



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**“DETERMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN LA
ZONA CONURBADA DE LA BAHÍA DE CHETUMAL”**

TESIS

Para obtener el grado de
Ingeniero Ambiental

PRESENTA

Densis Alan García Ojeda

DIRECTOR DE TESIS

Dra. Norma Angélica Oropeza García

ASESORES

Dr. José Manuel Carrión Jiménez

M.I.A. Juan Carlos Ávila Reveles

Q.F.B. José Luis González Bucio

Ing. José Luis Guevara Franco



CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, JUNIO DE 2016



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

“DETERMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN LA ZONA
CONURBADA DE LA BAHÍA DE CHETUMAL”

INGENIERO AMBIENTAL

COMITÉ DE TESIS

DIRECTOR:

Dra. Norma Angélica Oropeza García

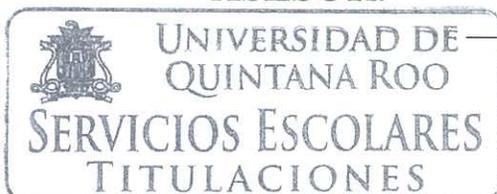
ASESOR:

Dr. José Manuel Carrión Jiménez

ASESOR:

M.I.A Juan Carlos Avila Reveles

CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, JUNIO DE 2016



AGRADECIMIENTOS

A mi directora de tesis, la Dra. Norma Angélica García Oropeza, por las enseñanzas, paciencia y consejos durante el proceso de la presenta investigación, así como de la formación académica.

Por la completa confianza a distancia, consejos, críticas y siendo fortaleza para seguir a delante en mi superación profesional, a mis padres y hermanos.

A todos los que me colaboraron con un granito de arena para la investigación, así como al M.I.A. J.C. Ávila Reveles, al Q.F.B. J.L. González Bucio, al Ing. J.L. Guevara Franco, en especial a la Ing. Y. A. Chan Varguez, a la Dra. V.M. Can Fuentes y por sus aportaciones personales al Dr. R.C. Thompson.

ÍNDICE

RESUMEN	4
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	
Introducción	5
Planteamiento del problema	6
CAPÍTULO II. ANTECEDENTES	
Marco Teórico	9
Impacto ambiental	9
Ingestión y enredamiento por basura marina	11
Efectos toxicológicos	13
Transporte de especies	14
Corrientes marinas como transporte de los microplásticos	15
Océanos de Basura	17
Antecedentes	18
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	
Objetivo general	23
Objetivos específicos	23
Metodología y Materiales	23
Área de estudio	23
Materiales	25
Recolección de muestras y secado	25
Método granulométrico	27
Trabajo de campo	27
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y RESULTADOS	
Análisis de resultados	29
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
Conclusiones	37
Recomendaciones	40
ANEXOS	42
BIBLIOGRAFÍA	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de polímeros artificiales (plástico) y naturales más comunes. Fuente: GESAMP Reports & studies No. 90- Microplásticos in the Ocean, 2015.	8
Figura 2. Corrientes marinas, frías y cálidas. Fuente: (Lois et al., s.f.) http://www.educ.ar/dinamico/UnidadHtml__get__fc4c8076-c83d-11e0-8393-e7f760fda940/index.htm	9
Figura 3. Biota afectada por plásticos. A) tortuga del Caribe enredada B) Mamífero marino enredado en Reino Unido C) Albatros de Laysan en “Kure atoll”. Fuente: (STAP, 2011). D) Artes de pesca abandonados y E) Cría de tortuga verde en neonato en Santuario de la tortuga marina Xcacel-Xcacelito, Fuente: Denis A. García	10
Figura 4. Bolsas de aire, método eficaz para retirar del fondo de mar toneladas de artículos de pesca. Fuente: (PIFSC & NOAA, 2011). Foto: NOAA.	12
Figura 5. Mamífero marino propenso a bioacumulación de COPs en la Bahía de Chetumal.	13
Figura 6. Corrientes marinas del mundo. Fuente: http://www.educ.ar/dinamico/UnidadHtml__get__fc4c8076-c83d-11e0-8393-e7f760fda940/index.html	16
Figura 7. Islas de Basura en los Océanos del mundo. Fuente: http://www.theoceancleanup.com/updates/show/item/a-deep-dive-into-plastic-flow-modeling/	17
Figura 8. Producción mundial del plástico a través del tiempo. Fuente: UNEP, 2011.	18
Figura 9. Etapas de desarrollo del plástico, su impacto y gestión. Fuente: (Tompson et al., 2009).	19
Figura 10. Pesos anuales y acumulativos de artes de pesca abandonados removido del fondo marino y arrecifes en las Islas del Noroeste de Hawái a través del PIFSC. Gráfico NOAA por Mark Manuel Fuente: https://pifsc-www.irc.noaa.gov/cred/marine_debris.php	20
Figura 11. Densidades específicas de los plásticos encontrados en el ambiente marino. Fuente: http://www.unep.org/yearbook/microplastics.asp	21

Figura 12. Presencia de residuos plásticos en un total de 42 estudios realizados. Fuente: GESAMP Resports & Studies No. 90. Microplásticos In The Ocean, 2015.	22
Figura 13. Bahía de Chetumal. Fuente: http://etzna.uacam.mx/epomex/pdf/mancos/cap38.pdf	23
Figura 14. Área de estudio, zona conurbada de la Bahía de Chetumal, sitios de monitoreo.	24
Figura 15. Microscopio marca “Axiostar plus”.	25
Figura 16. Utensilios auxiliares.	25
Figura 17. Nanoplásticos localizados en tejidos vegetales. Fuente: Densis García.	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sitios de muestreo.	28
Tabla 2. Promedios de microplásticos identificados a lo largo de las temporadas secas, nortes y lluvias 2015-2016	31
Tabla 3. Composición en porcentaje de polímeros que se reportaron durante las temporadas 2015-2016.	33
Tabla 4. Concentración de registro de mesoplásticos por temporadas en dos unidades de medida.	35
Tabla 5. Concentración de registro de macroplásticos por temporadas en dos unidades de medida.	35
Tabla 6. Promedios de las 3 temporadas de las clasificaciones de residuos plásticos por unidad de medida para cada sitio de monitoreo.	36
Tabla 7. Clasificación de los sitios más contaminados con mayor concentración de residuos plásticos por unidades.	36
Tabla 8. Lista parcial de infecciones humanas en las que están involucrados biofilms bacterianos	42

RESUMEN

El incremento de los residuos plásticos ha creado un grave problema ambiental a nivel global. Diversos factores como la foto degradación y propiedades del agua de mar han generado sobre objetos de plásticos como; bolsas, artículos domésticos, artículos de pesca abandonados o perdidos, una acción directa provocando su fragmentación en partículas más pequeñas. Siendo las causas principales su persistencia y su fragmentación, lo que genera que las pequeñas partículas se acumulan en los fondos marinos y en otros casos que floten en los océanos. Los microplásticos se definen como partículas de plástico que van de 0.3 a 5 mm, que se encuentran presentes en mares, playas, estuarios y en el fondo marino. Los objetivos de este trabajo estuvieron enfocados en identificar la presencia de microplásticos y en determinar la concentración de ellos en montículos de arena ubicados en 6 puntos a lo largo de la zona conurbada de la Bahía de Chetumal, mediante análisis granulométrico. Las zonas costeras de la Bahía de Chetumal situadas en el sureste mexicano no están exentas de este tipo de contaminantes, a pesar de ser parte del Área Natural Protegida declarada como zona sujeta a conservación ecológica “Santuario del Manatí “. Debido a los riesgos a los que puede exponerse la fauna marina presente en la zona, este tipo de estudios cobran relevancia.

Palabras clave: *Microplásticos, contaminación de playas, Bahía de Chetumal, residuos sólidos.*

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Los plásticos son polímeros orgánicos sintéticos que se derivan de la polimerización de monómeros extraídos del petróleo (M. Cole et al., 2011). La producción mundial de plásticos va en aumento de 1,5 millones de toneladas en 1950 hasta 230 a 245 millones de toneladas métricas para el 2009. Es indiscutible la cantidad de plásticos que se introducen en el ambiente marino, en especial, en las regiones en donde su gestión es ineficiente para la actual producción de plásticos, a estos materiales sólidos vertidos, se les denominan basura marina (Allsopp et al., 2007). Agregando a lo anterior, la basura marina en los océanos es cuantificable, sin embargo, los micro fragmentos que están presentes en ellos, muchos lo atribuyen como un proceso en el que es difícil influir. La evidencia presentada en la ocurrencia global, incluyendo la acumulación en las áreas fuera de la jurisdicción nacional, en la persistencia, en fuentes que son transfronterizas, movimientos e impactos sobre la biodiversidad marina y ecosistemas, componen datos emergentes en impactos potenciales y su destino lo hace un caso enérgico para considerar los desechos marinos como un problema globalmente ambiental (STAP, 2011). Hoy en día se les atribuye a muchos productos plásticos el prefijo bio, sin embargo, la mayoría no son concretamente biodegradables. Los productos denominados “bio-plásticos” deben proceder de recursos renovables. Para poder considerarse “biodegradable”, un material debe descomponerse en sus partes constituyentes; CO₂, H₂O, compuestos inorgánicos y biomasa, por la acción de organismos vivos en condiciones específicas. Estas condiciones pueden darse en las plantas de compostaje industrial, pero no en el océano, por lo que muchos plásticos aparentemente biodegradables no se descomponen en el océano antes que los demás plásticos (GreenFacts, 2015), incluyendo a esto que, aún no se sabe exactamente el tiempo de la degradación de los plásticos en el mar. Según la literatura, la degradación por atenuación natural puede prolongarse, dependiendo del entorno en el que se encuentre un residuo plástico, a comparación con el de los residuos orgánicos que aproximadamente va de 3 a 4 semanas, o del de telas de algodón que va de 4 a 5 meses. Aun así, la “degradación”

de los plásticos solo nos generará partículas aún más pequeñas que, a pesar de que algunas no son evidentes, se acumulan en los ecosistemas marinos y es posible que sean capaces de transportar tanto sustancias ecotoxicológicas, como organismos pequeños a nuevos hábitats (Segura et al., 2007).

El traslado en los océanos y mares de los micro fragmentos de plásticos, supone a las corrientes oceánicas como principales vías de influencia, así como la fricción del viento sobre las moléculas superficiales y los gradientes de las corrientes que determinan la diferencia de densidades, manteniendo los plásticos menos densos en la superficie y dejando perecer los de mayor densidad. En México, se estimó un consumo anual de plástico de 49 kg por habitante en el 2005, de los cuales más de un millón de toneladas se convirtieron en desecho (Segura et al., 2007).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Podría ser muy desmesurado afirmar que los hábitats marinos en todo el mundo están contaminados con desechos de origen humano, sin embargo, existen reportes de hallarlos en ambientes a cientos de kilómetros del centro de población más cercano, de los cuales, los artículos de plástico representan tenazmente las principales categorías de desechos marinos (STAP, 2011). La concentración de residuos plásticos en el ambiente marino es considerada una problemática emergente debido al incremento global de producción de plásticos y la continuación impropia de la disposición final de los mismos. Diversos estudios recientes hacen mención de la presencia de micro fragmentos plásticos, los cuales son productos de la fragmentación de plásticos (cracking) expuestos bajo la influencia de las propiedades oxidativas de la atmósfera, las propiedades hidrolíticas del mar y la radiación solar (foto degradación), la cual, como factor principal, agrieta las superficies penetrando al interior de la estructura plástica, desde un par hasta cien micras de profundidad (Allsopp et al., 2007; GESAMP, 2015). Estos microplásticos van de un diámetro de entre 0.3 a 5 mm, de modo que, identificando la presencia de microplásticos es infalible la presencia de los mesoplásticos, los cuales van de 5 a 25 mm, y de los macropásticos, de 25 mm en adelante

(Lee et al., 2013). Tanto los plásticos derivados del hidrocarburo, como los derivados de la biomasa, pueden estar sujetos a la fragmentación cuando se exponen, por consiguiente, la generación de microplásticos secundarios es cuestión de tiempo (Fig. 1). También existe la posibilidad del plástico para descomponerse en partículas de tamaño nanométricas que todavía puede ser demasiado grande para biodegradarse en realidad (Andrady, 2011 citado en STAP, 2011). Existen microplásticos que son fabricados para aplicaciones específicas, tales como depuradores industriales o productos de limpieza personal, como la pasta dental y cosméticos. Dichos fragmentos de plásticos han sido presenciados en corrientes marinas y océanos en diversas partes del mundo (Thompson, 2015), incluso se han encontrado en arena de playas y estuarios, en especial micro fragmentos de acrílico, polipropileno (PP), polietileno (PE), poliamida (nylon), poliéster, entre otros. Sus orígenes infieren dos tipos de fuentes, las marinas y las terrestres. Entre las principales fuentes marinas destacan; el transporte marítimo (residuos plásticos de cruceros y embarcaciones pesqueras que se arrojan accidental o deliberadamente), artes de pesca abandonados (tales como redes y boyas) y plataformas mar adentro (petrolíferas y de gas), mientras que en las fuentes terrestres sobresalen; vertederos ilegales, sitios industriales, turismo negligente (residuos plásticos de bañistas, colillas de cigarro y juguetes rotos de plástico) y los centros de población, incluyendo los no costeros, ya que de los cuales, por medio de la transportación por ríos u escorrentías vierten indirectamente basura al mar, lo que representa un factor que incrementa la densidad de desechos en los ambientes marinos.

Los riesgos ecológicos que plantean los microplásticos para los organismos marinos son un área emergente para la investigación científica, por lo que diversos autores, los sugieren como vectores de contaminación para la biota marina debido a diferentes factores de amenaza; como la muerte a una amplia variedad de organismos, la capacidad de transporte de productos químicos potencialmente dañinos y especies invasivas, así como la posible amenaza para la salud humana por medio de la biomagnificación¹ (STAP, 2011; Thompson, 2015; H-A Leslie et al., 2011).

¹ Transferencia de uno o varios agentes contaminantes a través de la dieta en organismos, permaneciendo mayor concentración del agente contaminante en el organismo que el alimento o fuente del mismo.

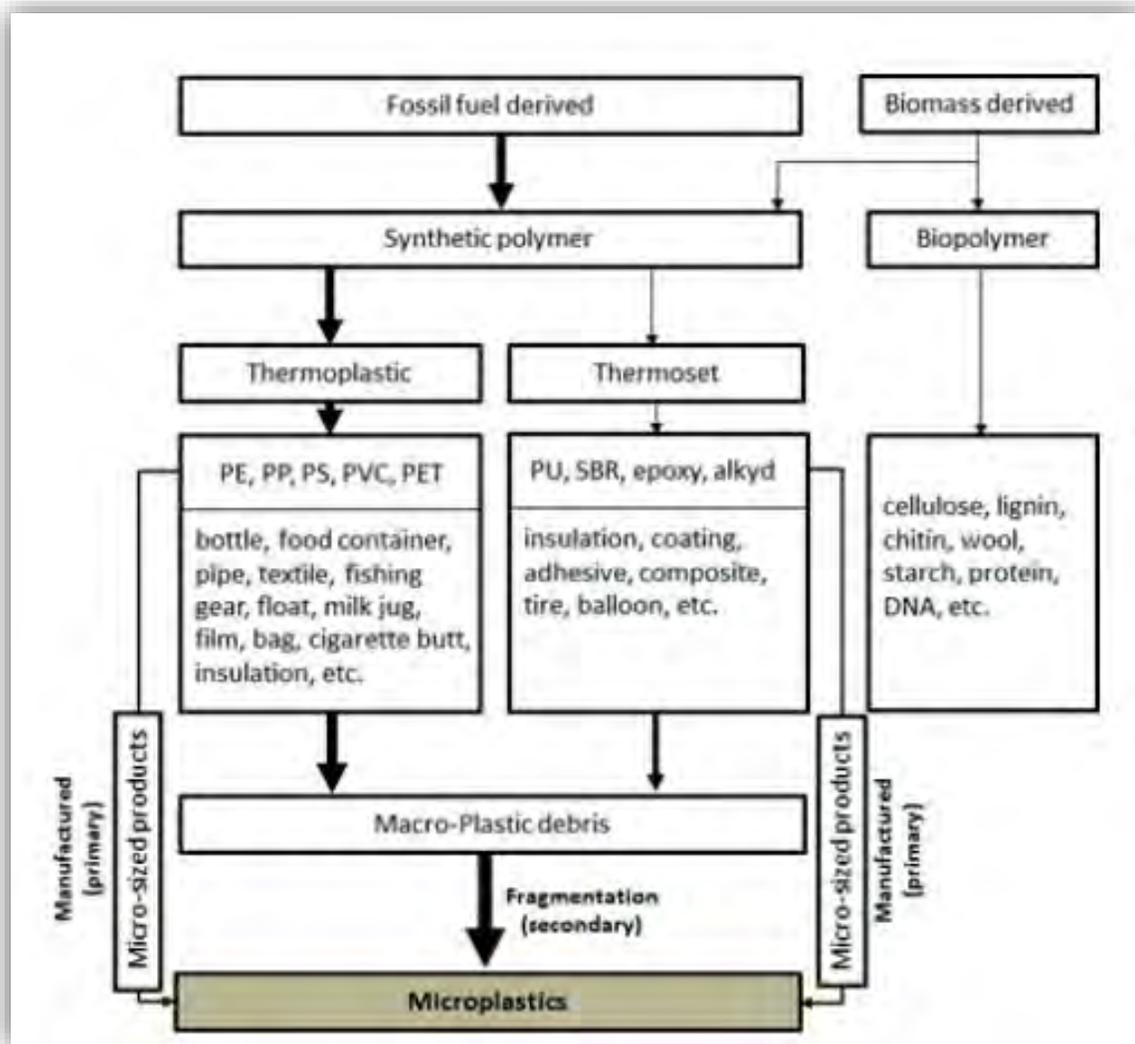


Figura 1. Producción de polímeros artificiales (plástico) y naturales más comunes. Fuente: GESAMP Reports & studies No. 90- Microplásticos in the Ocean, 2015.

