



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE
CHIAPAS

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS

TESIS

PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN LA
PLAYA BOCA DEL CIELO, CHIAPAS,
MÉXICO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN BIOLOGÍA MARINA Y
MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS

PRESENTA:

MARLA CRUZ AGUILAR

TONALÁ, CHIAPAS

MAYO DE 2024



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE
CHIAPAS

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS

TESIS

PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN LA
PLAYA BOCA DEL CIELO, CHIAPAS,
MÉXICO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN BIOLOGÍA MARINA Y
MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS

PRESENTA:

MARLA CRUZ AGUILAR

DIRECTOR:

DR. FRANCISCO JAVIER LÓPEZ RASGADO

ASESOR:

M. EN C. ALEXIS FANUEL VELASCO ORTIZ

M. EN C. JOSE REYES DIAZ GALLEGOS

TONALÁ, CHIAPAS

MAYO DE 2024





Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de impresión



Lugar: Tonalá, Chiapas
Fecha: 22 de mayo de 2024

C. Marla Cruz Aguilar

Pasante del Programa Educativo de:

Licenciatura en Biología marina y Manejo integral de cuencas

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN LA PLAYA BOCA DEL CIELO, CHIAPAS, MÉXICO

En la modalidad de

TESIS

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Arkady Uscanga Martínez

Mtra. María Cielo Ortiz Suriano

Mtro. Alexis Fanuel Velasco Ortiz

Firmas:

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi madre por todo el apoyo que me dio y lo mucho que se ha esforzado para darme lo mejor.

Agradezco a mi abuelita por el apoyo brindado durante esta etapa de mi vida.

Agradezco a mi abuelito por siempre confiar en mí y darme sus bendiciones en mis pocas salidas campo, pero sobre todo por siempre creer en mí.

Agradezco al Dr. Francisco Javier López Rasgado por todo el apoyo y la confianza que me brindo, por ser un excelente maestro, compartirme un poco de sus conocimientos y sobre todo por no dejarme sola durante todo este proceso.

Agradezco al M. en. C. Alexis Fanuel Velasco Ortiz, por asesorar mi tesis, con sus acertados comentarios, brindarme su confianza y sobre todo por no dejarme sola durante todo el proceso.

Agradezco al M. en. C. José Reyes Díaz Gallegos, por asesorarme en las dudas del mapeo de este documento.

De igual manera agradezco a la Mtra. María Cielo Ortiz Suriano y al Dr. Arkady Uscanga Martínez por acertados comentarios en este documento.

Agradezco de igual manera al Biol. William, por darnos su apoyo con el uso de sus herramientas y darnos sus opiniones con la realización del material para este estudio.

Agradezco a Don Everardo y Andrés Córdova por el gran apoyo que me brindaron durante el muestreo para poder lograr esta tesis.

Agradecer al campamento tortuguero SEMAHN por brindarnos estancia durante el tiempo de los muestreos.

También agradezco a mis compañeros y amigos de laboratorio por la compañía que nos brindábamos.

Agradezco a mis amigas por el apoyo incondicional que siempre me han brindado, por nunca dejarme sola y por siempre creer en mí, de igual manera a Dani que conocí a lo largo de esta etapa y se volvió mi amigo foráneo.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi abuelito que siempre creyó en mí, y por siempre darme sus bendiciones, que aunque ya no esté sé que siempre va estar orgulloso de mí de su bióloga marina.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEORICO.....	6
2.1 Los plásticos.....	6
2.2. Clasificación de los plásticos.....	7
2.3. Propiedades de los plásticos.....	9
2.4. Código de identificación de los plásticos.....	10
2.5. La degradación de los plásticos.....	12
2.6. Microplásticos.....	13
2.7. Clasificación de los microplásticos.....	14
2.8. Fuentes de las que proviene el microplásticos.....	15
2.9. Impacto de los microplásticos en el ambiente marino.....	17
2.10. Efectos de los microplásticos en los organismos marinos.....	18
2.11. Bioacumulación o biomagnificación.....	20
III. ANTECEDENTES.....	22
3.1. Historia del surgimiento de los plásticos.....	22
3.2. Estudios que han evaluado la presencia de microplásticos a nivel mundial y México.....	23
IV. OBJETIVOS	31
4.1 General.....	31
4.2 Objetivos específicos.....	31
V. HIPOTESIS	32
VI. ZONA DE ESTUDIO.....	33
VII. MÉTODOS.....	35

7.1. Procedimiento de la realización de los cuadrantes	35
7.2. Colecta de muestras	36
7.3. Análisis en laboratorio	40
7.4. Muestras de Puerto Arista	44
VIII. RESULTADOS	46
8.1 Playa Boca del Cielo, Chiapas	46
8.2 Playa Puerto Arista Chiapas	52
IX. DISCUSIÓN	60
X. CONCLUSIÓN	66
XI. RECOMENDACIONES	68
XII. REFERENCIAS DOCUMENTALES	69
XIII. ANEXOS	79
Anexo I. Microplásticos encontrados en Boca del Cielo, Chiapas	79
Anexo II. Microplásticos encontrados en Puerto Arista Chiapas	80

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Identificación de los plásticos por sus códigos	11
Cuadro 2. Coordenadas de los puntos de muestreo en Boca del Cielo, Chiapas	39
Cuadro 3. Coordenadas de los cuadrantes en Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas	40
Cuadro 4. Coordenadas de los puntos de muestreo en Puerto, Arista, Tonalá, Chiapas	45
Cuadro 5. Abundancia de los microplásticos encontrados en cada zona intermareal de la playa Boca del Cielo, Chiapas. Los números dentro del paréntesis corresponden al porcentaje (%)	46
Cuadro 6. Abundancia del tamaño de los microplásticos encontrados en cada zona intermareal de la Playa Boca del Cielo, Chiapas. Los números dentro del paréntesis corresponden al porcentaje (%)	47
Cuadro 7. Abundancia de los polímeros plásticos encontrados en cada zona intermareal de la Playa Boca del Cielo, Chiapas. Los valores dentro del paréntesis corresponden al porcentaje	47
Cuadro 8. Abundancia de los colores encontrados en cada zona intermareal de la Playa Boca del Cielo, Chiapas. Los valores dentro del paréntesis corresponden al porcentaje (%)	48
Cuadro 9. Abundancia de cada color de los microplásticos encontrados en la playa Boca del Cielo, Chiapas. Los valores dentro del paréntesis corresponden al porcentaje (%)	49
Cuadro 10. Abundancias del tamaño de cada uno de los microplásticos encontrados en la playa Boca del Cielo, Chiapas. Los valores dentro del paréntesis corresponden al porcentaje (%)	51
Cuadro 11. Abundancia de cada uno de los polímeros plásticos encontrados en la playa Boca del Cielo, Chiapas. Los valores dentro del paréntesis corresponden al porcentaje (%)	52

Cuadro 12. Abundancia de microplásticos encontrados en cada una de las muestras colectadas en la Playa Puerto Arista, Tonalá, Chiapas. Los valores dentro del paréntesis corresponden al porcentaje (%).....	53
Cuadro 13. Abundancia de los colores de cada uno de los microplásticos encontrados en la playa Puerto Arista, Tonalá, Chiapas. Los valores dentro del paréntesis corresponden al porcentaje (%).....	55
Cuadro 14. Abundancia del tamaño de cada uno de los microplásticos encontrados en playa Puerto Arista, Chiapas. Los valores dentro del paréntesis corresponden al porcentaje (%).....	57
Cuadro 15. Porcentaje de cada uno de los polímeros plásticos encontrados en la playa Puerto Arista, Chiapas	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tamaños de la basura marina (Tomado de Lagos <i>et al.</i> , 2019).....	14
Figura 2. Ubicación geográfica del estado de Chiapas	34
Figura 3. Ubicación geográfica de la zona de muestreo	34
Figura 4. Procedimiento de la realización de los cuadrantes	36
Figura 5. Ubicación de los puntos de muestreo en Boca del Cielo, Chiapas	37
Figura 6. Diagrama de los puntos de muestreo y los cuadrantes en la zona intermareal en Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas	38
Figura 7. Ubicación de los cuadrantes en Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas	38
Figura 8. Proceso de la colecta de muestras de sedimento en la Playa Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas	39
Figura 9. Proceso del análisis de laboratorio para identificar la presencia de microplásticos del sedimento colectada en la playa de Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas	42
Figura 10. Procedimiento de la prueba de flotabilidad	43
Figura 11. Ubicación de los puntos de muestreo en Puerto Arista, Tonalá, Chiapas	44
Figura 12. Porcentajes generales de las formas de los microplásticos encontrados en la playa Boca del Cielo, Chiapas	48
Figura 13. Porcentajes generales de los colores de los microplásticos encontrados en la playa Boca del Cielo, Chiapas	49
Figura 14. Porcentajes generales del tamaño de los microplásticos encontrados en la playa Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas	50
Figura 15. Porcentajes generales de los polímeros plásticos encontrados en la playa, Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas	51
Figura 16. Porcentajes generales de la forma de los microplásticos encontrados en la playa Puerto Arista, Tonalá, Chiapas	54
Figura 17. Porcentaje general de los colores de los microplásticos encontrados en playa Puerto Arista, Tonalá, Chiapas	55

Figura 18. Porcentaje general del tamaño de los microplásticos encontrados en la playa Puerto Arista, Tonalá, Chiapas56

Figura 19. Porcentaje general de los polímeros plásticos encontrados en la playa Puerto Arista, Tonalá, Chiapas 58

RESUMEN

Los ecosistemas costeros, particularmente las playas de arena, están siendo severamente afectados por la contaminación, principalmente por residuos plásticos. Esta contaminación no se limita a desechos de gran tamaño, sino que también incluye diminutos gránulos que representan una amenaza para la vida marina. En este contexto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la presencia de microplásticos en la playa Boca del Cielo y compararla con la playa Puerto Arista, ambas ubicadas en Tonalá, Chiapas, México. Durante la época de lluvias y con baja afluencia turística, se recolectaron muestras a lo largo de un tramo de 3 km, dividido en 11 puntos espaciados cada 300 m. Las muestras se tomaron en la zona intermareal (marea baja, media y alta), utilizando cuadrantes de 1 m x 1 m con 100 cuadros de 10 cm x 10 cm cada uno. En la zona de marea alta, solo los sitios 3 y 9 presentaron microplásticos, con un total de 15 piezas, incluyendo películas, fibras, espumas y una microesfera. En la marea media, solo se encontraron microplásticos en los sitios 8 y 11, con un total de 16 piezas, mayormente fibras y películas, junto con un fragmento. Por último, en la marea baja, solo el sitio 7 mostró presencia de microplásticos, con dos piezas identificadas como fragmentos. En la playa Puerto Arista, se recolectaron 11 muestras, de las cuales 10 mostraron presencia de microplásticos, con un total alarmante de 432 piezas encontradas. Los colores que prevalecieron fueron el transparente y amarillo, en Boca del Cielo, además del color blanco en Puerto Arista. Además de los polímeros más abundantes fueron el polietileno de baja densidad, el polietileno de alta densidad y el polipropileno. Estos resultados sugieren una posible correlación entre la actividad turística, la generación de residuos domésticos y la inadecuada gestión de residuos sólidos como factores que contribuyen a esta contaminación. Esta investigación destaca la urgencia de abordar la contaminación por microplásticos en las playas, con énfasis en la necesidad de una gestión adecuada de residuos y la promoción de prácticas sustentables para proteger estos valiosos ecosistemas costeros.

