1750-1705	1754
C=C anillo aromático	1600 y 1475	1686 y 1502
C=C poliéster aromático	1615, 1580 y 1505	
C-H asimétrico en el plano, simétrico en el plano	1471, 1409 y 1340	1449 y 1376
C-C(O)-O	1260-1250	1232
[-O-C-],	1130-1120 1100-1090	1069
C-H anillo aromático en el plano	1016 y 970	1020 y 970
C-H anillo aromático fuera del plano	900-690	912
C-H anillo aromático aleteo	720	756
CO ₂	2380	2356