Además de tener consecuencias para la biodiversidad y los posibles efectos indirectos sobre bienes y servicios de los ecosistemas, los desechos marinos tienen impactos económicos negativos directos sobre muchos países costeros e islas, de los cuales muchos son países en desarrollo y con economías en transición (Kershaw et al. 2011 citado en STAP, 2011).

CAPÍTULO II. ANTECEDENTES

MARCO TEÓRICO

IMPACTO AMBIENTAL

Las corrientes marinas son movimientos de aguas oceánicas producidas por la acción combinada del viento, las mareas y la densidad del agua, las que a su vez, están influenciadas por las variaciones de temperatura de las masas de agua de diversas latitudes (CONAMA, 2016), así como por la fuerza de Coriolis, por esta razón, las corrientes coinciden en dirección con los vientos planetarios, los vientos alisios y contralisios (Lois et al., s.f.). Se sabe que las corrientes marinas (Fig. 2) son precursoras del arrastre de moléculas superficiales por acción del viento, y por rozamiento las partículas más profundas, por lo que se les atribuye ser las principales vías para acarrear consigo materiales plásticos con densidades iguales o menores a la del agua de mar.

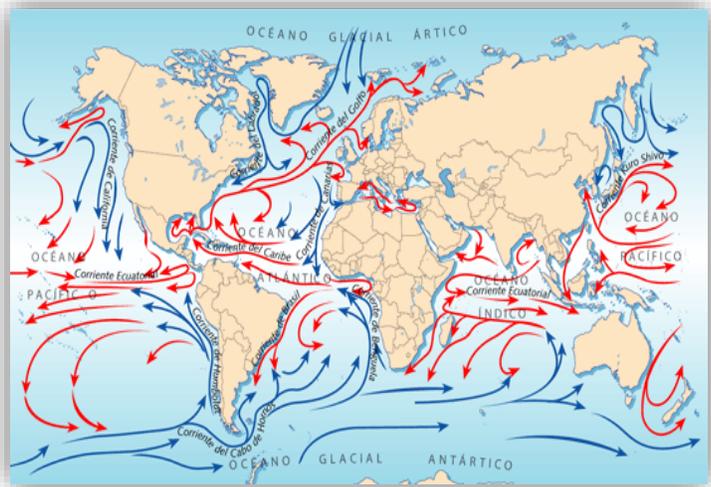


Figura 2. Corrientes marinas, frías y cálidas. Fuente: (Lois et al., s.f.) http://www.educ.ar/dinamico/UnidadHtml__get__fc4c8076-c83d-11e0-8393-e7f760fda940/index.htm

Los desechos plásticos pueden estar presentes desde zonas costeras continentales hasta en las islas oceánicas más alejadas de la fuente. Por otro lado, existen diversas investigaciones y reportes de haber una inmensa cantidad de microplásticos en los mares, Segura et al. (2007), mencionan una abundancia de 3 a 5 kg/km², inclusive registros de hasta 30 kg/km². Las simulaciones de los modelos sugieren que los restos pueden permanecer en las corrientes oceánicas y en los giros por muchos años, pero esto no tiene en cuenta ningún otro proceso o cambios en las propiedades de las partículas plásticas. Un reciente estudio presentó datos sobre la acumulación de plástico en el Atlántico Norte y el Caribe 1986-2008

(Law et al., 2010 citado en PNUMA, 2011), las concentraciones más elevadas, mayores a 200,000 ítems por Km², se produjeron en las zonas de convergencia según lo predicho por el modelo utilizado, no obstante, no hubo un aumento significativo en la concentración durante este período de 22 años (PNUMA, 2011).

Actualmente, el medio marino sufre un considerable grado de contaminación como consecuencia de los residuos plásticos que aparecen flotando en los océanos de todo el mundo, desde las regiones polares hasta el Ecuador. El lecho marino, especialmente cerca de las regiones costeras, también está contaminado, en especial con bolsas de basura (Allsopp et al., 2007). Los plásticos están presentes desde las regiones más pobladas hasta las costas de islas remotas y deshabitadas (Allsopp et al., 2007; STAP, 2011), incluyendo a esto, que las cualidades que convierten a los plásticos en materiales tan útiles, estables y muy resistentes, son las que los hacen muy problemáticos una vez cumplida su función, ya que permanecen en el medio ambiente, con una prolongada degradación y sin la intervención de procesos mediante mecanismos naturales, en especial, cuando se generan biopelículas² (biofilms) en las superficies de estos, lo que obstaculiza el proceso de foto degradación. La evidencia de los efectos nocivos de plástico sobre la vida silvestre se limita principalmente a las observaciones de los especímenes que se hayan visto involucrados o hayan

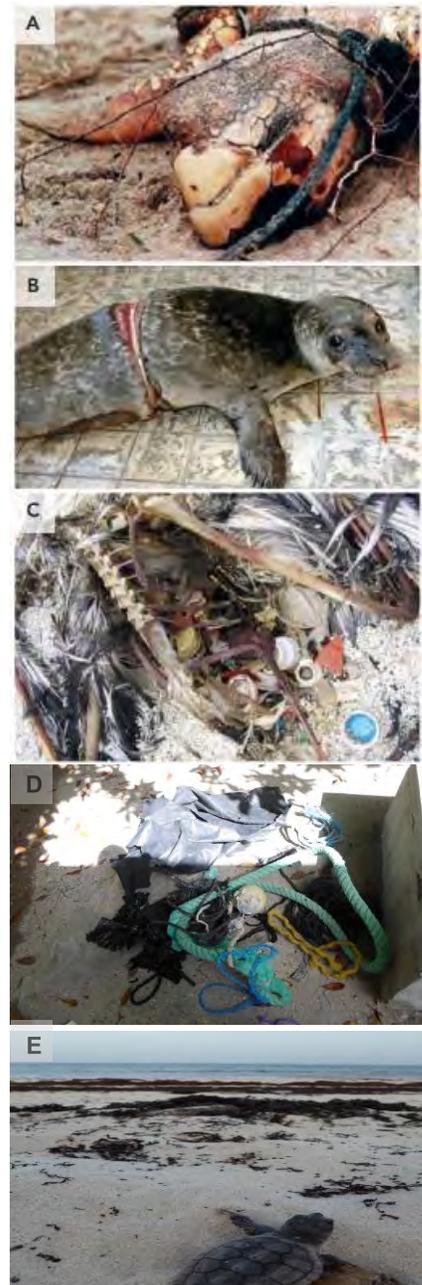


Figura 3. Biota afectada por plásticos. A) tortuga del Caribe enredada B) Mamífero marino enredado en Reino Unido C) Albatros de Laysan en "Kure atoll". Fuente: (STAP, 2011). D) Artes de pesca abandonados y E) Cría de tortuga verde en neonato en Santuario de la tortuga marina Xcabel-Xcabelito, Fuente: Densís A. García.

² Comunidades de microorganismos que crecen embebidos en una matriz de exopolisacáridos y adheridos a una superficie inerte o un tejido vivo, los cuales pueden causar una variedad de infecciones en seres humanos.

ingerido desechos plásticos. Se han planteado preocupaciones acerca de las consecuencias potenciales para los impactos a nivel de los ecosistemas y los bienes y servicios de los ecosistemas, sin embargo, se sabe poco sobre los efectos a gran escala de la contaminación plástica (STAP, 2011), es por ello que los riesgos potenciales para la salud humana y ecológica de microplásticos sean una nueva área para la investigación científica.

INGESTIÓN Y ENREDAMIENTO DE POR BASURA MARINA

La ingestión se produce principalmente al confundir los residuos plásticos con presas. Se ha demostrado por medio de análisis de moldes, disección del tracto intestinal y técnicas histológicas, la presencia de plásticos y microplásticos en organismos por la ingestión directa e indirecta de estos residuos (Thompson et al., 200; Segura et al., 2007).

La Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés), es el producto de una iniciativa mundial dirigida por la IUCN y asociados, en el que se encuentran un conjunto de datos actuales sobre la evaluación integral del estado de conservación de 5, 488 especies de mamíferos (IUCN I. U., 2015), de los cuales un alto porcentaje se han enredado o han ingerido residuos plásticos (STAP, 2011) (Fig. 3). Diversos autores externan que en sus muestras de organismos marinos encontrados habían ingerido basura, siendo principalmente el plástico el material ingerido.

A este efecto se le atribuye como principal responsable, de una forma u otra, en más de 660 especies marinas en todo el mundo, entre las que se destacan aves, tortugas, mamíferos marinos y peces, que incluso las consecuencias llegan hasta la dramática muerte. En las ballenas, tortugas e incluso tiburones, el enredo por artes de pesca pueden posicionarlos en dos situaciones, en una de ellas, su fuerza y gran tamaño, les permite seguir con su traslado de un lugar a otro con el arrastre de las redes y por el otro lado, estas se encuentran tan enredadas que pueden provocar la incapacidad de alimentarse adecuadamente del animal y por inanición, pueden llegar a morir.

Los artículos de pesca, normalmente abandonados, encabezan los materiales de basura marina extraída de fondos marinos (Fig. 3D). Las artes de pesca, tales como redes, sogas, sedales y anzuelos, que suelen ser abandonados generan un impacto adverso en los arrecifes de coral, ya que estos pueden quedarse enganchados en ellos (NOAA, 2005). Cuando estos artículos quedan libres, pueden sucesivamente repetir el ciclo por varias ocasiones, hasta que se extrae la basura o se hunde junto con trozos de coral (NOAA N.I., 2005; Allsopp et al., 2007). La NOAA ha capacitado buzos en los conocimientos especializados conducidos en estudios del agua y para remover las artes de pesca enredados en los arrecifes y del fondo marino, de este modo, se podrá reducir al mínimo el daño antropogénico (Fig. 4).



Figura 4. Bolsas de aire, método eficaz para retirar del fondo de mar toneladas de artículos de pesca. Fuente: (PIFSC & NOAA, 2011). Foto: NOAA.

De igual modo, entre los residuos plásticos reportados, tanto en el lecho marino como en zonas costeras, principalmente se encuentran; fragmentos o residuos de polipropileno (PP), polietileno (PE), poliestireno (PS), Acrílico (AC), tereftalato de polietileno (PET), y poliamida (PA) (PNUMA, 2011). En ensayos de laboratorio realizados, según Segura et al. (2007), aún no se han observado efectos adversos significativos de la ingestión y la translocación de microplásticos. Por otro lado, se sabe que la ingestión y el enredo pueden incluso perturbar el comportamiento de los organismos intermareales, los cuales coexiste en su naturaleza el traslado a través de las corrientes marinas, aunado a esto, la presencia de desechos plásticos que pudiesen llegar a las playas y, junto con el sargazo, pueden afectar negativamente a la capacidad de las crías de tortuga en su traslado hacia la orilla, provocando desvío, enredo y/o ahogamiento induciendo a la muerte (Fig. 3E).

EFFECTOS TOXICOLÓGICOS

La presencia de residuos plásticos en el ambiente marino plantea preocupaciones de toxicidad, ya que se conocen plásticos para contener y/o adsorber altas concentraciones de contaminantes (Claessens et al., 2013). La influencia que pueden tener los microplásticos como transporte, es un aspecto importante, ya que se habla de la disponibilidad de contaminantes denominados compuestos orgánicos persistentes (COPs), los cuales se conocen por ser bioacumulables y tóxicos, afectando de esta manera los mares y a la biota marina a partir de la lixiviación de sus químicos proporcionados para obtener sus propiedades plásticas, incluyendo a esto, el potencial de los COPs para ser transferidos tanto en la fauna silvestre como a los seres humanos por cadenas alimenticias. (Thompson et al., 2005; Thompson et al., 2009; Gouin T. et al., 2011; Allsopp et al., 2011; Claessens et al., 2013).



Figura 5. Mamífero marino propenso a bioacumulación de COPs en la Bahía de Chetumal.

Un caso análogo a esto, es la absorción de COPs en los “pellets” de plástico lo que ha sido sugerido como una explicación posible de los niveles elevados de sustancias químicas tóxicas conocidas como dibenzo-*p*-dioxinas policlorados (DDPCs), dibenzofuranos policlorados (DFPC) y bifenilos policlorados coplanares (BPC) detectados en el albatros de las áreas remotas del Océano Pacífico y en otras aves marinas (Tanabe et al. 2004; Ryan et al 1988 y Takada et al 2006 citados en Leslie et al., 2011).

Aunado a esto, se ha demostrado que entre los compuestos tóxicos que se acumulan en residuos plásticos y pellets se incluyen los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), los bifenilos policlorados (BPCs) y BPC coplanares, los cuales tienen toxicidad sensiblemente mayor que la de los BPC, las dibenzodioxinas policloradas (DDPC), dibenzo furanos policlorados (DFPCs), el dicloro difenil dicloroetano (DDE), el dicloro difenil tricloroetano (DDT) y los nonifenoles, que tienen propiedades similares, en especial, son moléculas

hidrofóbicas por lo que tienen cierta afinidad a los lípidos, por lo tanto hace que se adhieran a los residuos plásticos, y que posteriormente, al ser ingeridos se bioacumulan en el cuerpo graso de los mamíferos marinos (Fig. 5), (Thompson et al., 2005; Segura et al., 2007; ATSDR, 2009, Frias et al., 2011). No obstante, el Departamento de Salud de Nueva Jersey (2010) y la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (2014) atribuyen al fenol, como compuesto común que acumulan los plásticos y, además, como mutágeno. Sin embargo, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y la Agencia de Protección al Ambiente (EPA) han determinado que el fenol no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad³ en seres humanos, pero no descartan la posibilidad de que podría causar cambios genéticos y puede permanecer durante una semana o más en el agua (ATSDR A. p., 2014). Tales efectos pueden potencialmente surgir de la toxicidad de partículas o toxicidad química (aditivos, monómeros, químicos absorbidos), o ambos. (Leslie et al., 2011). Cabe hacer mención que, en una investigación de Frias et al. (2011) cuantifican concentraciones de HAP, BPC y DDT mediante cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas. De ahí, al analizar sus resultados, asevera que los microplásticos de color negro son los que presentan mayor concentración de COPs. Estudios relevantes de compuestos tóxicos asociados a los microplásticos, nos hacen considerar que la evaluación de los riesgos eco-toxicológicos requiere conocimiento de ambos niveles de exposición, es decir, la cantidad de microplásticos detectado en el medio ambiente, incluso en la biota, y el riesgo, en otras palabras, la toxicidad intrínseca o la capacidad de microplásticos para provocar efectos adversos.

TRANSPORTE DE ESPECIES

Existe la evidencia que plásticos arrojados en las zonas costeras terminan por contaminarse con especies denominadas “no nativas” o “invasoras”, que se adhieren a estos desechos marinos tomándolos como plataformas flotantes, por lo que el traslado de los desechos

³ Capacidad de una sustancia para producir neoplasmas malignos en animales o en el hombre, es decir, cáncer. (BVSDE, 2003)

plásticos hace facilitar el transporte de dichas especies navegando grandes distancias hasta las fronteras de las grandes masas de agua, de otro modo, el encuentro de especies no nativas en regiones a las que no pertenecen sería inverosímil (NOAA_PIFSC, s.f.). Según un informe del Panel Asesor Científico y Técnico (2011), revelan que se han reportado más de 150 especies multicelulares que están asociados con desechos plásticos, siendo la mayoría especies como moluscos bivalvos, gusanos de tubo, briozoos, hidrozoos y algas coralinas. Aunado a esto, se ha demostrado que algunas especies de *Vibrio*⁴ bacterias crecen preferencialmente en las partículas de plástico en el océano, pero se desconoce si los encontrados pueden causar enfermedades (STAP, 2011). Aunado a esto, Lasa Uzcudun (2016), menciona que de los biofilms que pueden generarse en las superficies de los plásticos, lo que podría afectar indirectamente al hombre repercutiendo con una amplia variedad de infecciones derivadas de la diversidad de microbios que pueden conforman estas biopelículas (Anexo 1).