Palabras claves: residuos sólidos, playas, microesferas, degradación

ABSTRACT

Coastal ecosystems, particularly sandy beaches, are severely affected by pollution, mainly from plastic debris. This pollution is not limited to large debris, but also includes tiny granules that pose a threat to marine life. In this context, the objective of this research was to evaluate the presence of microplastics in Boca del Cielo beach and compare it with Puerto Arista beach, both located in Tonalá, Chiapas, Mexico. During the rainy season and low tourist season, samples were collected along a 3 km stretch divided into 11 points every 300 m. Samples were collected in the intertidal zone (low, medium and high tide) using 1 m x 1 m quadrats with 100 squares of 10 cm x 10 cm. In the high tide zone, only sites 3 and 9 contained microplastics, with a total of 15 items, including films, fibers, foams and a microsphere. At mid-tide, microplastics were found only at sites 8 and 11, with a total of 16 pieces, mostly fibers and films, together with one fragment. Finally, at low tide, only site 7 showed the presence of microplastics, with two pieces identified as fragments. At Puerto Arista beach, 11 samples were collected, 10 of which showed the presence of microplastics, with an alarming total of 432 pieces found. The predominant colours were transparent and yellow in Boca del Cielo and white in Puerto Arista. The most common polymers were low-density polyethylene, high-density polyethylene and polypropylene. These results suggest a possible correlation between tourist activity, domestic waste generation and inadequate solid waste management as factors contributing to this pollution. This research highlights the urgency of addressing microplastic pollution on beaches, with an emphasis on the need for proper waste management and the promotion of sustainable practices to protect these valuable coastal ecosystems.

Keywords: solid waste, beaches, microspheres, degradation, pollution

I. INTRODUCCIÓN

Una de los problemas en la actualidad es la contaminación por residuos plásticos, los cuales amenazan la vida de todas las especies en el mundo incluyendo al hombre (Conopoima-Moreno, 2022). Todos los desechos generados en la tierra generalmente terminan en los océanos y toda esta contaminación por dichos residuos podrían provocar una disminución de la biodiversidad costera y marina (Pérez-Alvelo, *et al.*, 2021).

Uno de los ecosistemas que están siendo contaminados por residuos plásticos son las playas arenosas o playas de arena. Según su definición, las playas son depósitos no consolidados de arena y grava a lo largo del litoral y abarcan cerca del 40 % de las costas a nivel mundial (Moreno-Casasola, 2004; Lara-Lara *et al.*, 2008).

Las playas de arena tienen dominancia en lo que son las costas abiertas de las regiones tropicales y templadas, en la cual desempeñan funciones importantes, como por ejemplo, son grandes sistemas digestivos e incubadores. Asimismo, generan materiales orgánicos a través de sus intersticios y así devuelven el agua purificada y los nutrientes al mar. Además estas importantes funciones son impulsadas por el proceso físico de filtración del agua a través del cuerpo poroso de la arena de la playa y asimismo son llevadas a cabo por las actividades de la fauna intersticial (McLachlan y Turner, 1994).

Por otra parte, estas playas oceánicas pueden definirse a grandes rasgos como reflectantes y disipativas. Las playas disipativas, en estas la energía incide de las olas, se disipan y decaen hacia la costa a través de lo que se conoce como zona de oleaje, además de esto hay un crecimiento simultáneo de la energía de infragravedad, a medida de que la energía se transfiere de modo de onda a otro. Asimismo, domina la zona interior de surf donde se manifiesta el inicio y descenso de las olas (Short *et al.*, 2013).

Por lo tanto, en las playas disipativas, la alta productividad puede ser impulsada por el fitoplancton, los microorganismos del oleaje, lo cual respalda a

la macrofauna bentónica y al zooplancton como consumidores primarios, a los peces y a las aves como depredadores principales (Defeo *et al.*, 2009).

Por otro lado, las playas reflectantes se dan en condiciones de baja energía persistente de las olas y sedimentos gruesos. En ese sentido, estas playas se caracterizan por las zonas intermareales empinadas y sobre todo bien drenadas, sin una verdadera zona de oleaje directa sobre la playa. Las redes alimentarias en las playas de arena, se basan principalmente en fuentes marinas, como por ejemplo el fitoplancton, las macroalgas varadas, los pastos marinos y la carroña (McLachlan y Turner, 1994).

Sin embargo, a pesar de la importancia que tienen las playas de arenas, están siendo contaminadas por residuos plásticos y no solamente con residuos de gran tamaño, sino de igual forma con pequeños gránulos menos llamativos, los cuales son una amenaza para la biota marina, y que en los últimos años se encuentran en grandes cantidades en las playas (Derraik, 2002).

En ese sentido, al enfocarse en la problemática de la acumulación de residuos plásticos, la producción mundial de los plásticos ha tenido un incremento constante desde 1950. Góngora-Pérez (2014), menciona que en 1950 se registró una producción de 1.7 millones de toneladas, después tuvo un incremento de 13.6% del promedio anual durante 26 años. En 1976 el crecimiento fue más moderado, pero aun así mostraba tasas interanuales relativamente altas. En 2012, la producción alcanzó un máximo histórico de 288 millones de toneladas. Asimismo con una participación del 4.9% para Centro y Sudamérica y de 19.9% para los países de América del Norte (Vázquez-Morillas *et al.*, 2016).

Respecto a la producción de resinas sintéticas, en México alcanzó aproximadamente 2.5 millones de toneladas, de la cual el 77% corresponde a las resinas termoplásticas y el 23% a las resinas termoestables (Cristán-Frías *et al.*, 2003). No obstante, la tasa de crecimiento de la producción de plástico se redujo a un 11.8% en 1995, más que el conjunto de la economía. En 1994 se

produjeron 2 000 107 toneladas y el año siguiente bajo a 1 000 858 toneladas. En 1996 la industria del plástico se recuperó y superó el volumen de producción de 1994 (Corrales, 2010).

Los efectos de los productos plásticos en una economía son realmente fundamentales, ya que un consumidor promedio usa diversos productos plásticos en su vida cotidiana desde muebles, ropa, artículos de oficina entre otros (Góngora-Pérez, 2014). Pero si hablamos de las consecuencias que esto conlleva al medio ambiente, las cosas son realmente preocupantes al ver este tipo de estadísticas de la producción de los plásticos a nivel mundial y en México.

El gran aumento de consumos de productos plásticos en la sociedad actual, se estima que crece 4% anualmente. Esto conlleva a un gran problema, ya que los plásticos son depositados en vertederos que en lugar de ser una solución es realmente un problema por su reducida degradabilidad, desde el punto de vista del deterioro del paisaje, porque su descomposición en vertederos origina una fuerte producción de metano, que es aún más nocivo que el dióxido de carbono (CO₂) (Arandes *et al.*, 2004).

Además, la contaminación por los residuos plásticos es un problema ambiental, ya que estos desechos plásticos tienen una variedad de formas y tamaños desde pequeños fragmentos de micrómetros de longitud hasta artículos de mayor tamaño incluido cascos de barcos y redes de pesca de muchos metros de largo (Browne *et al.*, 2010). Cada desecho plástico que se genera día a día llega a parar a diversos lugares desde ríos, playas, vertederos, e incluso en los océanos en donde están las famosas islas de basura (Eo *et al.*, 2019).

En ese sentido, las islas de basura se forman principalmente de plástico provenientes de fuentes terrestres con un 80%, el otro 20% es de aportes de barcos pesqueros, todo esto es transportado a una gran región situada en medio del Océano Pacífico Norte (entre América del Norte y Japón). Allí la corriente marina (“el giro subtropical del pacífico norte”), junto a los vientos y a la presión

atmosférica producen una circulación que engloban los desechos flotantes y los mantiene unidos en esa masa de agua (Elías, 2015).

Lo anterior, ocasiona que en los desechos terminen en diversas playas a nivel global, lo cual provoca más problemas acerca de la contaminación por plásticos. Hay que considerar que los plásticos no provienen de una sola fuente, sino que pueden ser transportados por los vientos, corrientes marinas, crecientes de ríos que arrastran todo lo que esté en su paso, e incluso son depositados directamente por los turistas en las playas.

Todo esto conlleva a la afectación tanto en animales terrestres como marinos, porque los plásticos son confundidos por los animales como alimento e incluso los puede llevar a la muerte por asfixia. Se creía que los macroplásticos al ya no verlos a simple vista, indicaban que ya se habían desintegrado totalmente, pero no es así. Algunos plásticos llevan un proceso de degradación, lo que conllevaba que ya no se pudieran observar.