CORRIENTES MARINAS COMO TRANSPORTE DE MICRIPLÁSTICOS

El traslado de continente a continente de microplásticos supone como principal influencia a las corrientes oceánicas, así como la fricción del viento sobre las moléculas superficiales y los gradientes de las corrientes que determinan la diferencia de densidades. Las corrientes oceánicas son superficiales y de poca intensidad, las cuales coinciden en dirección con los vientos planetarios, los vientos alisios y contralisios (Lois et al., s.f.), con dirección no muy constante durante el año (Canul Ku, 2011). Los vientos es el factor principal generador de oleaje y con efectos permanentes en la costa, operando por efecto del arrastre de las moléculas superficiales, en las que podremos encontrar residuos plásticos, los cuales, por rozamiento actúan sobre partículas plásticas más profundas, según sea la intensidad y persistencia del viento, será el arrastre de las partículas superficiales que traigan las corrientes consigo. Las temperaturas generan corrientes cálidas y corrientes frías, con una

⁴ Género de bacterias Gram negativas con forma de bacilos curvados, de este grupo destaca la bacteria *Vibrio cholera*, bacteria que provoca el cólera en humanos.

variación de densidades que sobreponen dichas corrientes, siendo las corrientes frías las menos densas (Lois et al., s.f.), ver figura 6.

En el fondo de las grandes cuencas oceánicas del atlántico y del pacífico, las corrientes frías, se mueven acompañando el movimiento de rotación de la tierra, siendo las principales corrientes la de Canarias, la de Benguela, la Humboldt y la corriente de California (Anexo 2). Sin embargo, en las proximidades de los continentes, el talud continental produce el ascenso de las masas de agua provocando surgencias de aguas frías, que genera una corriente superficial que posteriormente disminuirá su temperatura generando las corrientes cálidas (Anexo 3), generando principalmente la Ecuatorial, la de Kuroshio y la del Golfo.

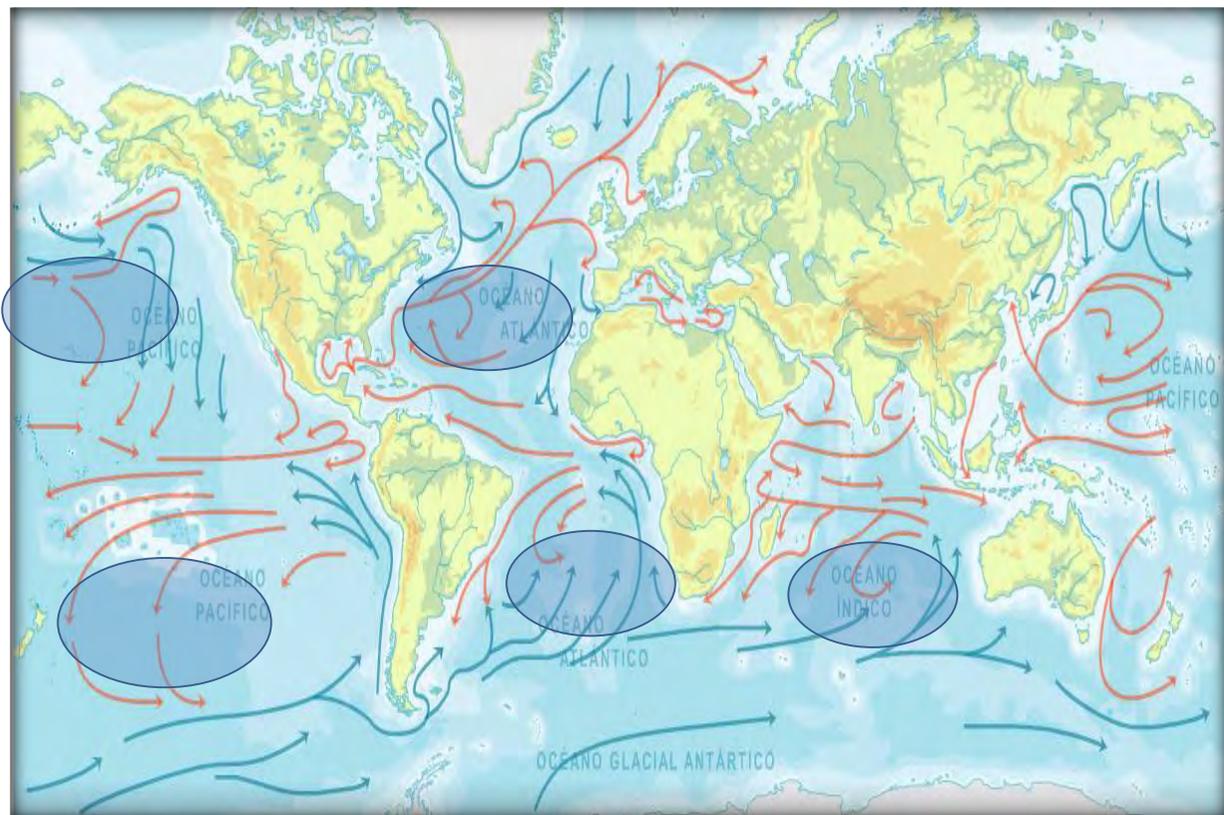


Figura 6. Corrientes marinas del mundo. Fuente: http://www.educ.ar/dinamico/UnidadHtml__get_fc4c8076-c83d-11e0-8393-e7f760fda940/index.html

OCEÁNOS DE BASURA

En este conjunto de sistemas de corrientes marinas u oceánicas, tienen sus límites en 5 principales partes de los océanos, estos sitios son denominados como zonas de surgencias, las cuales traen consigo todo lo que han arrastrado, entre nutrientes, especies transfronterizas, así como basura marina, por ello, es un factor que ayuda a crear el escenario perfecto para la formación de remolinos o giros, en donde permanecen fragmentos de plásticos flotando a la deriva, que generalmente se le denomina “Parches o islas de basura” (Fig. 7), las cuales coinciden plenamente con una correlación directa en las zonas de surgencias (Elipses azules en fig. 6) en donde el cambio de densidades y los vientos, juega un papel importante en la retención de estos microplásticos dentro de los giros, permaneciendo en un centro tranquilo y estable (Turgeon & Sue, 2014), por lo que es de esperarse que el fondo marino de las islas de basura pueden encontrarse un gran número de items de basura marina.

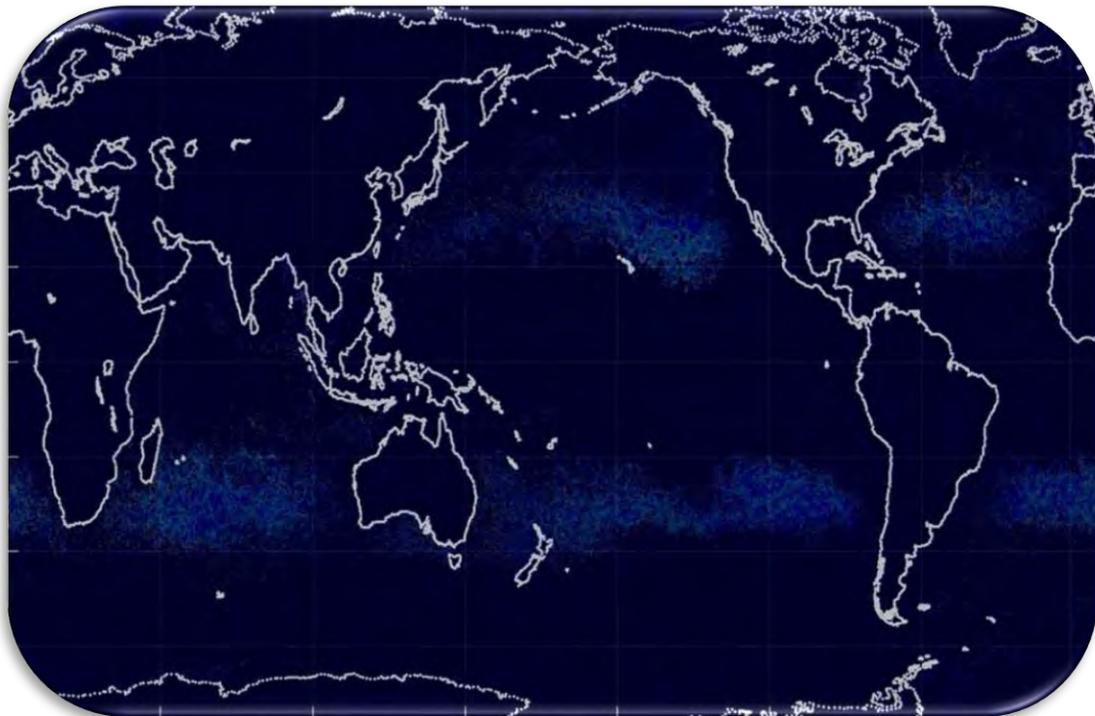


Figura 7. Islas de Basura en los Océanos del mundo. Fuente: <http://www.theoceancleanup.com/updates/show/item/a-deep-dive-into-plastic-flow-modeling/>

ANTECEDENTES

La basura marina es un grave problema medioambiental que afecta a los ecosistemas costeros y oceánicos de todo el planeta, es por eso que ha despertado ya el interés de muchos investigadores, ya que las consecuencias han sido muy evidentes con la acumulación de microplásticos hasta en las regiones más remotas de los océanos.

En la figura 8, se observa el incremento de la producción de plástico a nivel mundial, durante el periodo de 1950 al 2010, debido a que el desarrollo tecnológico más importante en los plásticos transcurrió a partir de la primera mitad del siglo 20. En 60 años, la producción ha crecido de manera masiva a nivel mundial, por si fuera poco, Europa es el continente de mayor aportación en cuanto a producción, con aproximadamente el 24 % de la producción mundial para el 2009, fecha en la que se presencié una recesión

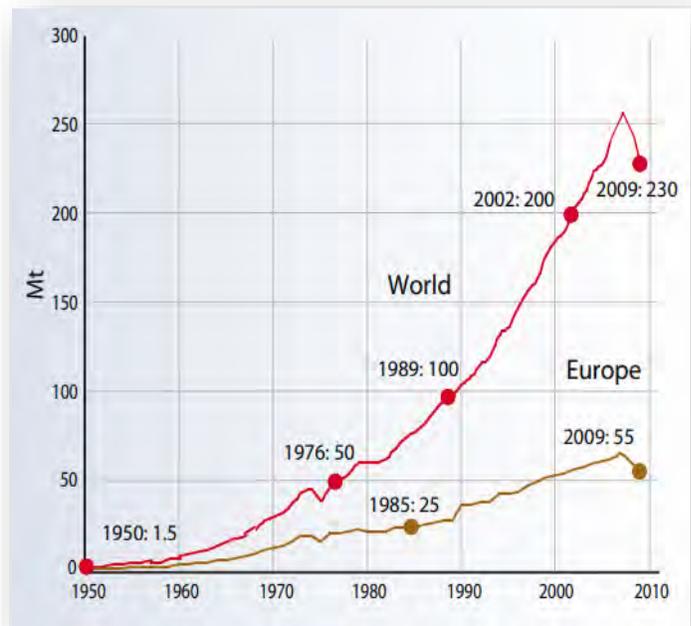


Figura 8. Producción mundial del plástico a través del tiempo.
Fuente: UNEP, 2011

económica, por esta razón, se observa un pico de descenso en este periodo. Conformando los componentes principales de estos datos se encuentran; los termoplásticos, el poliuretano, los termoestables, adhesivos, fibras de PP, entre otros. Investigadores expertos han publicado por la Royal Society Open Science, un estudio en el cual, aclaran que en algunos fondos marinos pueden encontrarse hasta 4 mil millones de fibras microscópicas de plástico, como poliéster, por kilómetro cuadrado. Aunado a esto, otros expertos explican que se puede encontrar concentraciones en los fondos marinos de hasta cuatro veces más alta que en profundidades menores (Ambientum, 2014), complementando lo anterior, en un comunicado de National Geographic (2014), mencionan que oceanógrafos y ecologistas descubrieron

que alrededor del 70% de los desechos marinos se hunden en realidad hasta el fondo oceánico.

Al mismo tiempo en el que se iba generando la colosal producción de plásticos, se desarrollaron distintas etapas históricas en el marco de los plásticos, en las que la presencia de los impactos ambientales, tales como; la acumulación en el ambiente marino, el daño en la vida silvestre y por último las preocupaciones por la salud del hombre, empezaron a moldear el futuro del desarrollo del plástico, así como la regulación legislativa en los mismos (Fig. 9).

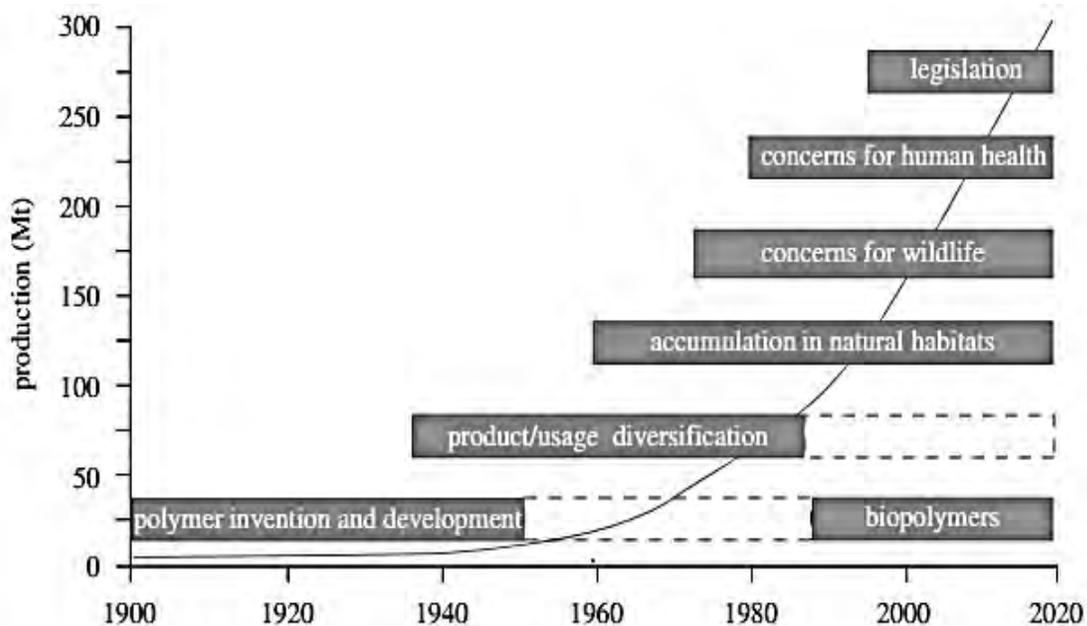


Figura 9. Etapas de desarrollo del plástico, su impacto y gestión. Fuente: (Tompson et al., 2009).

Las investigaciones basadas en métodos de detección actuales han identificado, hasta el momento en Holanda, la contaminación de microplásticos en los sedimentos del Mar del Norte, en alta mar, puertos, playas, en el agua del Mar del Norte (En la superficie y a los 10 m de profundidad) y en la vida marina del Mar del Norte, fulmares del norte, crustáceos, pescado, etc. (Leslie et al., 2011).

Por otro lado, investigaciones de 1979 a 1983 de las islas del noreste de Hawái, informan arrecifes relativamente vírgenes, no obstante, para los estudios de 1996 los arrecifes habían empezado ya, a sufrir daños sustanciales por causas antropogénicas, principalmente por residuos de artes de pesca abandonados. Para el 2012, se reportó la concentración anual y acumulada del total de impresionantes toneladas de artes de pesca (754 ton³ = casi 26 ballenas jorobadas) que fueron removidas (Fig. 10) del fondo marino en las islas del noreste de Hawái (Anexo 4) gracias al Proyecto de Desechos Marinos de la División de Arrecifes de Coral del Ecosistema (CRED, por sus siglas en inglés) del Centro de Ciencias Pesqueras de las Islas del Pacífico (PSFSC, por sus siglas en inglés) en conjunto con la NOAA, organizaciones no gubernamentales y colaboradores claves (PIFSC, s.f.; NOAA,2005; PIFSC & NOAA,2011), en ciertas regiones del protegido Monumento Nacional Marino Papahānaumokuākea, en el que alberga miles de especies marinas, entre ellas aves marinas en peligro de extinción y la foca monje de Hawái (NOAA_PIFSC, s.f.).