Un aspecto a considerar es tomar en cuenta su clasificación respecto a su comportamiento a temperaturas elevadas, para poder determinar si son plásticos termoplásticos o termoestables. En el caso de los termoplásticos son los materiales que se ablandan y fluyen cuando se les aplica presión y calor, es así como la mayoría de los termoplásticos se pueden remodelar varias veces. En el caso de los termoestables estos una vez calentados reaccionan irreversiblemente de modo que las aplicaciones de presión y calor no los ablandan ni los hace fluir (Posada-Bustamante, 1994).

En las playas, de acuerdo a las condiciones que reúnen para que se dé el proceso de degradación física, tiene que ver con la incidencia de los rayos ultravioletas, la mayor temperatura y la disponibilidad de oxígeno en el mar, estas son factores que favorecen la degradación de los plásticos. Caso contrario ocurre en los fondos oceánicos, en donde los niveles de oxígeno y la temperatura son menores y en ausencia de radiación solar ocasiona que degradación sea muy lenta (Rojo-Nieto *et al.*, 2017).

Todo este proceso que lleva el plástico más grande a que sea degradado y se convierta en los famosos microplásticos, incluyen partículas plásticas con un tamaño no superior a 5 mm o 1/5 pulgadas. Además, las investigaciones llevadas a cabo a nivel mundial mencionan una prevalencia de microplásticos de colores negros, azules, verdes y rojos (Acosta-Coley y Olivero-Verbel, 2015; Frias *et al.*, 2016; Lots *et al.*, 2017; Karthik *et al.*, 2018, Piñon-Colin *et al.*, 2018).

Lamentablemente el plástico se ha vuelto indispensable en la vida moderna, ya que es barato, duradero y versátil. Debido a su estabilidad y propiedades de transporte a larga distancia, ahora son omnipresentes en todo el mundo (Lozoya *et al.*, 2016).

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la presencia, cuantificación y diferencia intermareal de los microplásticos en la playa Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas. Dicha información puede utilizarse como referente, para una la toma de decisiones sobre la gestión de estos residuos plásticos en esta región.

II. MARCO TEORICO.

2.1 Los plásticos.

El término “plástico” proviene del griego, y significa, que puede ser moldeado por el calor. De igual manera el término “plástico” esta también conocido como: Poliestireno o Polietileno, este se considera un gran invento que a su vez remplazo el marfil; asimismo al pasar las décadas alcanzo la popularidad que conlleva al aumento de su fabricación por parte de las empresas (Cedeño-Zambrano *et al.*, 2022).

Por otra parte, los plásticos esta formados por varios monómeros unidos en forma de cadena, asimismo, el material plástico puede existir como polímeros lineales o ramificados. En ese sentido, los plásticos se producen mediante la unión de uno o más monómeros como por ejemplo el etileno, el estireno o el cloruro de vinilo, que esto se denomina como polimerización. De este modo, el proceso de polimerización de polímeros como el etileno, el cloruro de vinilo y el estireno dio lugar al polietileno (PE), el cloruro de vinilo (PVC) y el poliestireno (PS) (Abota, 2012).

Los plásticos son llamados “polímeros” en virtud que son productos orgánicos, a base de carbono, con moléculas de cadenas largas. De los cuales, existen tres categorías generales:

a) plásticos naturales: aquellos productos de la naturaleza que pueden ser moldeados mediante calor, por ejemplo, algunas resinas de árboles.

b) plásticos semisintéticos: aquéllos que derivan de productos naturales y que han sido modificados o alterados mediante la mezcla con otros materiales.

c) plásticos sintéticos: aquéllos derivados de alterar la estructura molecular de materiales a base de carbono (petróleo crudo, por lo general, carbón o gas) (Góngora-Pérez, 2014).

Cabe destacar, que aunque se producen muchos tipos de plásticos en todo el mundo, este mercado está dominado principalmente por 6 clases de plásticos los cuales, incluyen: polietileno (PE), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS), poliuretano (PUR) y tereftalato de polietileno (PET) (Ogunola y Palanisami, 2016).

Antunes *et al.* (2018), mencionan que los polímeros producidos anualmente son: polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), Policloruro de vinilo (PVC), poliamida (PA), tereftalato de polietileno (PET) o alcohol polivinílico, estos polímeros suelen mezclarse con aditivos, el PE, PP, y PS flotan en el agua de mar, debido a esto pueden viajar largas distancias y así encontrarse lejos de las fuentes de donde provienen. Al contrario el PVC, PA, PET o PVA, estos tienen la capacidad de hundirse debido a su alta densidad intrínseca acumulándose potencialmente en los sedimentos bentónicos.

Cabe destacar, que la producción anual mundial es de casi 40kg de plásticos por cada uno de los 7 millones de seres humanos que habitan el planeta, lo que se aproxima a la biomasa humana total. Asimismo, la cantidad proyectada para 2050, según las tendencias actuales es de unos 40 mil millones de toneladas, cantidad suficiente para envolver 6 capas de film transparente alrededor del planeta (Veerasingam et al., 2016).

2.2. Clasificación de los plásticos.

Los plásticos pueden dividirse en tres categorías principales: plásticos termoestables, termoplásticos y elastómeros.

Plásticos termoestables: estos plásticos en general poseen mejores propiedades mecánicas, térmicas, químicas y por supuesto mayor resistencia eléctrica, estabilidad y estabilidad dimensional a comparación de los termoplásticos. Por ejemplo, un termoestable típico es el fenólico, que es un producto de reacción entre el fenol y el formaldehído. Algunos productos

comunes que se fabrican con este polímero son las manijas y perillas de los sartenes y cacerolas, así también como componentes de interruptores de luz y adhesivos (Covarrubias-Velázquez et al., 2016).

Asimismo, son materiales que adquieren un estado final reticulado (entrecruzado), que los hace insolubles e incapaces de fundir. A estos materiales se llega partiendo de materias primas de bajo peso molecular de las que se obtiene, en una primera fase, un producto intermedio (prepolímero o termoendurecible), muy poco o nada reticulado, todavía capaz de fundir y fluir, y por tanto de rellenar un molde.

La reticulación espacial que da lugar a la formación de la macromolécula termoestable, tiene lugar por reacción química (curado) durante el moldeo de la pieza. Puesto que no se funden y no reblandecen, son materiales que presentan muy buenas propiedades a elevadas temperaturas. Junto con su alta resistencia térmica presentan alta resistencia química, rigidez, dureza superficial, buena estabilidad dimensional, entre otras ventajas sobre otros materiales (Beltrán-Rico y Marcilla-Gomis, 2011).

Plásticos Termoplásticos: son aquellos que funden al ser sometidos a presión y temperaturas adecuadas. La mayoría de los materiales para envasado caen dentro de esta categoría cuya estructura permiten la fácil capacidad de ser reciclados. Los termoplásticos están compuestos de cadenas lineales o ramificadas y poseen la característica de ablandarse con la adición de calor, y son procesables en el estado de fluidez. Pueden ser reprocesados. Ejemplos de materiales termoplásticos son: Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS), Policloruro de vinilo (PVC), etc. (Torres-García, 1999).

Asimismo, los termoplásticos se derriten con el calor y se endurecen cuando enfrían. Por este motivo pueden ser reciclados fácilmente, esto se debe a que mantienen sus propiedades plásticas. Pueden recalentarse y formar otros objetos. Sin embargo, al ocurrir esto van perdiendo propiedades por lo que no pueden ser reciclados más de 5 o 6 veces (Jache-Chamorro, 2014).

Elastómeros: los elastómeros o cauchos son generalmente polibutadienos o compuestos que contienen dobles enlaces en la cadena principal, de modo que las cadenas de polímero se encuentran enrolladas sobre sí mismas, lo que les confiere gran flexibilidad. Por lo tanto estos materiales son capaces de soportar deformaciones muy grandes recuperando su forma inicial una vez que se elimina el esfuerzo (Beltrán-Rico y Marcilla-Gomis, 2011).

Por otro lado, Alcuri (2018), define a los elastómeros como polímeros naturales o sintéticos presentando un bajo módulo de elasticidad a temperatura ambiente, siendo capaces de soportar sin alteración, elongaciones reversibles luego de estar sometidos a un proceso de reticulación. De igual manera, el autor menciona que son utilizados en forma de mezcla, esto con el fin de mejorar sus propiedades fisicoquímicas.

Por lo tanto los elastómeros son materiales muy tenaces, resistentes a grasas, aceites y al ozono, por este motivo presentan buena flexibilidad a bajas temperaturas. Por lo tanto, todos los elastómeros tienen temperaturas de transición vítrea inferiores a la temperatura ambiente (Beltrán-Rico y Marcilla-Gomis, 2011).

2.3. Propiedades de los plásticos.

Los diferentes tipos de plásticos tienen una gran variabilidad de propiedades, por lo que es difícil de generalizar. No obstante, se puede mencionar que son ligeros en peso, de dureza aceptable, son durables, resistentes a diversas sustancias químicas y tienen bajo coeficientes de conductividad eléctrica. Sin embargo, las propiedades varían de acuerdo a la composición de cada plástico y la presencia de aditivos como estabilizadores, sustancias absorbentes a rayos ultravioletas, retardantes del fuego, entre otras (Poo-Rubio, 1978).

Por otro lado, las propiedades de los plásticos tienen diversas características, pero en cierto modo se puede decir que las propiedades de unos y otros son diferentes. Una de las principales características que los plásticos tienen es su plasticidad, esto quiere decir, que son fáciles de fabricar y dar forma,

de igual forma tienen una mala conductividad eléctrica por lo que pueden ser utilizados como aislantes eléctricos, la mayoría de los plásticos son ligeros, tienen una buena resistencia a los productos ácidos, disolventes y corrosivos (Espinoza, 2014).

2.4. Código de identificación de los plásticos.

Los códigos de identificación de los plásticos sirven para identificar y separar los plásticos por su contenido de resina, esto para facilitar su clasificación y su procesamiento al final de su vida útil. Asimismo, el sistema fue creado con un símbolo que refleja los tres pasos del proceso de reciclado que son los siguientes: recogida de materiales, reciclado y nuevos productos reciclados. Del mismo modo, visualmente la codificación se muestra con la forma de un triángulo este formado por tres flechas que rodean números del 1 al 7 (Cuadro 1) (Sintac Recycling, 2023).

Cuadro 1: identificación de los plásticos por sus códigos

Código SPI	Abreviatura	Nombre	Uso	Reciclaje
	PET o PETE	Tereftalato de polietileno	Botellas de bebidas como refrescos o agua y otros embaces ligeros como paquetes de comida, botes de crema y otros usos farmacéuticos.	Una vez es reciclado el PET, se puede utilizar en nuevas botellas, textiles para prendas de vestir, alfombras, maquetas, lonas, velas náuticas o hilos y cuerdas.
	PEAD O HDEP	Polietileno de alta densidad	Se usa en botellas de leche, botella de detergentes, paquetes de comida y botellas de aceite para motores.	Sus usos tras ser reciclados es para nuevos embaces, cajas, macetas, contenedores de basura, juguetes, tubos, piezas de mobiliario urbano y de jardín o nuevas botellas de detergente.
	PVC	Policloruro de vinilo	Empleado para la fabricación de botellas de champú y detergentes, de igual manera en juguetes, tuberías, mangueras.	Al ser reciclados pueden usarse en suelas de calzado, reglas, artículos para el hogar, muebles para exteriores y tubos para el riego.
	LDPE O PEBD	Polietileno de baja densidad	Empleado para la fabricación de botellas de agua, bolsas de supermercado, para envolver y guantes.	Al ser reciclados pueden convertirse en el mismo producto de origen en su reciclado, además de otros usos como muebles, macetas, tubos o membranas aislantes.
	PP	Polipropileno	Empleado para la fabricación de envases de mantequilla y yogures, de igual manera en la fabricación de pajitas y tapas de botellas.	Al ser reciclados pueden convertirse en contenedores para transporte, equipos de jardinería, sillas de plástico, textiles, escobas, cubos de fregar o raspadores de hielo
	PS	Poliestireno	Empleado para elaborar vasos para bebidas calientes, cubiertos de plástico, rellenos para embalaje, bandejas de comida.	Al ser reciclados pueden convertirse en aislamientos térmicos, material de oficina, perchas, macetas o cubos de basura.
	Otros	Incluye materiales elaborados con más de una de las resinas de las categorías 1 a la 6.	Estos incluyen una mezcla de varios tipos de plásticos empleados para la fabricación de botellas ketchup, biberones, jeringuillas, CDs o DVDs.	Algunos embaces no son reutilizados ni tampoco reciclables, a excepción de lo que están etiquetados como "PLA", que al ser biodegradables sirven para obtener compost.

2.5. La degradación de los plásticos.

La degradación es cualquier cambio indeseable en las propiedades, que ocurre después de que el material ha sido puesto en servicio. En el caso de los polímeros la degradación puede afectarlos física, química o mecánicamente. Asimismo, los agentes que producen cambios en los polímeros rara vez actúan en forma individual. Por lo tanto, se puede hablar de los efectos separados del calor, la radiación, las sustancias químicas y la energía mecánica. Entonces la intemperie, o exposición al aire exterior, pone al material en contacto con el ambiente (Posada-Bustamante, 1994; Segura *et al.*, 2007).

A pesar de sus múltiples propiedades, los polímeros, en cierto sentido tienen grandes limitaciones: estos se funden o descomponen a temperaturas superiores a 200°C, se disuelven o se hinchan en los fluidos orgánicos calientes, aunque algunas de estas desventajas son superadas por polímeros basados en el silicio (Posada-Bustamante, 1994).

Asimismo, Segura *et al.* (2007) mencionan que los plásticos sintéticos su degradación es muy lenta. La descomposición de los productos orgánicos tarda entre 3 a 4 meses, las telas de algodón 5 meses, a comparación de los plásticos que pueden tardar hasta 500 años. Los autores también mencionan que la degradación de estos plásticos generan partículas plásticas más pequeñas, que a pesar de que ya no son evidentes se acumulan en los ecosistemas.

De igual manera, Kim *et al.* (2015) mencionan que los plásticos de tamaño macro en ambientes marinos se degradan física, biológica y químicamente y se descomponen en partículas de tamaño nano y micro, estas partículas erosionadas con un tamaño inferior a unos milímetros, se clasifican como microplásticos.

Por otra parte, es probable que las condiciones frías y halinas del medio marino impidan la fotooxidación. Sin embargo, los plásticos en las playas tienen alta disponibilidad de oxígeno y exposición directa a la luz solar, por esta razón, se degradan rápidamente, volviéndose quebradizo con el tiempo, o de igual

manera formándose grietas y tornarse amarillentos (Moore, 2008; Barnes *et al.*, 2009; Andrady, 2011; Cole *et al.*, 2011).

De igual manera, los microorganismos como las bacterias y hongos están implicados en la degradación de los plásticos tanto naturales como sintéticos. La biodegradación de los plásticos se produce de forma activa bajo diferentes condiciones del suelo en función de las propiedades, esto porque los microorganismos responsables de la degradación difieren entre si y tienen sus propias condiciones óptimas de crecimiento en el suelo. La biodegradación se rige por diferentes factores que incluyen características del polímero, el tipo de organismo y el pretratamiento (Shah *et al.*, 2008).

2.6. Microplásticos.

Recientemente ha aumentado la preocupación sobre las implicaciones de la contaminación por residuos de tamaño pequeño, especialmente si están compuestos de plástico. El término microplástico, este se ha introducido para poder describir los pequeños residuos plásticos, normalmente de menos de 5 mm de diámetro (Masura *et al.*, 2015). La preocupación por los microplásticos se debe a su presencia ubicua en el medio marino. Sin embargo, es difícil evaluar su cantidad debido al tamaño pequeño de las partículas y el hecho de que se sabe poco sobre las reacciones químicas y el grado de su incorporación a la cadena trófica (UNEP y GRID-Arendal, 2016).

Por lo tanto, los microplásticos incluyen partículas plásticas con un tamaño no superior a los 5 mm o 1/5 de pulgada (Figura 1). Además los microplásticos incluyen piezas que provienen de la degradación de plásticos voluminosos hechos de polietileno (Bolsas plásticas, botellas), poliestireno (Contenedores de alimentos), nylon, polipropileno (Telas) o cloruro de polivinilo (Tuberías plásticas), pequeñas esferas plásticas (fabricación de juguetes y almohadas blandas), microesferas (adicionadas a productos de cuidado personal, como la pasta dental), para darle color, brillo o como material de relleno (Sarria-Villa y Gallo-Corredor, 2016).

El polipropileno es ampliamente utilizado en los envases desechables, popotes y como tapas de botella de agua, mientras que el poliestireno expandido se utiliza en la fabricación de vasos y platos desechables. Ambos plásticos han sido reportado como prevalentes en estuarios del Golfo de México de Estados Unidos de América (Wessel *et al.*, 2016), Brasil (de Carvalho y Baptista-Neto, 2016), Qatar (Abayomi *et al.*, 2017), Corea del Sur (Kim *et al.*, 2015), Sudáfrica (Nel y Froneman, 2015), Uruguay (Lozoya *et al.*, 2016) y Perú (Purca y Henostroza, 2017).

Asimismo, la FAO (2017), menciona que los microplásticos son pequeñas partículas y fibras de plástico. Sin embargo, no existen estándares establecidos para determinar el tamaño máximo de una partícula, pero consideran que generalmente el diámetro de las partículas es inferior a 5 mm. Hacen mención que la clasificación abarca las nano partículas que constituyen fragmentos de menos de 100 nanómetros. Estas partículas que mencionan se clasifican en gran medida con base a sus características morfológicas: tamaño, forma y color. Por esta razón el tamaño es un factor particularmente importante para estudiar los microplásticos, ya que esto indica la medida en que los organismos puedan verse afectados.

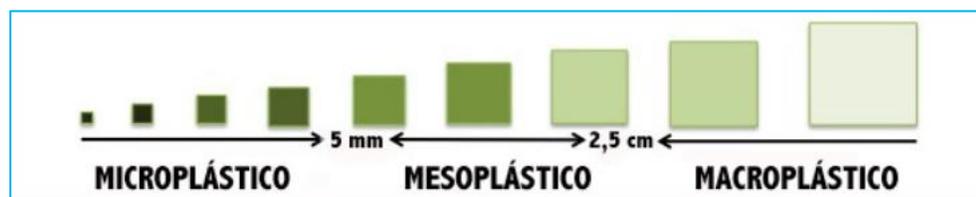


Figura 1. Tamaños de la basura marina (Tomado de Lagos *et al.*, 2019)

2.7. Clasificación de los microplásticos.

Los microplásticos se pueden clasificar en primarios y secundarios. Los microplásticos primarios se definen como plásticos fabricados para tener un tamaño microscópico, en un rango de tamaño inferior a 5 mm (Cole *et al.*, 2011). Estos incluyen gránulos de resina de preproducción, a menudo de 3-5 mm de

diámetro, que se utilizan como materia prima en la fabricación de plásticos, como por ejemplo, las microperlas incorporadas en producción de cosméticos y perlas utilizadas para el chorreado abrasivo de superficies, (GESAMP, 2015; Lusher *et al.*, 2017). La mayoría de los microplásticos primarios presentes en el medio ambiente proceden de productos industriales y domésticos (Betts, 2008; Moore, 2008).

Los microplásticos secundarios proceden de la fragmentación de plásticos grandes en restos más pequeños, tanto en el mar como en tierra (Ryan *et al.*, 2009). Estas son piezas de plástico que debido a factores como la exposición al sol, viento, olas, temperatura entre otros, se fragmentan en partículas más pequeñas. Algunos ejemplos de microplásticos secundarios son los diminutos pedazos de bolsas plásticas que se fragmenta con la acción del tiempo calor y las olas, de esta manera estos residuos ya no son visibles a simple vista, ya que no se ha completado su degradación (Lagos *et al.*, 2019). Se calcula que la longevidad de los plásticos secundarios oscila entre meses y miles de años (Zheng *et al.*, 2005; Barnes *et al.*, 2009).