Figura 10. Pesos anuales y acumulativos de artes de pesca abandonados removido del fondo marino y arrecifes en las Islas del Noroeste de Hawái a través del PIFSC. Gráfico NOAA por Mark Manuel Fuente: https://pifsc-www.irc.noaa.gov/cred/marine_debris.php

Relacionado al medio marino, los residuos plásticos con densidades mayores al del agua de mar tenderán a hundirse, mientras que los plásticos de menor densidad serán los que encontraremos flotando a la deriva, sin embargo, estos mismos pueden hundirse una vez que un biofilm empieza a crecer en su superficie. Una vez que los plásticos se entierran o

Categorías or clases	Aplicaciones comunes	Densidad específica
Polietileno (PE)	Bolsas de plásticos, anillos de six-pack de cerveza	0.91-0.94
Polipropileno (PP)	Soga, tapas de botella	0.90-0.92
Poliestireno expandido (PS)	Boyas, copas	0.01-1.05
Agua de mar		~ 1.02
Poliestireno (PS)	Utensilios, embalaje	1.04-1.09
Policloruro de vinilo flexible (PVC)	Bolsas, tubos	1.16-1.30
Poliamida o nylon	Soga	1.13-1.15
Poliéterterefalato (PET)	Botellas	1.34-1.39
Resina de poliéster + fibra de vidrio	Textiles	>1.35
Acetato de celulosa	Filtros de cigarro	1.22-1.24

Figura 11. Densidades específicas de los plásticos encontrados en el ambiente marino. Fuente: <http://www.unep.org/yearbook/microplastics.asp>

sumergen, la penetración de la luz UV y la temperatura se reducen en gran media y la degradación resulta mucho más lento (PNUMA P. d., 2014). Un método utilizado para lograr separar los microplásticos de la muestra y la identificación de plásticos es el de la diferencia de densidades, buscando a través de las densidades de los plásticos cuales perecerían y cuales permanecerían a flote (Fig. 11), este método ha sido pionero para la determinación de plásticos siendo utilizado por muchos otros investigadores, sin embargo, está limitado a la densidad de la solución, de la cual serán retiradas las partículas plásticas a obtener.

En muchos sectores han hecho al plástico uno de sus principales materiales para el empaquetado, ya que pueden extender el periodo de vida de productos, y en casos sanitarios, reducen el riesgo de infección. Por otro lado, en diversas partes del mundo, las empresas operan en el marketing el prefijo “bio”, para llamar la atención de la gente y subir sus estándares de calidad como empresas amigables al ambiente, sin embargo, lo que se debe de considerar bajo la correcta denominación de bioplásticos es a los tipos de plásticos provenientes de productos renovables, los sintetizados a partir del maíz, o del aceite de soya, a comparación de los polímeros convencionales como el polietileno, entre otros, que son derivados del petróleo, sintetizados por la industria química (Guerra & Vallejo, 2015). De igual manera sucede con los plásticos reciclables, que generalmente son los denominados termoplásticos, mientras que los plásticos termoestables, a los que se les puede moldear por

modificaciones irreversibles, no lo son. A pesar del origen, todo material tiene un periodo de vida útil, por lo que la aparición de microplásticos en las zonas costeras no es misterioso, sin embargo, los estragos de los microplásticos, incluso de los nanoplásticos, han llegado hasta los tejidos por medio de los sistemas de alimentación por filtración de una variedad de especies clave en la cadena alimenticia marina en todo el mundo, en los que sobresalen el plancton, crustáceos, moluscos y peces. No obstante, en el 2013 publicaron una investigación titulada, “New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms”, en el cual proponen técnicas para la extracción de microplásticos, uno dirigido para muestras, en el recurren al proceso de elutriación y flotación por medio de un baño fluidizado, y otro para los tejidos blandos de ciertos invertebrados (Claessens et al., 2013).

En el 2015, el Grupo Mixto de Expertos sobre los Aspectos Científicos de la Protección de Medio Marino (GESAMP, por sus siglas en inglés) quienes asesoran en la ONU, reportó la frecuencia de diferentes tipos de polímeros encontrados en 42 estudios realizados en ambientes marinos, demostrando que la variedad de plásticos producidos está reflejada en la composición de residuos plásticos recuperados del ambiente marino (Fig. 12). Aunado a esto, ha hecho elevar el número de publicaciones respecto a los microplásticos del 2004 al 2014 (Thompson, 2015) (Anexo 5 y 6).

Polymer type	% studies (n)
Polyethylene (PE)	79 (33)
Polypropylene (PP)	64 (27)
Polystyrene (PS)	40 (17)
Polyamide (nylon) (PA)	17 (7)
Polyester (PES)	10 (4)
Acrylic (AC)	10 (4)
Polyoximethylene (POM)	10 (4)
Polyvinyl alcohol (PVA)	7 (3)
Polyvinyl chloride (PVC)	5 (2)
Poly methylacrylate (PMA)	5 (2)
Polyethylene terephthalate (PET)	2 (1)
Alkyd (AKD)	2 (1)
Polyurethane (PU)	2 (1)

Figura 12. Presencia de residuos plásticos en un total de 42 estudios realizados. Fuente: GESAMP Reports & Studies No. 90. Microplásticos In The Ocean, 2015.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

OBJETIVO GENERAL

Identificar la presencia de microplásticos en la zona costera del Boulevard Bahía la cual forma parte del área natural protegida “Santuario del Manatí”.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la concentración de partículas microplásticas de un rango de medida de 0.3 a 5 mm, experimentando el reporte en # items /Kg y # items /m².
- Recurrir al análisis granulométrico para la determinación de microplásticos.
- Determinar el porcentaje de microplásticos presentes en los sitios de muestreo.

METODOLOGÍA Y MATERIALES

ÁREA DE ESTUDIO

La Bahía de Chetumal, está situada en el extremo sur del Estado de Quintana Roo, al Sureste de la península de Yucatán. Está limitada por los paralelos 18° 21” y 18° 52” N y los meridianos 87° 54” y 88° 23” de longitud Oeste. Es una zona fronteriza entre México y Belice que tiene conexión con el Río y se comunican con el mar Caribe, pasando a través de varios cayos al sur del estado (Fig. 13).

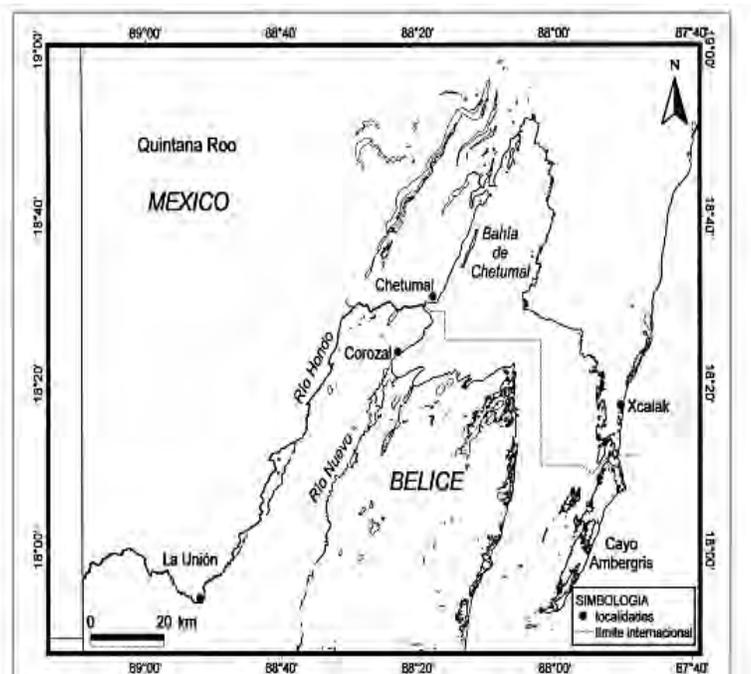


Figura 13. Bahía de Chetumal. Fuente: <http://etzna.uacam.mx/epomex/pdf/mancos/cap38.pdf>

Los puntos de muestreo que fueron tomados en cuenta (Fig. 14), se consideraron a partir de la búsqueda de montículos de arena en el Boulevard Bahía a lo largo de la ciudad de Chetumal. Los puntos de norte a sur comprenden las zonas de;

1. Muelle de la Universidad de Quintana Roo (UQROO).
2. Balneario “Dos mulas”.
3. Jardín Boulevard Bahía.
4. Frente al faro de Chetumal.
5. Restaurante “Pepe’s Drink”.
6. Muelle fiscal.

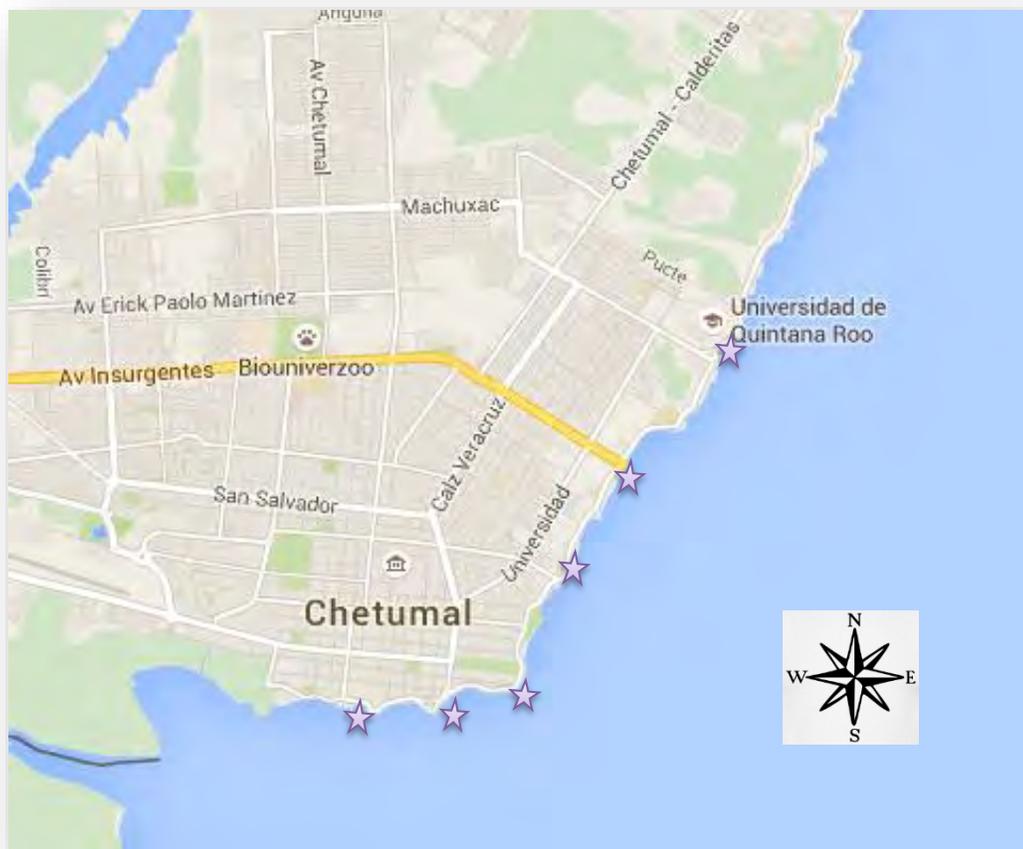


Figura 14. Área de estudio, zona conurbada de la Bahía de Chetumal, sitios de monitoreo.

MATERIALES

- Muestras de 500 gr.
- Balanza analítica.
- Cribas de diámetro 2.5, 1 y 0.5 mm
- Vasos de precipitado de 500 ml.
- Pala pequeña.
- 2 Pinzas.
- Cajas Petri.
- Regla.
- Lentes protectores
- Gotero
- Portaobjetos
- Cubre objetos
- Bolsas aislantes Ziploc
- Microscopio marca “Axiostar plus”.
- Horno de secado



Figura 15. Microscopio marca “Axiostar plus”.



Figura 16. Utensilios auxiliares.

RECOLECCIÓN DE MUESTRAS Y SECADO

Para la recolección de muestras en campo, se consideraron circunferencias de 30 cm de diámetro para la extracción de arena, asimismo, con el objetivo de recolectar los plásticos de la superficie de la arena, se tomaron aproximadamente 3 cm de profundidad. Utilizando los días soleados, se dejará reposar las muestras bajo el sol, con la finalidad de obtener la máxima evaporación de humedad posible con la radiación solar, entre las horas óptimas, de 11 de la mañana a 4 de la tarde, posteriormente, se separarán 500 gramos de arena de cada muestra, de cada punto, con ayuda de una balanza analítica (Esq. 1). Para su posterior manejo, las muestras de plásticos se depositarán en vasos de precipitado o bolsas aislantes

Ziploc. Si se requiere, o las condiciones climatológicas no son las apropiadas para el secado solar, las muestras se mantendrán en el horno de temperatura controlada por 2 horas a una temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$. En la forma a emplear, se requerirá de remover la muestra cada 60 minutos, con el fin de evaporar la mayor cantidad de humedad posible.



Esquema 1. Pasos desde la selección del sitio hasta la prueba de tamizado

MÉTODO GRANULOMÉTRICO

Esta es una técnica que trata de estudiar la distribución de fracción comprendidas entre tamaños significativos (diámetros), con propiedades características. Este método puede ser económico, eficiente y fácil de operar (Esq. 2). Posteriormente de la obtención y secado, las muestras se tamizarán por cribas de 25 mm, de 1mm y de 0.5mm, respectivamente, en un tiempo de 2 a 5 minutos aproximadamente. Por último, se procederá a la identificación visual y la separación de los micro, meso y macroplásticos, métodos actuales utilizados para el análisis en muestras ambientales (Leslie et al., 2011).



Esquema 2. Método de análisis granulométrico

TRABAJO DE CAMPO

La salida de campo se realizó a lo largo de la avenida Boulevard Bahía de la ciudad de Chetumal. Se ubicaron los 6 puntos de muestreo, los cuales, se consideró la naturaleza del estudio y las características geográficas y físicas del área. A continuación, se presenta en la tabla 1 las imágenes de los sitios de muestreo.

Tabla 1. Sitios de muestreo

<p>Muelle de la Universidad de Quintana Roo</p>	
<p>Balneario dos mulas</p>	
<p>Jardín Boulevard Bahía</p>	
<p>Frente al faro de Chetumal</p>	

<p>Restaurante Pepe's Drink</p>	
<p>Muelle fiscal</p>	

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Dado que, a partir de las muestras de arena utilizadas para determinar el # items/ m², se extrajeron las muestras para identificar el # items/kg, los resultados fueron procesados a través de diferentes operaciones. Cabe mencionar que los resultados fueron indicados en promedios por sitio de muestreo, a partir de los plásticos encontrados en cada muestra del sitio.

Dependiendo de la unidad expresada, fue la operación a realizar, es decir, para las unidades de “# items/Kg” se utilizaron muestras de 500 gramos, de modo que, los resultados se multiplicaron por 2. Por otro lado, para la determinación de los items/m² del sitio de muestreo,

se tomó en cuenta los residuos plásticos encontrados en las muestras (2 o 3 dependiendo del sitio) de cada punto de muestreo entre el área (A), es decir:

Área de una circunferencia:
$$A = \pi r^2 = \frac{\pi (d)^2}{4}$$

Muestras de 30 cm de diámetro
$$A = \frac{\pi (.30m)^2}{4}$$

$$A = \underline{0.0706 \text{ m}^2}$$

Las temporadas de monitoreo fueron ligeramente apegadas a las temporadas de secas, nortes y lluvias, del periodo 2015-2016. Iniciando en septiembre, para el periodo de sequias, en noviembre y diciembre para la temporada de nortes, y en el mes de abril para el periodo de lluvias. Durante los últimos muestreos, los sitios de monitoreo presentaron algunos cambios, tanto en las muestras microplásticas como en los componentes del medio. La temporada de nortes (segundo muestreo), por ejemplo, manifestó sus conocidas condiciones entre diciembre y enero, de manera retrasada de lo que normalmente se presentan. De igual manera, se presentó una densa capa de vegetación sobre la mayoría de los sitios de muestro. El tercer monitoreo se realizó en abril, ligeramente alcanzando la temporada de lluvias. Al entrar el mes, se registraron lluvias aisladas (entre 0.1 a 25 mm) en periodos cortos menores a 24 horas y al término de este y comienzos de mayo, se registraron lluvias fuertes a muy fuertes (entre 25 a 75 mm) (SMN, 2016). Aunado a esto, la escorrentía de ríos aledaños a la Bahía, pudieron ser partícipes del arrastre de residuos plásticos desde centros urbanos del interior del territorio.