Los microplásticos secundarios tienen una erosión gradual o abrasión de los plásticos más grandes principalmente por la exposición prolongada a la exposición solar ultravioleta, lo que resulta en fotodegradación o abrasión mecánica. De esta manera, la meteorización es evidente en las playas donde la temperatura y las concentraciones de oxígeno son más altas que en el agua. A medida de que la fragmentación y la erosión va aumentando, disminuye el tamaño de los plásticos y aumenta su potencial para ser ingeridos por la fauna marina (Lots *et al.*, 2017; Vedolin *et al.*, 2019)

2.8. Fuentes de las que proviene el microplásticos

Los residuos plásticos se encuentran habitualmente en las masas de agua y en los sedimentos de las playas y proceden de dos fuentes principales, terrestres y oceánicas, siendo las actividades domésticas, industriales y

pesqueras las que más contribuyen (Li *et al.*, 2016). Una vez que los residuos plásticos han entrado en el medio ambiente, son difíciles de biodegradar y sólo se fragmentan en trozos más pequeños; por tanto, persisten en el medio ambiente debido a su larga vida útil y a su resistencia a la corrosión (Li *et al.*, 2016; Cruz-Salas *et al.*, 2020).

La mayor fuente de microplásticos en los cuerpos de agua incluye las aguas residuales de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y la escorrentía de las zonas urbanas, rellenos sanitarios y áreas industriales (Sarria-Villa y Gallo-Corredor, 2016; Hernández-Hernández y Damián-Pérez, 2018). Esto concuerda por lo reportado con Piñon-Colin *et al.* (2018), quienes mencionan que los vertidos de agua aguas residuales han sido identificados como una de las principales fuentes de los microplásticos en el medio ambiente y esto está relacionado con zonas densamente pobladas.

Los microplásticos usados como aditivos en algunos productos de cuidado personal y fibras de microplásticos de telas sintéticas tales como poliéster y poliamida son descargados durante el lavado de las prendas de vestir, terminando finalmente en las aguas residuales. Estos microplásticos frecuentemente no son removidos en las PTAR debido a su pequeño tamaño y flotabilidad y de esta manera siendo liberados a los cuerpos de agua tales como los ríos, lagos y océanos como parte de los efluentes de las PTAR (Sarria-Villa y Gallo-Corredor, 2016).

Las cifras exactas sobre las entradas no se han podido determinar aún, aunque sí se han realizado algunas estimaciones. En primer lugar, está comprobado que las fuentes principales de basuras marinas al medio ambiente marino son aquellas de procedencia terrestre, alcanzando el 80% del total, con puntos calientes en zonas industrializadas o de mayor densidad de población, así como en zonas cercanas a plantas de tratamiento de residuos (Rojo-Nieto y Montoto-Martínez, 2017).

Hernández-Hernández y Damián-Pérez (2018), mencionan que el 80% de la contaminación marina incluyen microplásticos primarios que generalmente son utilizados en productos de higiene personal y de igual manera los que son utilizados en air blasting (pintado de plataformas marinas). Por otra parte el 20% restante está representado en las entradas desde los propios océanos siendo la actividad humana que más contribuye a esto la pesca, y en especial la pesca fantasma: el abandono o pérdida de aparejos (redes, líneas, boyas, etc.) que viajan a la deriva en los océanos atrapando accidentalmente numerosos organismos y dañando hábitats bentónicos (Rojo-Nieto y Montoto-Martínez, 2017).

Una de las principales vías de ingreso de los plásticos al mar son los ríos, pero también lo drenajes pluviales y los de aguas servidas (o cloacales). Hay regiones donde el viento arrastra basura plástica a los mares (por ejemplo, en la Patagonia). Todas las grandes ciudades, y más aún las ciudades industriales, son generadoras de la contaminación por plásticos. El plástico también termina en el medio marino por accidentes, o porque se maneja descuidadamente, porque es dejado atrás por las personas que van a la playa. Los pescadores deportivos y los botes recreacionales descargan o dejan grandes cantidades de desperdicios (Elías, 2015).

2.9. Impacto de los microplásticos en el ambiente marino.

Las interacciones que se producen entre la basura marina y el medio ambiente marino son diversas y complejas. Por un lado, las de mayor tamaño, además de producir interferencias estéticas, pueden llegar a causar daños económicos y sociales por interacciones con la pesca, aparejos y otras actividades marítimas (Torrez-Pérez *et al.*, 2021).

Asimismo, son cada vez más numerosos los impactos en el conjunto de la biota marina. Con este incesante ritmo de producción de plástico de un solo uso y de una vida media tan corta, los microplásticos es hoy en día una de los factores de contaminación marina más extendida y crónica. Estas pequeñas

partículas entran en los océanos de formas muy diversas y son distribuidas por todas las cuencas oceánicas por las corrientes marinas, resultando en una distribución global de estos materiales. Su presencia en la diversidad de hábitats oceánicos, y acuáticos en general, no hace sino incrementar el número de ecosistemas y organismos vulnerables a su exposición (Rojo-Nieto y Montoto-Martínez, 2017). Del mismo modo, se han reportado microplásticos en estuarios y cuerpos de agua dulce (Andrady, 2015).

Asimismo, la cantidad de desechos plásticos en los océanos ha aumentado de forma creciente en los últimos años, estimándose que entre 5 y 13 millones de T/año de plásticos (es decir, entre el 1.5% y el 4% de la producción mundial) acaban en los mares. Esto lleva a que el plástico sea transportado por las corrientes oceánicas a grandes distancias, formando zonas densas de basura marina que queda atrapada en función de la dinámica de estas corrientes (Marín-Galvín *et al.*, 2019).

No obstante, los materiales plásticos que se originan tanto en fuentes terrestres como marinas son conocidos por diversos impactos perjudiciales como enredo, ingestión, efectos sobre la reproducción del hábitat, por ejemplo los microplásticos llamados gránulos de baja densidad se convierten en sustrato para el establecimiento de diversos organismos como son los briozoos, percebes, gusanos poliquetos, hidroides y moluscos, proporcionando así un medio mucho más eficaz para la propagación de especies no nativas (Acosta-Coley y Olivero-Verbel, 2015; Karthik *et al.*, 2018).

2.10. Efectos de los microplásticos en los organismos marinos

Los plásticos hacen un daño realmente significativos, ya que en el océano pueden llegar a ser ingeridos, al enmallamiento, así también como la asfixia por bolsa plásticas por diversos organismos marinos (Herrera *et al.*, 2017). Arrighetti (2019), menciona que numerosos animales de diversas especies han ingerido plástico al confundirlo con alimentos, uno de los ejemplos que esta autora

remarca son las tortugas ya que estas suelen confundir las bolsas de plástico con medusas.

En ese sentido, estos efectos se suman también el de los microplásticos, de los cuales los daños no son debidos exclusivamente a la ingestión, que pueden causar obstrucción intestinal o de los órganos de filtración, sino que también debido a su capacidad de absorber sustancias químicas que se adhieren en sus paredes y se concentran en ellos. Asimismo, se ha comprobado que los microplásticos, debido a su pequeño tamaño, son ingeridos por el zooplancton, pudiéndose transferirse de la misma forma en la cadena trófica (Herrera *et al.*, 2017, Egbeocha *et al.*, 2018).

En cuanto a los peces que se alimentan de organismos plantónicos ajustan su estrategia de ataque cuando buscan presas abundantes, estos en lugar de correr hacia una sola presa se acercan a las presas agregadas más lentamente y extraen un volumen de agua para engullir varias presas a la vez; de este modo los microplásticos que flotan entre las presas pueden ser tragados accidentalmente por los peces planctívoros que habitan en áreas donde los microplásticos presentan una gran variedad de plancton, con las aguas costeras cercanas a los centros urbanos (Christian *et al.*, 2018). No existen reportes de microplásticos en los músculos ni en partes comúnmente comestibles de los peces marinos, por lo que la amenaza que presenta frente a la seguridad alimentaria es mínima (de la Torre, 2019).

Además, la interacción entre los microplásticos y fitoplancton pueden interferir en la alimentación del zooplancton, ya que en este sentido el fitoplancton es una fuente importante de alimento para la mayoría de los animales planctónicos. Asimismo, se ha documentado de que la formación de heteroagregados ha provocado una mayor tasa de ingestión de microplásticos en el zooplancton. Esto, a su vez, podría hacer que los microplásticos lleguen a los organismos depredadores y filtradores de los niveles tróficos superiores (Ayukai, 1987; Egbeocha *et al.*, 2018).

Ory *et al.* (2017), mencionan que los microplásticos presentan una amenaza para la integridad de los ecosistemas marinos, ya que son ingeridos por organismos marinos a los que les puede causar efectos fisiológicos y comportamientos nocivos, debido a que los fragmentos rígidos puntiagudos pueden perforar órganos y tejidos. Del mismo modo, Abayomi *et al.* (2017) mencionan que una vez ingeridos los microplásticos pueden causar abrasión interna en los tejidos del tracto digestivo o la acumulación en la cavidad digestiva y los túbulos.

Los impactos ambientales conocidos del plásticos sobre algunos organismos marinos incluyen, entre otros, enredos de la fauna marina, muerte por asfixia; ingestión de plásticos por aves marinas, peces mesopelágicos, organismos planctónicos, mamíferos y reptiles marinos (Kukulka *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2016). Por ende, las industrias del plástico deberían responsabilizarse del final de la vida útil de sus productos introduciendo programas de reciclado o mejora de los plásticos.

2.11. Bioacumulación o biomagnificación.

Los microplásticos por su pequeño tamaño, son ingeridos por la fauna marina con mayor frecuencia que los macroplásticos. Por lo tanto la ingesta de estos puede causar acumulación de toxinas y plásticos en los organismos (bioacumulación) y posteriormente, los contaminantes pueden biomagnificarse a otras especies consumidoras. Es decir, si un pez ingiere microplásticos, estos se acumularan en su organismo y asimismo se podría transferir a otro organismo que consuma al pez como alimento, incluso a los seres humanos (García-Marín, 2019).

Asimismo Lusher *et al.* (2017), mencionan que una preocupación común sobre muchos contaminantes persistentes es la posibilidad de la transferencia trófica y bioacumulación. Mencionan que los PBT (termoplástico semicristalino) se acumulan en los tejidos de los organismos y ascienden por la cadena

alimenticia, de esta manera lo que provoca es un aumento de la carga corporal en los niveles tróficos superiores.

De igual manera, el autor menciona que debido a sus propiedades hidrofobas los componentes orgánicos persistentes se acumulan en gran medida en los microplásticos que flotan en el medio marino. De esta manera se ha observado que los macroplásticos presentes en los océanos, regiones costeras y los depositados en las playas contienen altas concentraciones de los siguientes contaminantes: bifenilos policlorados (PCB), como las no dioxinas, de 0.01 ng/g a 2.970 ng/g; hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) de 4 ng/g a 44.800 ng/g; diclorodifeniltricloroetano (DDT), y análogos DDD y DDE, de 2 ng/g a 2.100 ng/g.

III. ANTECEDENTES.

3.1. Historia del surgimiento de los plásticos.

Para poder tener conocimientos del cómo surgió el primer plástico, nos sumergiremos un poco en la historia. Los egipcios en el año 2000 a. C, además de usar resinas naturales para embalsamar a sus cuerpos, también usaban el asta natural calentándolo para moldear figuras y recipientes. Se siguió utilizando en Europa durante el medievo, para realizar cucharas, peines o faroles. Asimismo, la goma laca, la cual es un polímero natural producido por las secreciones de la hembra de una Chinche llamado lac, originaria de la India y el sudeste de Asia. Esta secreción endurecida se disuelve en alcohol, y se puede aplicar en superficies produciendo un recubrimiento brillante, impermeable y casi transparente (García-Diez, 2009).

Por otra parte dejando atrás los polímeros naturales, surgen los primeros pasos hacia el estireno, componente a partir del cual, años más tarde nacería el poliestireno y las resinas de poliéster. Durante el siglo XIX tuvo lugar el descubrimiento del caucho, la caseína, la ebonita y el celuloide, materiales considerados como los antecesores o padres de los plásticos modernos (De Cusa, 1979).

En la segunda mitad del siglo XIX, nació una pujante industria: la de la flexibilidad y la resistencia. El inventor estadounidense Jonh Wesley Hyatt, motivado por la búsqueda de un material que reemplazara al marfil natural en las bolsas de billar, logro el primer polímero artificial que fue bautizado con el nombre de celuloide (Sánchez y Bravo, 2013).

Asimismo en el siglo XX, Leo Baekeland descubre en 1907 una resina termoestable preparada por reacción entre el fenol y formaldehído a la que denomino bakelita inspirándose en su propio nombre, el éxito de este investigador sirvió de estímulo a otros en la búsqueda de nuevos materiales (López-Carrasquero, 2014). Gracias a este descubrimiento se fabricaron placas dentales,

mangos de cubiertos, cuellos de camisas y películas cinematográficas, sin embargo no fue hasta 1909 que con la comercialización de la baquelita, la primera sustancia totalmente sintética (invento del químico estadounidense de origen belga Leo Hendrik Baekeland), se acuñó el término plásticos. (Sánchez y Bravo, 2013).

Durante los años veinte, se produjo el primer plástico moldeado a color, esto mediante combinar el dióxido de carbono y amoníaco con formaldehído, llamado formaldehído de urea que podría ser usado para generar efectos visuales siendo muy popular en la fabricación de vajillas. De manera que, añadiendo colorantes en polvo a la mezcla blanca, era posible producir patrones que se asemejaban al mármol, alabastro o piedra, en ese sentido, por primera vez los plásticos no sólo tuvieron una aplicación funcional sino también estética. Asimismo, estas resinas de urea encontraron aplicaciones industriales de gran importancia en la fabricación de barnices, laminados y adhesivos (Montero-Rodríguez y Mejía-Barragán, 2018).

La aparición de las primeras botellas de plásticos fue en 1968 (agua mineral Vittel en Francia). Asimismo, en 1980 el mundo produjo 60 millones de toneladas métricas de plástico, para el año 2000, esta producción alcanzó los 187 millones de toneladas métricas (Chalmin, 2019).

3.2. Estudios que han evaluado la presencia de microplásticos a nivel mundial y México.

Wessel *et al.* (2016), realizaron un estudio acerca de la abundancia de microplásticos en los sedimentos de las playas, en donde muestrearon sedimentos arenosos intermareales en Mobilie Bay en Alabana EE.UU, el cual se encuentra en el norte del Golfo de México y representa el cuarto estuario más grande de los Estados Unidos. El estudio se realizó durante la temporada de verano (Junio-Septiembre) en marea baja. Los autores mencionan que distribuyeron los lugares de muestreo alrededor del estuario, donde cuatro puntos se distribuyeron en áreas influenciadas principalmente por fuertes descargas de agua dulce y forzamiento y los otros tres puntos en áreas dominadas por mareas marinas.

Los autores hacen mención que los muestreos se hicieron a lo largo de tres tramos de costa en cada uno de los siete lugares, en los cuales colocaron cuatro cuadrantes aleatoriamente con medidas de 0.25 m x 0.25 m, de este modo colectaron 12 muestras por cada una de las ubicaciones.

Los autores concluyen que la abundancia no varió entre las ubicaciones dentro de los grupos que son más o menos influenciadas por el mar, pero sí fue diferente entre los dos grupos. Del mismo modo, los valores de abundancia de microplásticos variaron desde un mínimo de 5 m² en el sitio 2 hasta un máximo de 117 piezas por m² en el sitio 7. Asimismo, mencionan que encontraron cinco polímeros, los cuales fueron polietileno, polipropileno, poliestireno, poliéster y poliamida alifática.

Purca y Henostroza (2017) en un estudio realizado en cuatro playas peruanas, playa Vesique (9.29° S, 78.17° W), playa Albúfera de Medio Mundo (11.37° S, 77.57° W), playa Costa Azul -Ventanilla (12.08° S, 77.08° W) y playa El Chaco (13.72° S, 76.3° W). Sus muestras fueron colectadas en Junio de 2014 y Mayo de 2015, utilizaron el protocolo del Instituto Tecnológico y Ciencia del Océano de Corea.

Los autores mencionan que eligieron cuatro playas arenosas que presentaban más de 100 metros de largo. Cada playa la dividieron en dos transectos con tres cuadrantes, para que pudieran delimitar los cuadrantes utilizaron un marco de 0.5 por 0.5 m. La primera fila de cuadrantes la ubicaron sobre la línea de acarreo (parte alta de la zona supralitoral).

Las muestras que colectaron fueron de la capa superficial con la ayuda de un cucharón y tamizadas con un tamiz de 1 mm. Los fragmentos atrapados en el tamiz se guardaron en una bolsa con cierre. Las muestras que eran mayores a 2.5 mm se removieron, al igual que desechos orgánicos, como los fragmentos de ramas y semillas.

Para que evaluaran la presencia de fragmentos menores a 1 mm, la arena tamizada de los seis cuadrantes los juntaron en una bandeja, la homogenizaron y

luego colectaron tres cuartos de la mitad de un frasco de 500 ml para que posteriormente las analizaran. Obtuvieron como resultados que los fragmentos de plástico duros mayores a 1mm fueron encontrados en las cuatro playas arenosas y representaron más del 80% de cada muestra.

Monteiro-Pereira., *et al.* (2020) realizaron un estudio realizado en Fernando de Noronha en un archipiélago volcánico ubicado en el Océano Atlántico Tropical. Donde su naturaleza geológica está formada por montañas volcánicas submarinas que emergen de la zona de fractura de Fernando Noronha y en donde forma 21 pequeñas islas y acantilados.

Los autores hicieron muestreos para conocer la cantidad de microplásticos que se encontraban en ese lugar. Hacen mención que las muestras utilizadas en este estudio fueron recolectadas en la temporada de verano austral, para evitar que las olas mayores lleguen a la isla, de igual manera tienen influencia baja de la Corriente Ecuatorial del Sur.

Para la toma de muestras, utilizaron tres cuadrantes para cada playa, en donde un cuadrante quedó en el centro y los otros dos cuadrantes a los extremos del arco de playa. Obtuvieron un total de 40 muestras, las cuales se guardaron en bolsas de plástico selladas hasta el momento de su análisis. Las muestras fueron secadas en estufa y tamizadas a través de una malla de acero inoxidable de 1mm. Los microplásticos se identificaron de acuerdo a la tipo/forma, color y tamaño.

Los autores menciona que los resultados que obtuvieron, el 90% correspondieron a fibras sintéticas y los fragmentos representaron un aproximado del 10%. Reportan que en cuanto al color, las fibras sintéticas fueron azules, negras e incoloras de las cuales representaron casi el 100% de las partículas de plástico a excepción de algunas fibras de color rosa y rojizo. En tanto, que los fragmentos que obtuvieron, predominaron los colores azules, seguidos de los verdes y otros como blanco, amarillo, gris y rojo. Concluyen que en los resultados presentados hubo variabilidad entre playas, debido quizás a diferentes patrones

de corrientes de pequeña escala, de igual manera puede ser el tamaño del grano dominante en las playas, la acción de las olas o la exposición relativa del viento.

Alvarez-Zeferino *et al.* (2020), cuantificaron y clasificaron los microplásticos encontrados en 33 playas mexicanas ubicadas tanto en el Pacífico como en el Atlántico, a lo largo de las cinco regiones marinas del país, siguiendo un método sistemático que permite comparar los resultados. El Golfo de California fue la región que mostró una mayor concentración media. Mencionan que la presencia de microplásticos fue mayor en las playas urbanizadas y aumentó con la ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos. Concluyen que la prevención de la contaminación de las playas por microplásticos permitiría preservar los recursos naturales del país, así como recuperar materiales valiosos que pueden reinsertarse en los ciclos productivos.