En la tabla 2, podemos observar el registro de la cuantificación en promedios por sitio, de los microplásticos a través de las temporadas por cada sitio de muestreo en las dos unidades de medida señaladas anteriormente, las cuales, tienen coeficientes demasiados distantes debido a los diferentes factores que se consideran para determinar el número de artículos (Items). Ampliando lo anterior, en los sitios de monitoreo se presentaron diversas situaciones.

El muelle de la UQROO y Dos mulas, son sitios detectados como concurridos por bañistas y pescadores principalmente, por lo que se esperaba contar con la abundante presencia en cuanto a residuos plásticos, estos dos sitios se disputaron el sitio más perjudicado por contaminación de micro y meso plásticos (Tabla 2 y 4). El sitio de muestreo “Jardín boulevard” fue el tercer sitio con mayor presencia de plásticos, en especial en la segunda temporada (Gráfico 2), en la cual, se presencié una remoción intensa de una capa vegetal (mangle) en el sitio de monitoreo (Anexo 7), lo que dejó al descubierto el cúmulo de basura, en especial, partículas de PS y PE. Uno de los puntos de muestreo con características peculiares fueron los números 4 y 5, Frente al Faro de Chetumal y el Restaurante Pepe’s Drink, respectivamente, en los cuales la presencia de microplásticos fue casi nula, sin embargo, es muy notoria la presencia de vidrio a lo largo de estas zonas, así como de zonas intermediarias (Anexo 8), la cuantificación de vidrio a partir de las muestras recolectadas llegó a poco más de 480 piezas, entre 0.5mm y 10 cm de largo, en una temporada entre los dos sitios (Anexo 9). Por otro lado, se sabe que el sitio de monitoreo, muelle fiscal, es un punto en el que se descargan de aguas pluviales, sin embargo, es evidente la presencia de contaminantes como; aceites y grasas, detergentes, entre otros posibles contaminantes, por lo que no se descartó la posibilidad de ser un punto esquivito para la presencia de plásticos.

Tabla 2. Promedios de microplásticos identificados a lo largo de las temporadas secas, nortes y lluvias 2015-2016

Concentración de "Microplásticos"						
Puntos de muestreo	Temporada 1		Temporada 2		Temporada 3	
	# items / Kg	# items / m ²	# items / Kg	# items / m ²	# items / Kg	# items / m ²
1.- Muelle UQROO	4	16.8	0	141.6	22	42.4
2- Dos Mulas	16	233	0	14.16	9.3	75.5
3.- J. Boulevard	2	4.72	0	601.2	14	302.17
4.- Faro de Chetumal	2	42.4	0	0	0	0
5.- Rest. Pepe's Drink	0	7.08	0	0	0	0
6.- Muelle fiscal	0	0	3	70.8	0	0

Representado de otra manera, los gráficos 1 y 2, nos externan la comparación de los resultados obtenidos de los microplásticos identificados por temporadas en las unidades de medida kg y m², respectivamente. En la tabla 3, se da a conocer el porcentaje de cada tipo de microplásticos que formaron parte de los datos registrados (Anexo 9.1), lo que hace un aspecto importante para conocer qué tipos de residuos plásticos prevalecen en los montículos de arena. Los residuos de polipropileno (PP) fueron los polímeros más abundantes en las zonas, siguiéndole los polietilenos (PE), de baja y alta densidad, seguido del polietileno expandido (PS) o unicel, y por último las microfibras sintéticas. Cabe hacer mención que, al deducir los porcentajes de la muestra de # items/m², automáticamente está contemplado los desechos plásticos de la unidad por kilogramo.

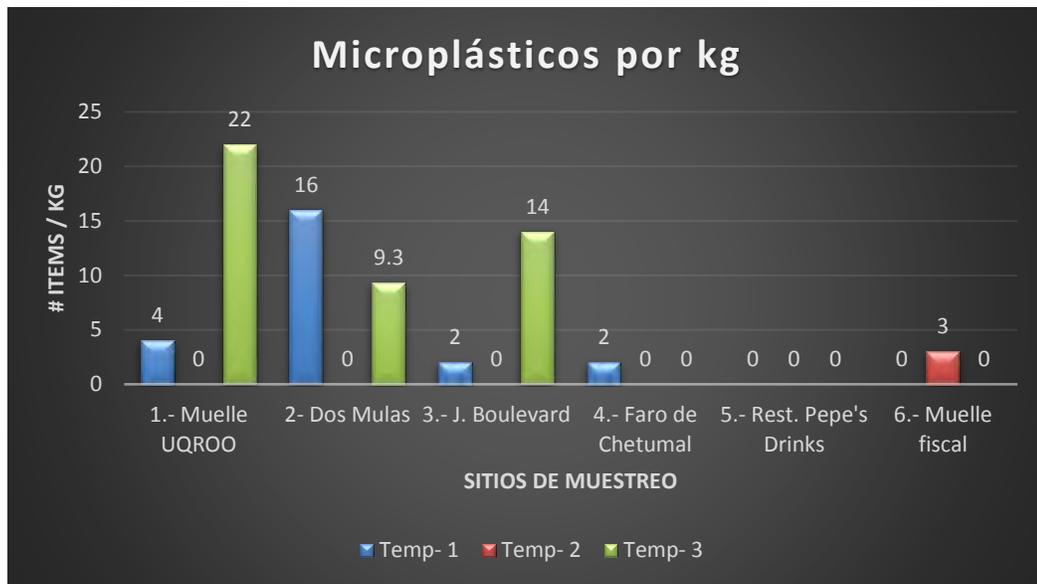


Gráfico 1. Identificación de microplásticos por unidad de peso en 3 temporadas; secas, nortes y lluvias 2015-2016.

La incidencia en la concentración total de residuos plásticos en la temporada 2 (representada en color rojo en el gráfico 1), pudo haber sido repercutido por la densa capa de vegetación encontrada en los sitios de monitoreo (Anexos 10-12).

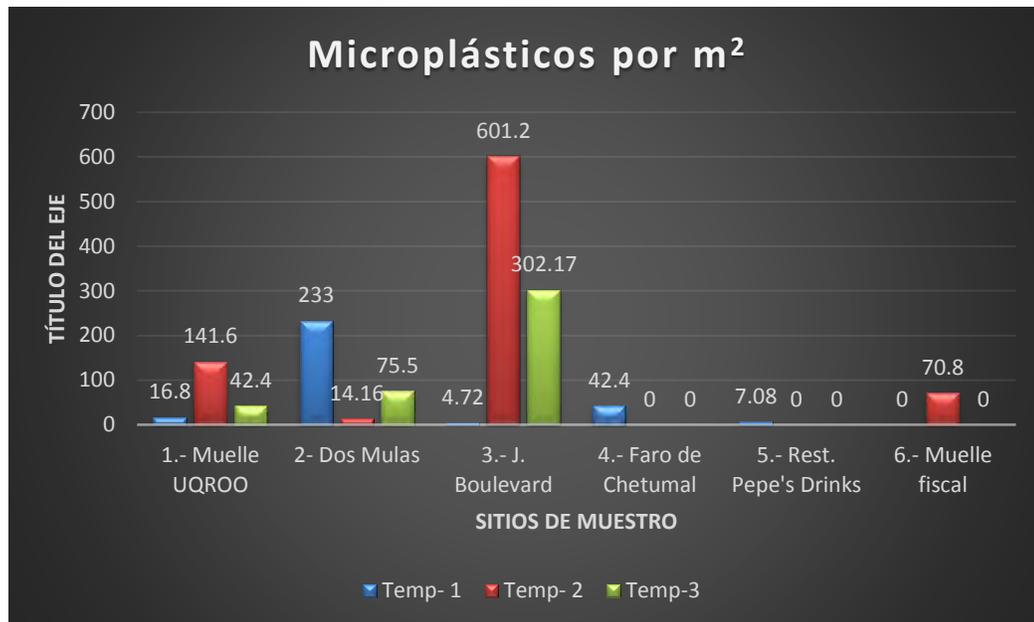


Gráfico 2. Identificación de microplásticos por unidad de área en 3 temporadas; secas, nortes y lluvias 2015-2016.

Tabla 3. Composición en porcentaje de polímeros que se reportaron durante las temporadas 2015-2016.

Porcentajes de "Microplásticos"			
Puntos de muestreo	Temporada 1	Temporada 2	Temporada 3
	# items / m ²	# items / m ²	# items / m ²
1.- Muelle UQROO	100% PP	95% PP 3% PA 1.92% otros	92.8% PP 7.14% PE
2.- Dos Mulas	44.4% PP 27.75% PE 27.75% PS	100% microfibras	43.75% PE 31.25% PS 12.50% PP 6.25% AC 6.25% otros
3.- J. Boulevard	100 % PP	77% microfibras 33.3% PE	87.5% PE 12.5% PS
4.- Faro de Chetumal	55.5% PE 44.4% PP	0%	0%
5.- Rest. Pepe's Drink	100% PE	0%	0%
6.- Muelle fiscal	0%	70% PP 30% PE	0%

PP-Polipropileno, PE-Polietileno, PS-Polietileno expandido, AC-Acrílico, PA-Poliamida.

No obstante, no se descarta la importancia de la cuantificación tanto de los mesoplásticos (Anexo 13,15 y 17) como de los macrolásticos (Anexo 14,16 y18), ya que son los precursores de la generación de los microplásticos al fragmentarse en el ambiente. En el registro de las concentraciones de mesoplásticos (Tabla 4), el muelle de la Universidad de Quintana Roo fue el sitio en el que se presentó mayor concentración, en el caso de las unidades por área (#items/m²), celdas color naranja, observamos que predominó dicho sitio compitiendo contra el balneario Dos Mulas, con una ventaja de dos temporadas (secas y lluvias) de 580 y 1104 items/m² contra 297 y 203 items/m², respectivamente. Aunado a esto el mismo sitio predominó en las mismas temporadas para las unidades de masa (# items/kg). Por el contrario, Pepe's Drink difícilmente se encontró residuos plásticos iguales o diferentes a los registrados en cualquier otro sitio. Los resultados de los macrolásticos fueron concentrados en la tabla 5 y, al igual que los mesoplásticos, en unidades de masa (# items/kg), mostraron cierta inclinación hacia el muelle de la UQROO como el sitio de mayor concentración, esto atribuido por la 2da y 3era temporada, siguiéndole muy de cerca el balneario "Dos Mulas" y Jardín Boulevard. Para las unidades de área (# items/m²), se detectaron durante las 3 temporadas de monitoreo, elevadas cantidades en 3 sitios diferentes, en 354 artículos en el Muelle fiscal, 375 artículos en Dos mulas y 354 artículos en el muelle de la UQROO. A partir de la siguiente tabla, podemos observar que el muelle de la UQROO es el sitio con predominancia de residuos plásticos, obteniendo un total de 784 artículos, principalmente PP. Por el contrario, el sitio de nuestro, restaurante Pepe's Drink, el menos contaminado, con apenas la presencia de macrolásticos en la segunda temporada.

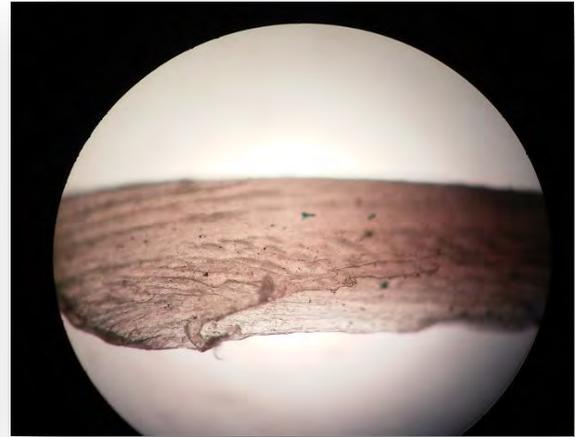


Figura 17. Nanoplásticos localizados en tejidos vegetales. Fuente: Densis García.

Tabla 4. Concentración de registro de mesoplásticos por temporadas en dos unidades de medida.

Puntos de muestreo	Temporada 1		Temporada 2		Temporada 3	
	# items / Kg	# items / m ²	# items / Kg	# items / m ²	# items / Kg	# items / m ²
1.- Muelle UQROO	62	580	0	56.6	124	1104
2- Dos Mulas	20	297	29	332.8	10.6	203
3.- J. Boulevard	0	0	21	233	50.6	982
4.- Faro de Chetumal	2	33	0	23.6	0	0
5.- Rest. Pepe's Drink	0	0	1	21.2	0	0
6.- Muelle fiscal	5	70	29	410	56.6	6

A estas alturas, es significativo recalcar que en diversos estudios han sido detectadas fragmentos plásticos tan pequeñas aproximados a las 2 micras, aunado a esto, en este estudio no se descartó la presencia de dichas piezas, denominadas como nano-fragmentos plásticos, impregnadas dentro de tejidos de vegetación circundante de color negro y verde en su mayoría (Fig. 17).

Tabla 5. Concentración de registro de macrolásticos por temporadas en dos unidades de medida.

Puntos de muestreo	Temporada 1		Temporada 2		Temporada 3	
	# items / Kg	# items / m ²	# items / Kg	# items / m ²	# items / Kg	# items / m ²
1.- Muelle UQROO	20	261.5	12	169.9	28	354
2- Dos Mulas	5	70.8	12	375	12.6	127.4
3.- J. Boulevard	0	0	12	141.6	13.3	231.3
4.- Faro de Chetumal	1	14.16	0	4.7	0	4.72
5.- Rest. Pepe's Drink	0	0	3	28.3	0	0
6.- Muelle fiscal	25	354	11	99.1	8	113.3

En la tabla 6, se expone en una vista panorámica, los promedios de las 3 temporadas de cada sitio de muestreo, para cada categoría de residuo plástico en sus respectivas unidades de medida. La intensidad de contaminación en los 3 sitios más concurrentes por residuos plásticos se representa mediante las degradaciones del color rojo, atribuyéndole al rojo más

fuerte el sitio con mayor presencia de plásticos, el rojo intermedio al segundo sitio y, por lo consiguiente, el color rojo tenue, el tercer sitio mayor contaminación.

Tabla 6. Promedios de las 3 temporadas de las clasificaciones de residuos plásticos por unidad de medida para cada sitio de monitoreo.

Monitoreo de residuos plásticos	"Microplásticos"		"Mesoplásticos"		"Macroplásticos"	
	Promedio		Promedio		Promedio	
	# items / Kg	# items / m ²	# items / Kg	# items / m ²	# items / Kg	# items / m ²
1.- Muelle UQROO	8.7	66.9	62.0	580.2	20.0	261.8
2.- Dos Mulas	8.4	107.6	19.9	277.6	9.9	191.1
3.- J. Boulevard	5.3	302.7	23.9	405	8.4	124.3
4.- Faro de Chetumal	0.7	14.1	0.7	18.9	0.3	7.9
5.- Rest. Pepe's Drink	0.0	2.4	0.3	7.1	1.0	9.4
6.- Muelle fiscal	1.0	23.6	30.2	162.0	14.7	188.8

Como resultado, se expone la tabla 7, nos ayuda a identificar cual fue el sitio de mayor concentración de residuos plásticos en el monitoreo, pudiendo ordenarlos jerárquicamente.

Tabla 7. Clasificación de los sitios más contaminados con mayor concentración de residuos plásticos por unidades.

	# Items / kg	# items / m ²
MAYOR	UQROO (90.7)	UQROO (908.9)
:	Dos Mulas (38.2)	J. Boulevard (576.3)
MENOR	J. Boulevard (37.6)	Dos mulas (831)

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Situaciones como la basura marina, están en mesa de organismos internacionales junto a otros grandes desafíos que mundialmente afectan al medio marino, como el deterioro de hábitats en el polo norte, en los océanos, en los bosques y selvas, el cambio climático, el calentamiento global, el deshielo de los casquetes polares, el aumento del nivel del mar, la acidificación de los mares, la pérdida de los corales por tan sólo 1 grado de temperatura, la pérdida de biodiversidad, entre algunos otros más. Enlistadas una problemática tras otra, las soluciones que se les puedan brindar pueden interactuar de forma sinérgica, con el firme objetivo de conservar los hábitats, la biodiversidad e incluso reducir la dependencia de los recursos no renovables.

El aumento masivo de producción de plásticos ha estado provocando una problemática a nivel global, más del 70% de cada tonelada producida se vuelve en basura marina y en sus consecuencias. Una de las principales causas de la basura marina son los centros de población, sin la correcta disposición final de residuos y sin una cultura ambiental, hace del medio un hábitat insostenible para las generaciones futuras, con efectos inmediatos en la biota marina.

Los efectos adversos que trae consigo la emisión continua de plásticos se ve reflejada en diversos ambientes, como en los arrecifes coralinos que sufren daños sustanciales, principalmente por efectos de las artes de pesca abandonados. Los microplásticos también provocan la inanición aves y mamíferos marinos que al confundir los micro-fragmentos y nano-fragmentos con comida causan una sensación de saciedad. Otro efecto es el transporte de compuestos orgánicos persistentes (COPs) que se adhieren y absorben con facilidad en este tipo de desechos y son transportados por el océano e introducidos en la cadena alimenticia, es así, como los residuos plásticos representaría un riesgo a la salud del ser

humano, dicho de otra manera, los compuestos orgánicos persistentes de origen marino pueden representar la mayor amenaza para la salud un ecosistema y del ser humano. En general, los problemas generados por la contaminación por residuos plásticos se presentan de manera aislada en la mayoría de las ocasiones, sin embargo, para la evaluación de estos riesgos se requiere conocer la cantidad de microplásticos presentes en el ambiente y sus efectos. Por otro lado, genera un grave impacto económico a través de varios sectores; como al sector pesquero, el sector turismo y el sector farmacéutico. Por ejemplo, la ingestión de basura marina por peces, provoca la disminución en número de especies, repercutiendo en la distribución de especies en la pesca e incluso por enredo (la denominada pesca fantasma). Otro ejemplo es la presencia visual de basura marina, lo que desalienta al turista provocando incomodidad (UNEP, MARINE PLASTIC DEBRIS. Global lessons and research to inspire action, 2016) y en muchas ocasiones, el abandono del sitio. Por razones como estas, existe una correlación directa del impacto de la basura marina con la economía, principalmente de la población local.

Los resultados finales de este estudio son comparables con los resultados de algunas otras investigaciones (Anexo 19 y 20). Tenemos un índice de competencia de contaminación menor respecto a basura marina detectada en estudios realizados zonas costeras en Chile, Ecuador, Colombia, Panamá, el área del Mar del Norte en Holanda, así como en estudios realizados en Hawái. Con el presente trabajo de investigación, se respalda el hecho que la zona conurbada de Bahía de Chetumal no está exenta de la contaminación por residuos plásticos y que en esta zona, a pesar de ser rica en biodiversidad marina y ser decretada como un Área Natural Protegida (ANP) en la categoría de zona sujeta a conservación ecológica “Santuario del manatí”, no se cuenta con programas dirigidos a la atención de residuos plásticos, en particular a los micro fragmentos plásticos, debido a que se ignora esta peculiaridad. En contraste con los promedios finales del monitoreo para cada sitio (Demostrados en la tabla 6), corroboramos efectivamente los sitios de mayor concentración de micro-fragmentos plásticos. Ciertamente, el sitio de monitoreo “muelle de la UQROO”, es el punto en el que predominó la concentración de microplásticos en unidades por masa, lo que es peor, también en la concentración de meso y macroplásticos tanto en unidades por

masa como en unidades por área, lo que en un futuro dará pauta a la posible generación de micro-fragmentos en este sitio. Por otro lado, el sitio de monitoreo “Jardín Boulevard”, es el punto en el que predominó la concentración de microplásticos, respecto a unidades por área.

De manera general, y considerando cada categoría (micro, meso y macroplásticos), el muelle de la UQROO fue el sitio que predominó con la mayor presencia de mesoplásticos, seguido de los macroplásticos y por último de los microplásticos, lo cual, lo posiciona en sitio número 1 de mayor concentración de residuos plásticos. El sitio de muestro, balneario “Dos mulas”, se posicionó en el segundo sitio de mayor concentración de residuos plásticos en unidades por masa, compartiéndolo con el sitio de muestro #3 “Jardín boulevard” en unidades por área. Mientras que, para el 3er sitio de mayor concentración, lo comparten, de manera inversa al segundo lugar, el sitio de muestro “Jardín Boulevard” por # items / m², y “Dos mulas” en # items / Kg”. Cabe mencionar que este último sitio, se encontraron varios anillos de six-pack (PP), el cual es una de las principales amenazas antropogénicas de enredo en especies de la biota marina, así como 7 colillas de cigarrillos, de los cuales existe un abanico de sustancias tóxicas que pueden ser diluidas al mar y repercutiendo directamente al medio marino.

Debido a la naturaleza del área de estudio, se puede relacionar distintos factores pudieron haber inferido a la concentración final de los microplásticos en cuestión, en las principales causas destacan que la ciudad de Chetumal es la parte más baja en donde las escorrentías (ríos y raudales), tanto superficiales como subterráneas, se descargan en la bahía y con ellas, todo lo que traigan consigo, en especial en temporada de nortes, por los fuertes vientos y en la temporada de lluvias, por medio del run off. En este contexto es imprescindible mencionar que la proporción de plástico que llega al mar depende de la eficacia de la cadena de reutilización, reciclaje y gestión de residuos, por lo que apunta directamente como responsables de la basura antropogénica a los usuarios locales.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un mayor número de trabajos de investigación relacionados con esta temática, que pueden estudiar los efectos en la fauna y flora marina.

Hasta la fecha no se cuenta con un estudio similar en el área natural protegida “Santuario del Manatí”, lo que hace necesario replicar este tipo de estudios para otras zonas costeras del estado que permitan tener un mejor diagnóstico de la situación para que se considere dentro de las políticas gubernamentales considerando la importancia que tiene Quintana Roo en cuanto a su biodiversidad y actividad turística.

Las acciones emprendidas para abordar el problema de la basura marina comprenden desde cambios en la legislación internacional, como tan locales como sean posibles, en los que se deberán incluir restricciones relacionadas al uso del plástico, como evitar subir a embarcaciones cualquier tipo de polímero que pudiera ser arrojado delibera o accidentalmente.

Promover el uso de los recursos biodegradables (biopolímeros). El desarrollo de biopolímeros (Segura et al., 2007) es una exquisita alternativa para los plásticos persistentes, existe 4 tipos de biopolímeros que a continuación se describen:

- Los semi-degradables: Contienen azúcares unidos a fragmentos cortos de polietileno (PE no degradable).
- Los foto-degradables: Grupos sensibles a la luz UV incorporados en su esqueleto, que permite la desintegración de su estructura.
- Los biodegradables sintéticos: Contiene grupos hidroxilo (-OH), por lo cual lo hace soluble al agua.
- Los completamente naturalmente biodegradables: a base de los polihidroxicanoatos (PHA) y los ácidos poliláctidos (y sus derivados).

La implementación de campañas de prevención, ya que son efectivas para evitar fugas producidas por el mal funcionamiento de la negocios, restaurantes y hoteles que se encuentren aledaños a un cuerpo de agua.

Las operaciones de limpieza de las playas, como opción pionera, ha funcionado en muchos países, con apoyo del gobierno, escuelas e incluso padres de familia, y de esta manera promover información para la sensibilización asociado a los impactos marinos.

La limitación del uso de plásticos sería una excelente manera para llegar a reducir las extremas cantidades de basura plástica que llegan a los océanos marinos.

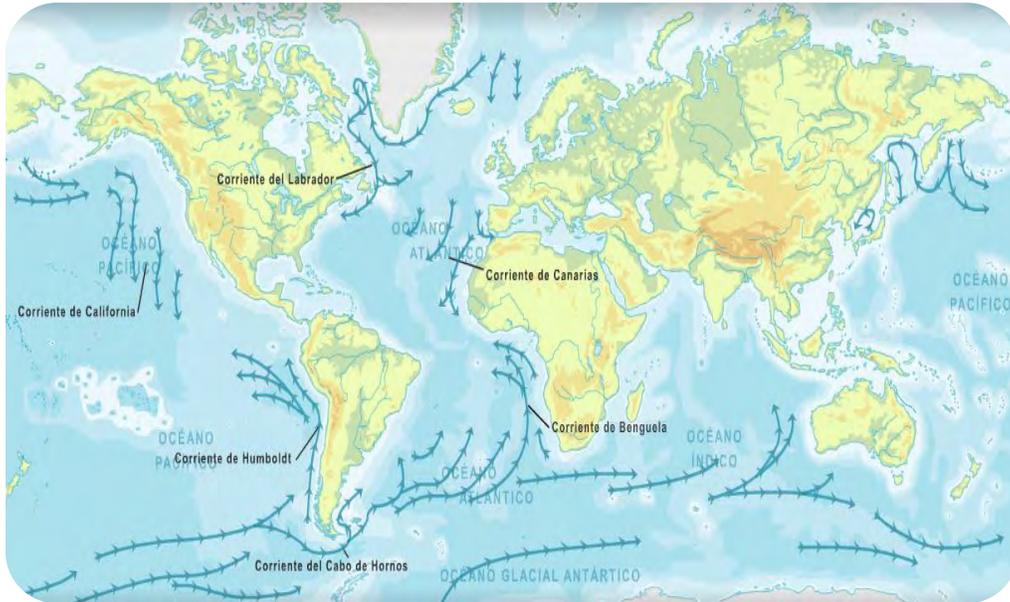
Asociarse con empresas que reciben los residuos plásticos, para reciclar o incluso reusar, como por ejemplo Covanta Energy Corporation, que utiliza 100 toneladas de redes de pesca abandonados para proporcionar electricidad suficiente para 43 hogares durante un año.

ANEXOS

Tabla 8. Lista parcial de infecciones humanas en las que están involucrados biofilms bacterianos

Infeción o enfermedad	Especie bacteriana formadora de biofilm
<p><i>Caries dental</i> <i>Periodonditis</i> <i>Otitis media</i> <i>Infecciones del músculo-esqueleto</i> <i>Fascitis necrotizante</i> <i>Osteomielitis</i></p> <p><i>Prostatitis bacteriana</i> <i>Endocarditis de la válvula nativa</i> <i>Neumonía por fibrosis quística</i> <i>Meloidosis</i></p>	<p>Cocos gram-positivos acidogénicos (ej. <i>Streptococcus</i>) Bacterias anaeróbicas orales gram-negativas Cepas no tipables de <i>Haemophilus influenzae</i> Cocos gram-positivos (ej. <i>Staphylococcus</i>) <i>Streptococcus</i> Grupo A Varias especies bacterianas y fúngicas, generalmente mezcladas <i>Escherichia coli</i> y otras bacterias gram-negativas Streptococcus del grupo “viridans” <i>Pseudomonas aeruginosa</i> y <i>Burkholderia cepacia</i> <i>Pseudomonas pseudomallei</i></p>
<p><i>Infecciones nosocomiales:</i> <i>Neumonía (cuidados intensivos)</i> <i>Suturas</i> <i>Orificios de salida</i> <i>Vías arteriovenosas</i> <i>Bucles esclerales</i> <i>Lentes de contacto</i> <i>Cistitis por catéteres urinarios</i> <i>Peritonitis por diálisis peritoneal</i> <i>DIU</i> <i>Tubos endotraqueales</i> <i>Catéteres hickman</i> <i>Válvulas mecánicas del corazón</i> <i>Bloqueo del conducto biliar</i> <i>Dispositivos ortopédicos</i></p>	<p>Bacilos gram-negativos <i>Staphylococcus epidermidis</i> y <i>Staphylococcus aureus</i> <i>S. epidermidis</i> y <i>S. aureus</i> <i>S. epidermidis</i> y <i>S. aureus</i> Cocos gram-positivos <i>P. aeruginosa</i> y cocos gram-positivos <i>E. coli</i> y otros bacilos gram-negativos Una variedad de bacterias y hongos <i>Actinomyces israeli</i> y muchos otros microorganismos Una variedad de bacterias y hongos <i>S. epidermidis</i> y <i>Candida albicans</i> <i>S. epidermidis</i> y otros Una variedad de bacterias entéricas y hongos <i>S. epidermidis</i> y <i>S. aureus</i></p>

Anexo 1. Posibles infecciones humanas a partir de las bacterias de los biofilms, Fuente: adaptación de Laza Uzcudum, 2016).



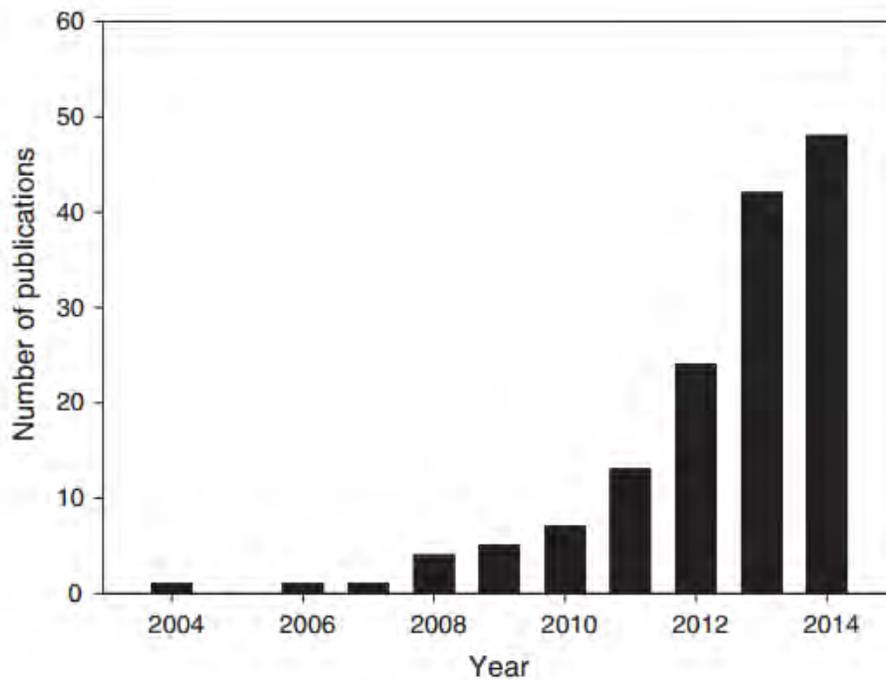
Anexo 2. Corrientes frías. Fuente: Aloí et al.



Anexo 3. Corrientes cálidas. Fuente: Aloí et al.



Anexo 4. Islas del noreste de Hawái y atolones del Archipiélago Hawaiiano colindando con el Monumento Nacional Marino Papahānaumokuākea. En donde hasta el 2012 se habían retirado más de 700 ton de redes abandonadas. Fuente: (NOAA, CORAL REEF RESTORATION THROUGH).



Anexo 5. Aumento de publicaciones referentes a los microplásticos Fuente: Modificado de GESAMP por Thompson, (2015).

Matrix	Size	Polymer composition	Reference
sediment/ shoreline	<1 mm	PES (56%), AC (23%), PP (7%), PE (6%), PA (3%)	Browne et al. (2011)
sediment/ sewage disposal site	<1 mm	PES (78%), AC (22%)	Browne et al. (2011)
sediment/ beach	<1 mm	PES (35%), PVC (26%), PA (18%), AC, PP, PE, EPS	Browne et al. (2008)
Sediment/ Inter- and sub-tidal	0.03–0.5 mm	PE (48.4%), PP (34.1%), PP+PE (5.2%), PES (3.6%), PAN ^a (2.6%), PS (3.5%), AKD (1.4%), PVC (0.5%), PVA ^b (0.4%), PA (0.3%)	Vianello et al. (2013)
sediment/ beach	1–5 mm (pellet)	PE (54, 87, 90, 78%), PP (32, 13, 10, 22%)	Karapanagioti et al. (2011)
water/ coastal surface microlayer	<1 mm	AKD (75%), PSA ^c (20%), PP+PE (2%), PE, PET, EPS	Song et al. (2014)
water/ sewage effluent	<1 mm	PES (67%), AC (17%), PA (16%)	Browne et al. (2011)
fish	0.13–14.3 mm	PA (35.6%), PES (5.1%), PS (0.9%), LDPE (0.3%) AC (0.3%), rayon ^d (57.8%)	Lusher et al. (2013)
bird	-	PE (50.5%), PP (22.8%), PC and ABS ^e (3.4%), PS (0.6%), not-identified (22.8%)	Yamashita et al. (2011)

Anexo 6. Reportes de microplásticos. PAN: poliacrilonitrilo, PVA: polyvinyl alcohol. PSA: poly(stireneacrylate), rayon-a semi compoun produce from celulosa, ABD: acrylonitrile butadiene styrene. Fuente: (GESAMP, 2015).



Anexo 7. Sitio de monitoreo Jardín Boulevard, comparación entre temporada 1 y temporada 2, visualización de una remoción de vegetación (mangle), exposición de una gran cantidad de PP, PS y PE.