Cruz-Salas *et al.* (2020) realizaron un estudio en la playa Zipolite en Oaxaca, donde caracterizaron y cuantificaron los microplásticos y los residuos sólidos urbanos. En su metodología, los autores dividieron el estudio en cuatro etapas, que fueron la selección de zona de estudio. En esta etapa, los autores detallan la playa y la localidad donde muestrearon, desde si es una zona marginada, hasta el número de habitantes, de igual manera detallaron las características de las playas desde el color de la arena, el tamaño del grano, tipo de oleaje entre otras cosas.

En la segunda etapa, detallan el muestreo en campo desde la hora del muestreo, los días, meses y el año en cuando realizaron la investigación. En la tercera etapa, que es acerca del muestreo de residuos sólidos urbanos, detallan como delimitaron la zona de estudio, en cuantas secciones lo dividieron, el ancho de la playa desde la línea de agua hasta la zona de vegetación. Por último, en la cuarta etapa, describen el muestreo de microplásticos, donde detallan cuantos metros seleccionaron y en cuantos puntos los dividieron, cuantos centímetros de altura tomaron en cuenta para sacar las muestras entre otros puntos más.

Los autores reportan que para la clasificación de residuos sólidos urbanos dividieron los residuos en categorías (macro residuos y fragmentos), cada una de

estas categorías la clasificaron por día de acuerdo al promedio de piezas y masa seca sumando los resultados de sus tres muestreos realizados. Mencionan que para comparar la cantidad de residuos presentes en la playa, calcularon el porcentaje de incremento de macro residuos y fragmentos.

En los resultados de la presencia de microplásticos en la playa Zipolite mencionan que los microplásticos estuvieron presentes en todos los muestreos. Por último, los autores discuten que en los análisis estadísticos de los muestreos se detectaron diferencias entre la media de las concentraciones de macroresiduos y fragmentos en los diferentes muestreos, y que dichas diferencias depende de las temporadas de muestreo.

Torrez-Pérez *et al.* (2021), realizaron un estudio sobre la presencia de microplásticos en 12 playas Urbanas, suburbanas, rurales y naturales de Colima y Jalisco, de las cuales cinco pertenecen a las costas de Colima en el municipio de Manzanillo y 7 pertenecen a las costas de Jalisco.

Los autores mencionan que la metodología consistió en realizar los muestreos durante la temporada de seca, en un transecto de 100 metros sobre la pleamar. Las muestras fueron colocadas en bolsas con cierre rotuladas con el número y punto de muestreo.

En relación al análisis de laboratorio, los autores consideraron dos etapas: la piloto y la de ejecución. En ambas fases, se inició con un pretratamiento de las muestras que consistió en secarlas en una estufa a 60°C durante 48 horas para eliminar la humedad. La hipótesis planteada en el estudio fue que las playas con diferentes niveles de desarrollo urbano presentarían una mayor cantidad y diversidad de microplásticos en comparación con las playas naturales.

En cuanto a los resultados generales, se observó que en la prueba piloto se detectaron un total de 358 microplásticos en una sola muestra, mientras que en la fase de ejecución se registraron 12,001 microplásticos en 282 filtros analizados correspondientes a 94 muestras.

Por último, los autores discuten que en las 12 playas urbanas analizadas, la presencia de microplásticos sugiere una dispersión de estos contaminantes sin limitaciones significativas debido a factores ambientales o antropogénicos. Por lo tanto, destacan la necesidad de prestar especial atención a este fenómeno de dispersión.

Valencia-Ramírez (2021) realizó un estudio en el lago Chapala para evaluar la presencia de microplásticos. Se seleccionaron 7 zonas de muestreo, cada una con 6 puntos, totalizando 42 muestras de agua, sedimento y peces. El muestreo de agua se llevó a cabo con una red de malla tipo Tralw, previamente lavada para evitar contaminación. Se recolectó 1 litro de agua en cada punto. Para los sedimentos, se utilizó una draga tipo Ekman, obteniendo 1/2 kg de muestra por punto. El muestreo de peces se realizó en febrero de 2021, durante la temporada de sequía.

En los resultados, se observó que los colores predominantes de microplásticos en el agua y sedimentos fueron el rojo y azul. Se mencionaron estudios previos que también reportaron microplásticos en lagos. En peces, se estudiaron tres especies, encontrando una mayor presencia de microplásticos en la Carpa (*Cyprinus carpio*), relacionada con su mayor tamaño y peso, lo que indica una mayor ingestión de alimentos y contacto con el sedimento. Las formas más comunes de microplásticos fueron fibras o filamentos en las tres matrices de estudio, y los colores predominantes fueron azul, negro y rojo.

Franco-García y Macías-Hernández (2022) llevaron a cabo un estudio en tres playas del municipio de Tuxpan, Veracruz, para evaluar la cantidad y características de los microplásticos presentes. Se seleccionaron las playas Aventura, El Arca y Azul, ubicadas al norte del estado, considerando su nivel de afluencia turística. Se utilizaron métodos de muestreo basados en el trabajo de Vázquez-Morillas et al. (2020), recolectando muestras en julio, agosto y septiembre de 2021. En cada transecto, se seleccionaron diez sitios a intervalos de 10 metros a lo largo de la línea de pleamar.

En el laboratorio, se realizaron cuatro etapas para determinar y caracterizar los microplásticos en muestras de arena. Se cuantificaron considerando la masa de arena seca, el área colectada y la longitud del punto de muestreo. Se clasificaron por color y tipo, siendo los más comunes los microplásticos verdes y azules, atribuidos a hilos de pesca y las formas fibras y flexibles.

Se compararon los resultados con otros estudios en playas mexicanas, mostrando tendencias similares en la composición de colores de microplásticos. Se presentaron gráficas para cada playa, destacando los sitios con mayor presencia de microplásticos por color y forma.

Además, se propusieron alternativas de manejo sustentable de plásticos a nivel individual, local, estatal y nacional para reducir la contaminación costera. Las autoras concluyeron que la educación ambiental y la colaboración entre ciudadanos, empresas y gobiernos son cruciales para mitigar la presencia de residuos sólidos en las playas y mejorar la calidad ambiental.

El estudio de Gómez-Garcés y Vélez-Torres (2023), se enfocó en una playa en San Jacinto, provincia de Manabí, Ecuador, con el objetivo de investigar la presencia de microplásticos y su impacto ambiental.

Los autores comenzaron proporcionando una descripción detallada de los plásticos y la contaminación marina. Luego, ubicaron el contexto del estudio en el Balneario de San Jacinto, un pueblo de pescadores en la costa del Océano Pacífico, destacando su relevancia geográfica y socioeconómica.

La metodología del estudio abarcó desde la selección de la playa de San Jacinto como área de estudio, hasta la recolección y análisis de muestras de arena y agua superficial marina. Se utilizaron diversas técnicas y protocolos, como muestreo aleatorio simple y extracción de microplásticos en el laboratorio, siguiendo métodos propuestos por investigaciones previas.

El análisis de los resultados se centró en la cuantificación y caracterización de los microplásticos encontrados, utilizando herramientas como Microsoft Excel para el procesamiento de datos y la elaboración de tablas y gráficos.

Las conclusiones del estudio destacaron varios aspectos clave, incluyendo la distribución de microplásticos en las diferentes áreas de muestreo, la cantidad encontrada por metro cuadrado, los tipos predominantes de microplásticos, así como las recomendaciones emitidas y la importancia de la sensibilización comunitaria sobre esta problemática ambiental.

IV. OBJETIVOS

4.1 General.

Evaluar la presencia, cuantificación y diferencia de los microplásticos que se encuentran en la playa Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas, México.

4.2 Objetivos específicos.

1. Clasificar los microplásticos según su forma, color, tamaño y tipo de polímero plástico.
2. Analizar la cantidad de microplásticos presentes en la zona intermareal (marea baja, intermedia y alta) en la arena de la playa de Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas.
3. Determinar la composición de los microplásticos en la zona intermareal (marea baja, intermedia y alta) de la playa de Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas.
4. Identificar la zona intermareal con mayor concentración de microplásticos.
5. Comparar la presencia y composición de microplásticos entre la playa de Boca del Cielo y Puerto Arista.

V. HIPÓTESIS

1. Hay diferencias en la cantidad de microplásticos que se encuentran en la zona intermareal (marea baja, intermedia y alta) en la arena de la playa de Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas.
2. Hay una diferencia en la composición, forma, color, tamaño y polímeros de los microplásticos de la zona intermareal (marea baja, intermedia y alta) en la playa de Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas.
3. La presencia y composición de microplásticos es mayor en la playa de Puerto Arista respecto a la playa de Boca del Cielo.

VI. ZONA DE ESTUDIO.

El estudio se realizó en la playa Boca del Cielo, Chiapas, México el cual tiene un área total de 8,931 hectáreas y está ubicada alrededor de los 15 ° 48' 28" N - 93° 35' 10" O (Figura 2 y 3). La comunidad está localizada en la región Istmo Costa de Chiapas, municipio de Tonalá, Chiapas. Las comunicaciones terrestres consisten en una red de carreteras secundarias que comunican a las principales poblaciones, y que se desprenden de la carretera federal No. 200 Arriaga-Tapachula, por lo tanto el total de comunidades en la parte baja de la cuenca acceden por la carretera estatal pavimentada de 34 km por lo que comunican a los poblados de Boca del Cielo y la Cabecera Municipal de Tonalá, Chiapas.

El sitio tiene la influencia directa de 5 poblados y 32 rancherías, localidades que en su conjunto conforman una población de 4 330 habitantes que inciden directamente en el sitio. El área tiene una altitud promedio de entre 0 (playa) y 4 msnm (comprende la Zona Federal Marítimo Terrestre).

El área es un humedal en la zona natural, la playa tiene una amplitud media y una pendiente de 2 a 4% hacia el sureste. La vegetación que predomina es de tipo dunas y matorral costero, así como algunos elementos de selva baja caducifolia y el ecosistema típico de manglar (Magdaleno-Ramírez, 2007).