Anexo 8. Detección de una concentración masiva de vidrios entre los puntos restaurant Pepe's Drink y Faro de Chetumal.



Anexo 9. Cuantificación de piezas de vidrio de los puntos Faro de Chetumal y Restaurant Pepe's Drink.



Anexo 9.1. Microplásticos de polietileno de alta densidad hallados.



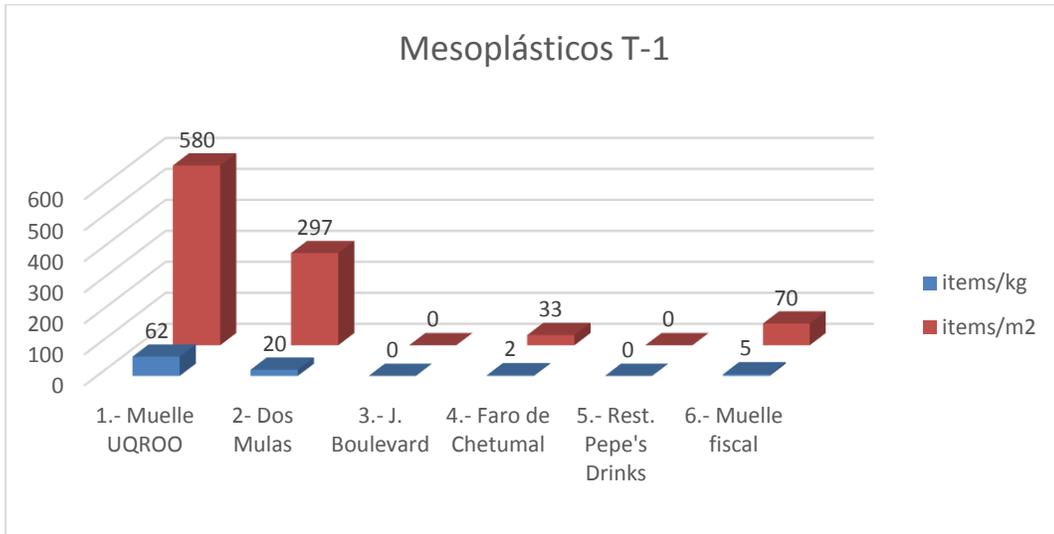
Anexo 10. Arribo de sargazo en el muelle fiscal.



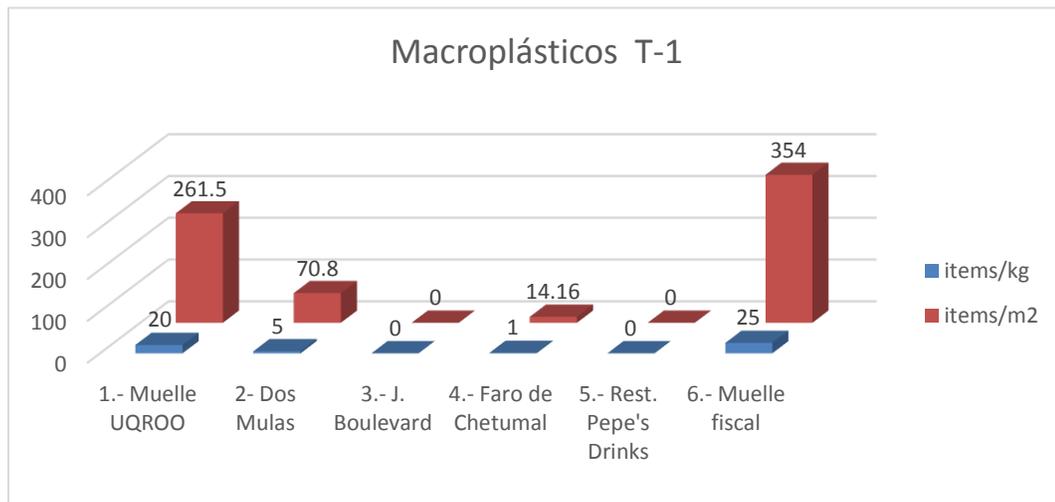
Anexo 11. Arribo de sargazo en el punto 5, Restaurante Pepe's Drink



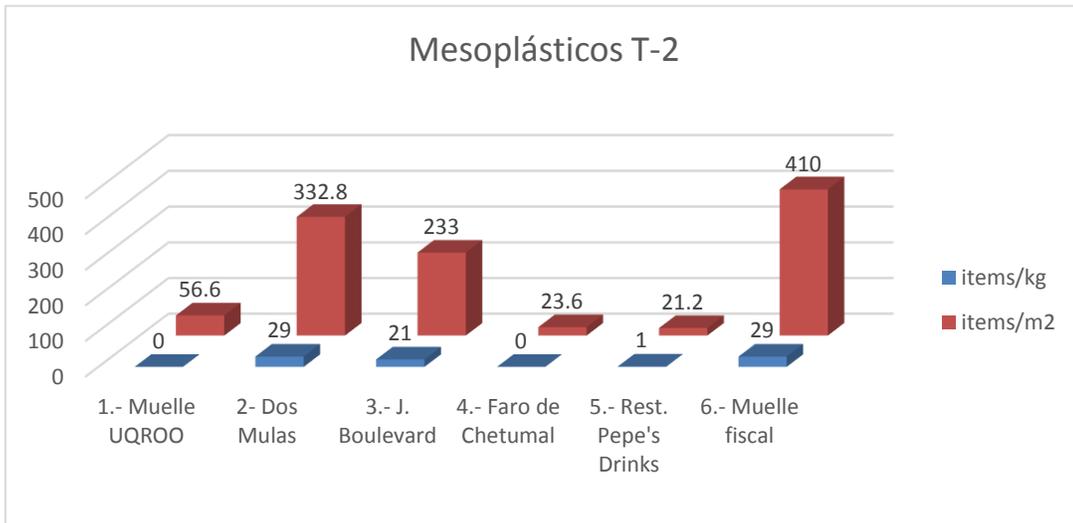
Anexo 12. Arribo de sargazo en el punto 4, faro de Chetumal.



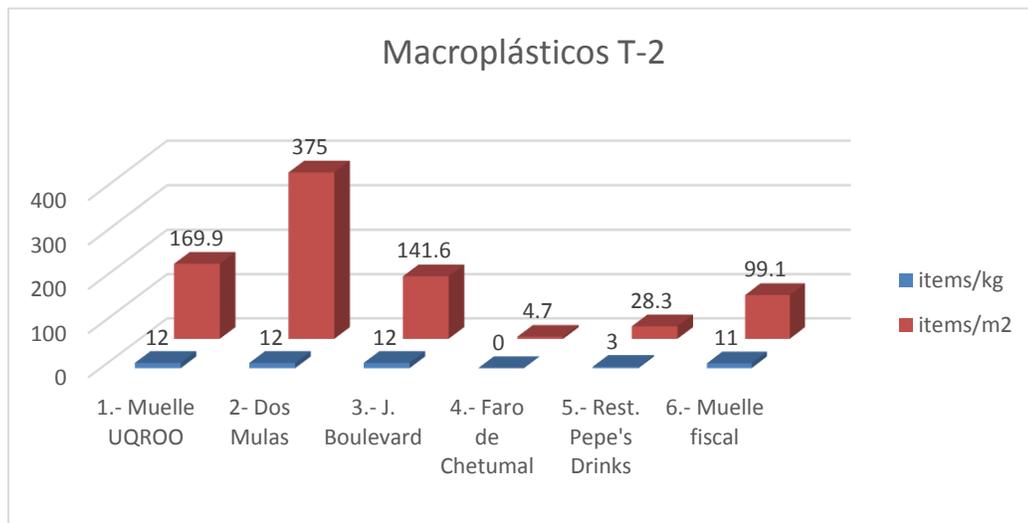
Anexo 13. Gráfica de la cuantificación de mesoplásticos en kg y m², 1ra temporada.



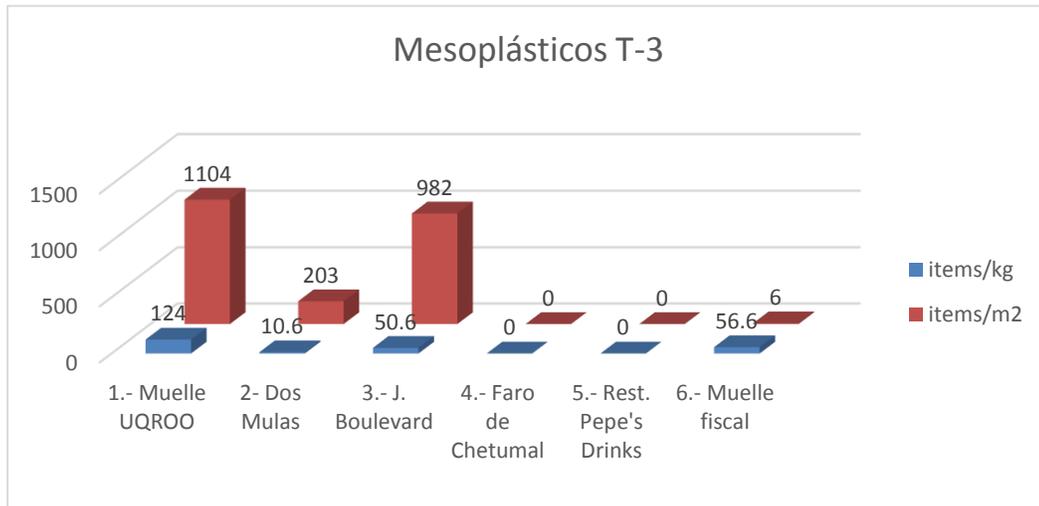
Anexo 14. Gráfica de la cuantificación de macroplásticos en kg y m², 1ra temporada.



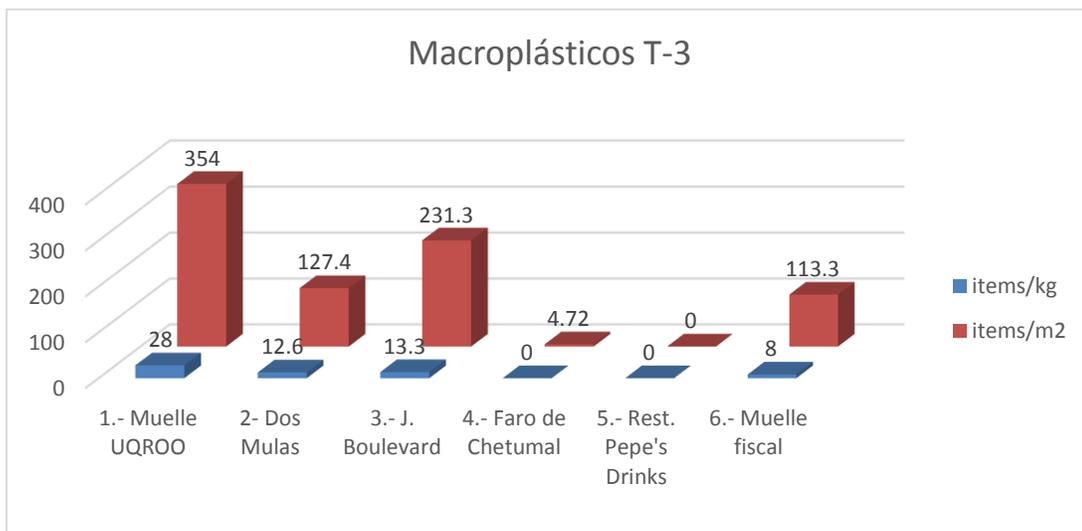
Anexo 15. Gráfica de la cuantificación de mesoplásticos en kg y m², 2da temporada.



Anexo 16. Gráfica de la cuantificación de macroplásticos en kg y m², 2da temporada.



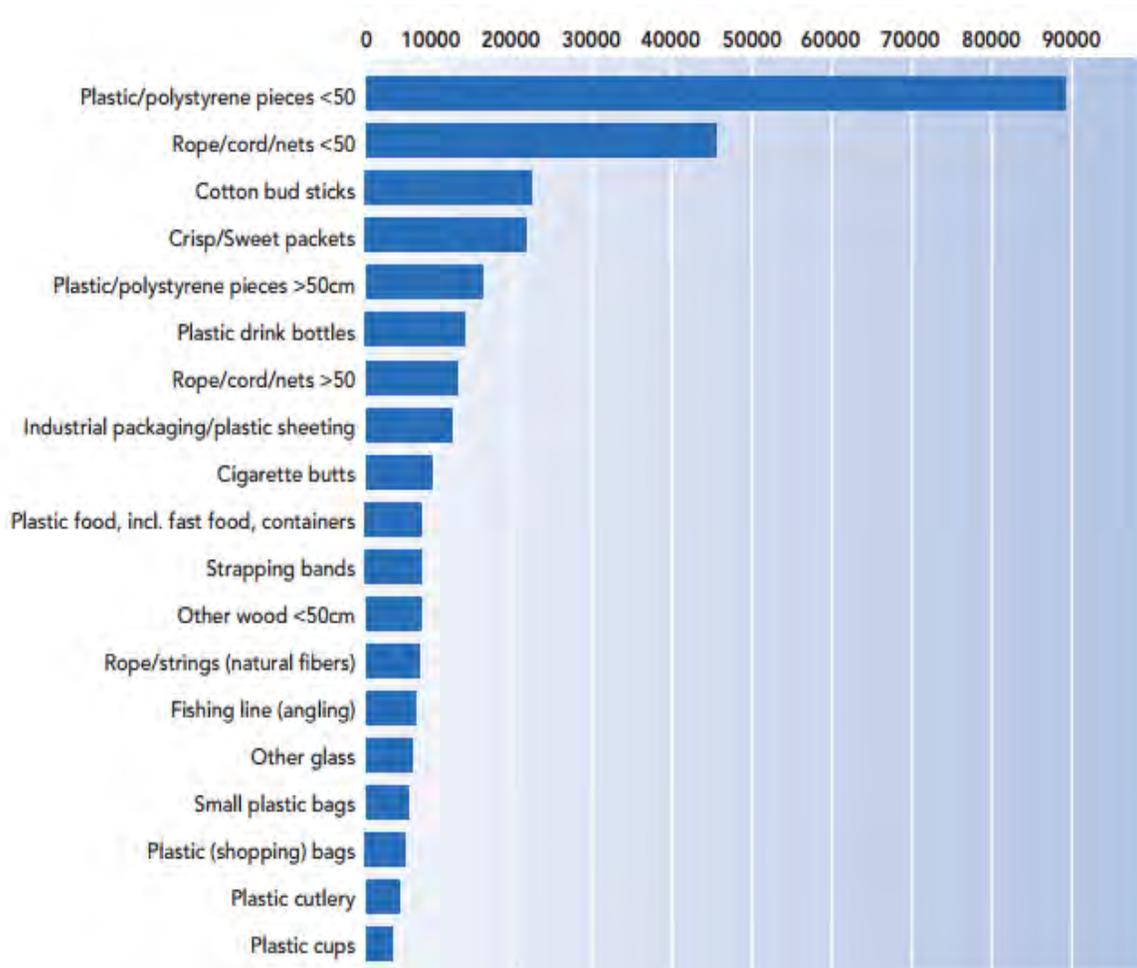
Anexo 17. Gráfica de la cuantificación de mesoplásticos en kg y m², 3ra temporada.



Anexo 18. Gráfica de la cuantificación de macroplásticos en kg y m², 3ra temporada

Panama		Columbia*		Ecuador		Perú		Chile	
Percentage of related sources of litter									
Beverage plastic bottles	11.8	Beverage plastic bottles	20.6	Cigarettes/filters	55.5	Beverage plastic bottles	41.4	Bottle caps and other containers	38.7
Bags	10.6	Beverage glass bottles	16.6	Bottle caps and other containers	8.4	Bags	10.3	Beverage plastic bottles	30.9
Clothes	10.2	Bottle caps and other containers	12.8	Bottle caps and other containers	6.4	Bottle caps and other containers	7.1	Cigarette/filters	8.4
Cups, plates and utensils	8.6	Bags	12.2	Bags	4.8	Cups, plates and utensils	4.1	Food wrappings	4.4
Beverage glass bottles	7.4	Plastic joints	8.4	Food wrappings	3.9	Clothes	3.0	Bags	4.1
Beverage cans	6.5	Clothes	4.7	Rope	2.9	Toys	2.6	Plastic joints	2.8
Bottle caps and other containers	6.4	Cups, plates and utensils	4.2	Cups, plates and utensils	2.9	Cigarettes/filters	2.5	Beverage glass bottles	1.4
Food wrappings	6.2	Food wrappings	3.7	Beverage glass bottles	2.3	Plastic straws and swizzle sticks for drinks	2.5	Chlorine bottles and other cleaning articles	1.1
Plastic joints	4.1	Beverage cans	3.1	Plastic joints	1.7	Diapers	2.3	Cigarette packs and wrappings	0.9
Oil bottles	2.9	Plastic straws and swizzle sticks for drinks	2.7	Plastic straws and swizzle sticks for drinks	1.6	Beverage cans	2.2	Building materials	0.9
Total	74.7	Total	89.0	Total	89.2	Total	78.0	Total	93.6

Anexo 19. Porcentaje de los artículos comunes de basura marina recolectados en el sur de América durante el "International Coastal clean-up, 2005". * referencia por San Andrés, Colombia. Fuente Adaptación por STAP de la UNEP 2009.



Anexo 20. Datos combinados que muestran la totalidad de artículos encontrados en secciones de 100 m en aprox. 51 playas de Europa (Bélgica, Dinamarca, Portugal, España, Reino Unido entre otras. entre 2001 y 2006. Fuente: OSPAR, 2007 en STAP, 2011)



Anexo 21. Sitio de monitoreo muelle fiscal, considerado oficialmente como sitio de muestreos.



Anexo 22. 1ra. Recolección de muestras, se observó en el lugar una considerable cantidad de diversos tipos de plásticos.



Anexo 23. 1er. Muestra en el balneario "Dos mulas".



Anexo 24. Aprovechamiento del recurso solar para la evaporación máxima de humedad.



Anexo 25. Sitio de monitoreo Jardín Boulevard. Detección de remoción de capa de vegetación para la segunda temporada de muestreo.



Anexo 26. Arribo de sargazo en el sitio de monitoreo faro de Chetumal.



Anexo 27. La densa capa de vegetación en los sitios de monitoreo infirió en la retención residuos plásticos, sin embargo, no fue así en todos los sitios.



Anexo 28. Cumulo entre vegetación y lodo en el muelle fiscal.



Anexo 29. Sitio de monitoreo muelle fiscal, visualización de una capa de vegetación, ligera retención de PP, PS y PE en este punto.



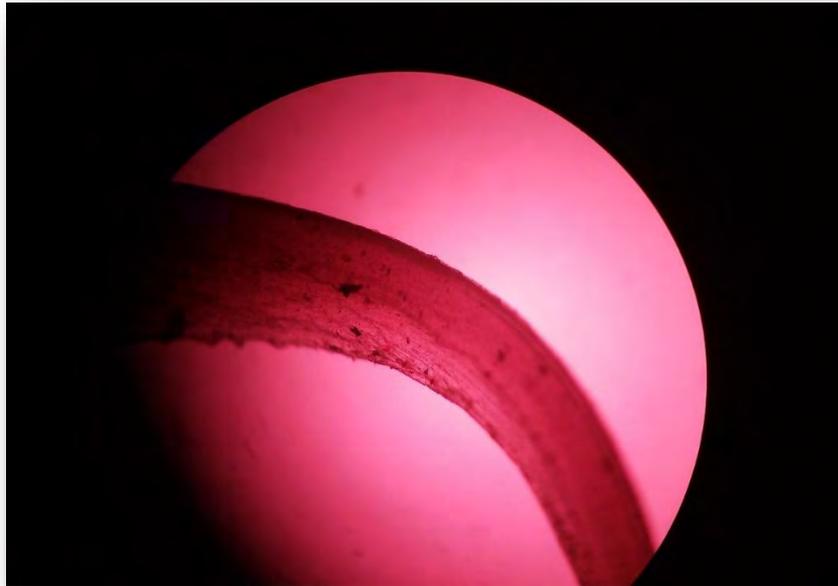
Anexo 30. Concentración de muestras finales, segunda temporada.



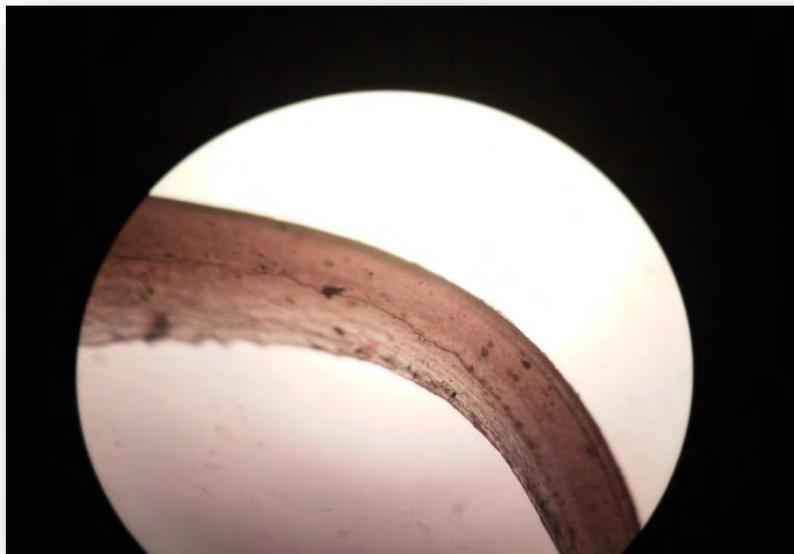
Anexo 31. En la literatura, sugerían retirar objetos de mayor tamaño que obviamente no fueran plásticos.



Anexo 32. Participación de alumnos de la UJAT. Yuli, Ana y Alexander.



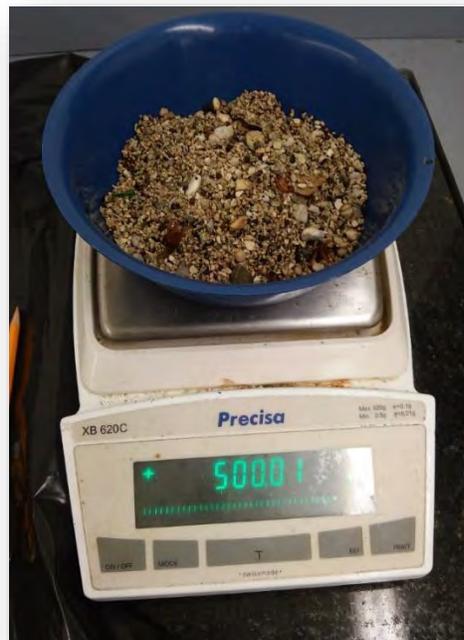
Anexo 33. Detención de nanoplasticos en la vegetación, aparentemente muestras de PP o PE.



Anexo 34. Mismo enfoque, pero en otra toma



Anexo 35. Muestras sometidas al método granulométrico



Anexo 36. Balanza XB 620C, utilizada para separar los 500 gr de las unidades # items/Kg.



Anexo 38. Macroplásticos hallados en la tercera temporada de nuestros.



Anexo 39. Muestra colectada de sitio Faro de Chetumal, escasa presencia de plásticos



Anexo 40. Excesiva concentración de cristales en el punto Faro de Chetumal.



Anexo 41. Ligas (hule) encontradas en las muestras, contemplado como plásticos en la literatura.



Anexo 42. Muestra de arena balneario "Dos mulas".



Anexo 43. Separación de residuos plásticos de capa de vegetación.

BIBLIOGRAFÍA

- Allsopp et al., M. A. (2007). *CONTAMINACIÓN POR PLÁSTICOS EN LOS OCÉANOS DEL MUNDO*. GREENPEACE.
- Ambientum*. (14 de Diciembre de 2014). Recuperado el 02 de Julio de 2015, de La contaminación por microplásticos llega a las regiones oceánicas más remotas. España: <http://www.ambientum.com/boletino/noticias/La-contaminacion-por-microplasticos-llega-a-las-regiones-oceanicas-mas-remotas-.asp#>
- Andrady, A. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 1596-1605.
- ATSDR, A. p. (1999). *Reseña Toxicológica de las Dibenzo-p-Dioxinas Policloradas*. Obtenido de Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública.: http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts104.html
- ATSDR, A. p. (9 de Diciembre de 2014). *Resúmenes de Salud Pública*. Recuperado el Junio de 2015, de Fenol (Phenol): http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs115.html
- Bipesbiporus. (2012). *Bacterias. Un mundo microscopio*. Obtenido de Vidrio bacterias: <http://bipesbiporus.blogspot.mx/2012/02/vibriones.html>
- BVSDE, B. V. (2003). *Organización Panamericana de la Salud (PAHO)*. Obtenido de GLOSARIO DE SALUD AMBIENTAL: <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/manuales/glosarioES.pdf>
- Canul Ku, R. A. (2011). "Estrategias de conservación del recurso playa en la zona de Costa Maya, Quintana Roo. Residuos sólidos". En *Tesis*. Chetumal, Quintana Roo, México.
- Claessens et al., M. L.-C.-V.-J. (2013). New techniques for the detection of microplastics in sediments and field. *Marine Pollution Bulletin*, 227-233.
- CONAMA, C. N. (2016). Obtenido de Las Corrientes Marinas: <http://www.conama.org/web/index.php>
- Frias et al., J. S. (2011). Research in plastic marine debris in mainland Portugal. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 145-148.

- GESAMP. (2015). "Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment". (Kershaw, P. J., ed.). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 p.
- Gouin T. et al., R. N. (2011). A thermodynamic approach for assessing the environmental exposure of chemical absorbed to microplastic. *Sci. Technology*, 1466-1472.
- GreenFacts. (23 de Mayo de 2015). *GreenFacts*. Recuperado el 26 de Mayo de 2015, de Facts on Health and the Environment: <http://www.greenfacts.org/es/basura-marina/>
- Guerra & Vallejo, F. G.-P.-M. (2015). *Química y tecnología de macromoléculas*. Recuperado el 26 de Mayo de 2015, de Ácido poliláctico: Obtención método ROP: <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso08-09/pla/Pag%20web/metodo%20ROP.html>
- Guerra, F., & Vallejo, H. (2015). *Química y tecnología de macromoléculas*. Recuperado el 26 de Mayo de 2015, de Ácido poliláctico: Obtención método ROP: <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso08-09/pla/Pag%20web/metodo%20ROP.html>
- IUCN. (2016). *The IUCN Red List of threatened Species*. Obtenido de <http://www.iucnredlist.org/search>
- IUCN, I. U. (2015). *the IUCN Red List of Threatened Species*. Obtenido de Mammals: <http://www.iucnredlist.org/initiatives/mammals>
- Kershaw et al., K. P. (2011). Plastic Debris on the Ocean. *En anuario PNUMA* , 20-33.
- Kershaw, P. K. (2011). Plastic debris in the ocean. En *UNEP year book: emerging issues in our environment*. Nairobi, Kenya.
- Lasa Uzcudun, Í. (2016). Biofilms bacterianos. *Actualidad SEM. Instituto de Agrobiotecnología y Recursos Naturales y Departamento de Producción Agraria. Universidad Pública de Navarra.*, 14-18.
- Law et al, L. K.-F. (2010). Plastic Accumulation in the North Atlantic Subtropical Gyre. *Science*, 329 (5996), 1185-1188.
- Lee et al., S. H. (2013). Relationships among the abundances of plastics debris in different size classes on beaches in South Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 349-354.

- Leslie et al., H.-A. L.-D.-M.-D. (2011). *Microplastic Litter in the Dutch*. Holanda: Deltares.
- Lois et al., C. L. (s.f.). *Las corrientes marinas*. Recuperado el Mayo de 2016, de http://www.educ.ar/dinamico/UnidadHtml__get__fc4c8076-c83d-11e0-8393-e7f760fda940/index.htm
- M. Cole et al., M. C. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*.
- Molluscs.at. (s.f.). *The living world of molluscs*. Recuperado el 27 de mayo de 2015, de The blue or common mussel (*Mytilus edulis*): http://www.molluscs.at/bivalvia/index.html?/bivalvia/common_mussel.html
- NJHealth, N. J. (enero de 2010). Derecho a Saber. Hoja Informativa sobre Sustancias Peligrosas. FENOL. Nueva Jersey, Estados Unidos. Obtenido de Hoja Informativa.
- NOAA, N. O. (2005). *CORAL REEF RESTORATION THROUGH MARINE DEBRIS MITIGATION*. Obtenido de Background: https://pifsc-www.irc.noaa.gov/cred/program_review/marine_debris_PICS.pdf
- NOAA, N. O. (2016). *Ten Years of the NOAA Marine Debris Program 2006-2016*. Obtenido de <https://marinedebrisblog.wordpress.com/2016/06/16/ten-years-of-the-noaa-marine-debris-program-2009/>
- NOAA_PIFSC. (s.f.). *Marine Debris*. Recuperado el 2016, de Derelict Fishing Gear = Energy: https://pifsc-www.irc.noaa.gov/cred/marine_debris.php
- North Sea Foundation et al., M. C. (2012). *Micro plastics in personal care products*.
- OSPAR. (2007). *Pilot Project 2000-2006 on monitoring marine beach litter. Final*. OSPAR report 306. 74 pp.
- PIFSC & NOAA. (2011). *Pacific islands Fisheries Science Center*. Obtenido de Restoring coral reefs removing marine debris in the NWHI: https://pifsc-www.irc.noaa.gov/cred/restoring_coral_reefs_removing_marine_debris_in_the_nwhi.pdf
- PNUMA. (2011). Plastic Debris in the Ocean. En *Anuario 2011* (págs. 20-33).

- PNUMA, P. d. (2014). *Microplastics Brochure*. Obtenido de Microplásticos:
<http://www.unep.org/yearbook/microplastics.asp>
- PSFSC, P. I. (s.f.). NOAA, *FISHERIES. Cleaning Up Our Reefs*. Recuperado el 2016, de
MARINE DEBRIS. Derelict Fishing Gear: [https://pifsc-
www.irc.noaa.gov/cred/cleaning_up_our_reefs.php](https://pifsc-
www.irc.noaa.gov/cred/cleaning_up_our_reefs.php)
- R. C. Thompson, S. H. (2009). Our plastic age. *PHILOSOPHICAL TRANSACTION OF THE
ROYAL SOCIETY B*, 1973-1976.
- Ryan, P. (1988). Effects of ingested plastic on seabird feeding: evidence from chickens.
Marine Pollution Bulletin, 125-128.
- Sainte- Rose, B. (Marzo de 2016). *THE OCEAN CLEANUP*. Obtenido de A Deep Dive into
Plastics Flow Modeling: [http://www.theoceancleanup.com/updates/show/item/a-deep-
dive-into-plastic-flow-modeling/](http://www.theoceancleanup.com/updates/show/item/a-deep-
dive-into-plastic-flow-modeling/)
- Segura et al, D. R. (2007). Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos
biodegradables. *Biotecnología V14*, 361-371.
- Segura et al., D. R. (2007). Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos
biodegradables. *Biotecnología V14*, 361-371.
- SMN, S. M. (2016). *CONAGUA*. Obtenido de Sistema meteorológico Nacional:
<http://smn.cna.gob.mx/es/comunicados-de-prensa>
- STAP, S. a. (2011). *Marine Debris as a Global Environmental Problem: Introducing a
solutions based framework focused on plastic*. . A STAP Information Document. Global
Environment Facility, Washington, DC.
- Takada, H. (2006). Call for pellets! International Pellet Watch Global Monitoring of POPs
using beached plastic resin pellets. . *Mar Pollut Bull* 52, , 1547-1548.
- Tanabe, S. W. (2004). PCDDs, PCDFs, and coplanar PCBs in albatross from the North Pacific
and Southern Oceans: Levels, patterns, and toxicological implications. *Environmental
Science technology*, 403-413.
- TEDxTalks. (2012). *YouTube*. Obtenido de How the oceans can clean themselves: Boyan
Slat at TEDxDelft: <https://www.youtube.com/watch?v=ROW9F-c0kIQ>

- Thompson et al., R. C. (18 de Nov de 2005). *Science*. doi:10.1126/science.310.5751.1117b
- Thompson, R. C. (2015). Microplastics in the Marine Environment: Sources, Consequences and Solutions. En M. B. al., *Marine Anthropogenic Litter* (págs. 185-200). Plymouth.
- Tompson et al., T. R. (2009). *US National Library of Medicine National Institutes of Health*. doi:10.1098/rstb.2009.0053.
- TOVSI. (09 de 2015). *TOVSI MATERIALES SINTÉTICOS*. Obtenido de Poliamida, nylon, poliester: http://www.tovsi.com/es/poliamida_10
- Turgeon, A., & Sue, C. (19 de Sep de 2014). *National Geographic Society*. Obtenido de Gread Pacific Garbage Patch: <http://nationalgeographic.org/encyclopedia/great-pacific-garbage-patch/>
- UNEP. (2009). *Marine Litter: A Global Challenge. United Nations Environment Programme*. Nairobi, Kenya.
- UNEP. (2016). *MARINE PLASTIC DEBRIS. Global lessons and research to inspire action*. Nairobi: United Nations Environment Programme.