Figura 2. Ubicación geográfica del estado de Chiapas



Figura 3. Ubicación geográfica de la zona de muestreo

VII. MÉTODOS.

7.1. Procedimiento de la realización de los cuadrantes.

Se realizó la construcción de tres cuadrantes que fueron utilizadas para la colecta de muestras de los microplásticos, cuyas medidas fueron de 1 m x 1 m. Para tal fin, se utilizaron los siguientes materiales: 3 tubos PVC de 3 pulg, 12 codos de 3 pulg, pijas de 2 cm, pegamento para PVC, serrucho, desarmador de cruz, piola, un cautín de lápiz, lija, flexómetro y lápiz o marcadores (Figura 4). Los procedimientos de la realización de los cuadrantes fueron los siguientes:

1. Lo primero que se realizó fue medir los tubos PVC, conforme a las medidas que estos iban hacer cortados, en este caso los tramos fueron de 1 m y 4 cm.
2. Ya cortados los tramos de los tubos PVC, se procedió a lijar un pedazo de la parte de adentro de los tubos y de igual forma los codos donde iban a ir empataados. Antes de proceder a pegar cada pieza se empataron cada uno de los tramos cortados juntos con los codos. Cabe destacar que se midió 2 cm por lado de cada tramo de los tubos PVC que era donde iba a ir empataados cada uno de los codos a modo que al momento de medir cada parte midiera 1m sin tomar en cuenta los codos.
3. Una vez comprobado que las medidas eran correctas, se procedió a pegar cada uno de las piezas, se empató cada tramo de tubo PVC junto con un codo a modo que los tres cuadrantes que se realizaron formaran cuadros de 1 m x 1 m.
4. Por último, ya que los cuadros estuvieron formados, se procedió a medir a cada 10 cm de las cuatro partes de cada cuadrante. Donde se marcaban las medidas se procedió a hacer agujeros pequeños con el cautín. Después de eso se insertaban los tornillos, ya que estuvieron todos los tornillos colocados, se procedió a poner la piola en cada uno de los tornillos a modo que esta formara cuadros pequeños. Una vez colocada la piola, se procedió a

atornillar de tal modo que la piola quedara tensa y no se fuera a desprender. Todo este proceso se hizo para tener un total de 100 cuadros de 10 cm.



Figura 4. Procedimiento de la realización de los cuadrantes

7.2. Colecta de muestras.

La colecta de muestras se realizó en Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas, en la zona de playa conocida como Isla San Marcos. Las muestras de sedimento se colectaron en época de lluvia y baja influencia turística durante el mes de Agosto del 2022.

El área total en la cual se colectaron las muestras fue de 3 kilómetros, los cuales fueron divididos en 11 puntos (Figura 5), cada punto tenía una distancia de 300 m una de otra. Las muestras se realizaron en la zona intermareal (marea baja, media y alta), con tres cuadrantes de 1 m x 1 m, los cuales contaban con 100 cuadros de 10 cm x 10 cm (Figura 6 y 7).

Para la colecta de arena, estas se hicieron mediante el uso de palas de plástico para jardinería, tomando aleatoriamente 10 muestras dentro del cuadrante de 1 m², con una profundidad de 5 cm. Para cada punto de muestreo se tomaron 3 réplicas, con una separación de 5 m entre ellas, lo cual dio un total de 33 muestras, estas correspondientes a 11 puntos de muestreo (Figura 8).

Cabe destacar que a cada punto de muestreo y a las réplicas se les tomó las coordenadas, para así poder saber la ubicación exacta de donde se colocaron (Cuadro 2 y 3), y así poder realizar el etiquetado adecuado de las bolsas que contenían las muestras de sedimento.

Todas las muestras fueron trasladadas al laboratorio de Ecología de Recursos Pesqueros, del Centro de Investigaciones Costeras para su posterior procesamiento.



Figura 5. Ubicación de los puntos de muestreo en Boca del Cielo, Chiapas

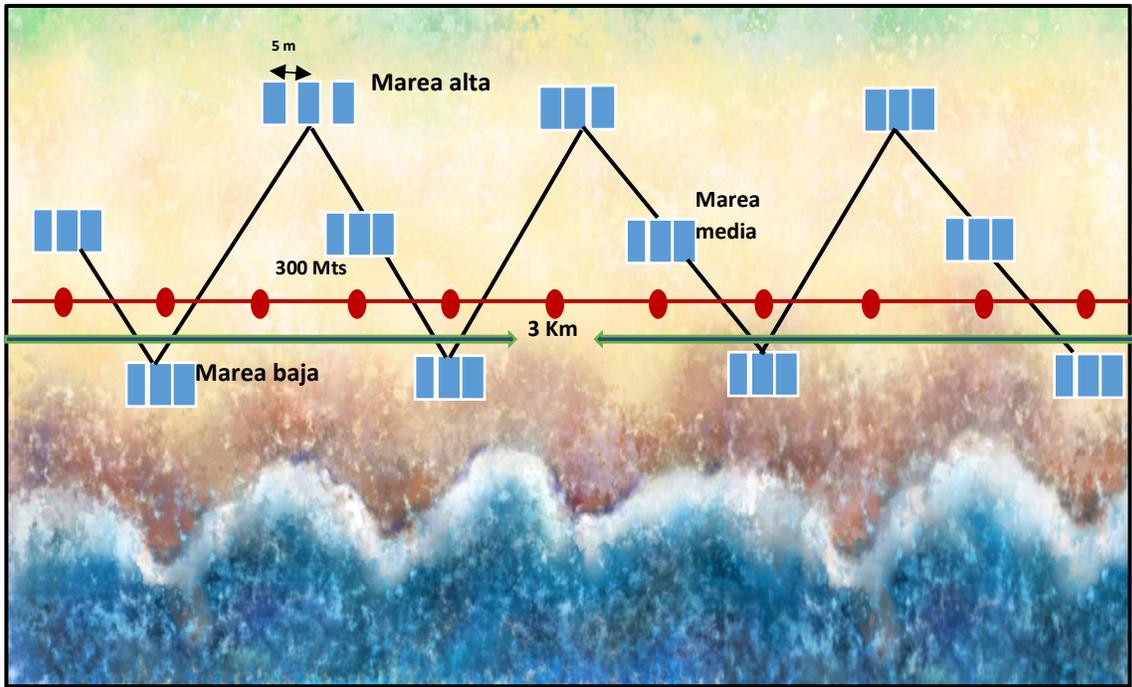


Figura 6. Diagrama de los puntos de muestreo y los cuadrantes en la zona intermareal en Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas



Figura 7. Ubicación de los cuadrantes en Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas



Figura 8. Proceso de la colecta de muestras de sedimento en la Playa Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas

Cuadro 2. Coordenadas de los puntos de muestreo en Boca del Cielo, Chiapas

PUNTOS DE MUESTREO	COORDENADAS
Punto 1	(15° 50' 23.30'' N, 93° 39' 42.00'' O)
Punto 2	(15° 50' 28.80'' N, 93° 39' 51.00'' O)
Punto 3	(15° 50' 34.30'' N, 93° 39' 59.40'' O)
Punto 4	(15° 50' 41.50'' N, 93° 40' 10.60'' O)
Punto 5	(15° 50' 46.90'' N, 93° 40' 19.10'' O)
Punto 6	(15° 50' 52.50'' N, 93° 40' 27.30'' O)
Punto 7	(15° 50' 58.00'' N, 93° 40' 36.00'' O)
Punto 8	(15° 51' 03.50'' N, 93° 40' 44.30'' O)
Punto 9	(15° 51' 08.90'' N, 93° 40' 52.80'' O)
Punto 10	(15° 51' 14.30'' N, 93° 41' 01.20'' O)
Punto 11	(15° 51' 20.79'' N, 93° 41' 08.21'' O)

Cuadro 3. Coordenadas de los cuadrantes en Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas

	PUNTOS DE MUESTREO EN CUADRANTES	COORDENADAS
Punto 1	Cuadrante 1 (ST1C1)	(15° 50' 22.62" N, 93° 39' 42.91" O)
	Cuadrante 2 (ST1C2)	(15° 50' 22.69" N, 93° 39' 43.06" O)
	Cuadrante 3 (ST1C3)	(15° 50' 22.52" N, 93° 39' 42.77" O)
Punto 2	Cuadrante 1 (ST2C1)	(15° 50' 28.49" N, 93° 39' 51.19" O)
	Cuadrante 2 (ST2C2)	(15° 50' 28.57" N, 93° 39' 51.35" O)
	Cuadrante 3 (ST2C3)	(15° 50' 28.37" N, 93° 39' 51.05" O)
Punto 3	Cuadrante 1 (ST3C1)	(15° 50' 34.26" N, 93° 39' 59.42" O)
	Cuadrante 2 (ST3C2)	(15° 50' 34.33" N, 93° 39' 59.57" O)
	Cuadrante 3 (ST3C3)	(15° 50' 34.14" N, 93° 39' 59.27" O)
Punto 4	Cuadrante 1 (ST4C1)	(15° 50' 41.10" N, 93° 40' 11.03" O)
	Cuadrante 2 (ST4C2)	(15° 50' 41.20" N, 93° 40' 11.18" O)
	Cuadrante 3 (ST4C3)	(15° 50' 41.02" N, 93° 40' 10.88" O)
Punto 5	Cuadrante 1 (ST5C1)	(15° 50' 46.56" N, 93° 40' 19.20" O)
	Cuadrante 2 (ST5C2)	(15° 50' 46.50" N, 93° 40' 19.05" O)
	Cuadrante 3 (ST5C3)	(15° 50' 46.63" N, 93° 40' 19.36" O)
Punto 6	Cuadrante 1 (ST6C1)	(15° 50' 52.50" N, 93° 40' 27.49" O)
	Cuadrante 2 (ST6C2)	(15° 50' 52.63" N, 93° 40' 27.67" O)
	Cuadrante 3 (ST6C3)	(15° 50' 52.39" N, 93° 40' 27.31" O)
Punto 7	Cuadrante 1 (ST7C1)	(15° 50' 57.49" N, 93° 40' 36.43" O)
	Cuadrante 2 (ST7C2)	(15° 50' 57.41" N, 93° 40' 36.27" O)
	Cuadrante 3 (ST7C3)	(15° 50' 57.60" N, 93° 40' 36.55" O)
Punto 8	Cuadrante 1 (ST8C1)	(15° 51' 03.22" N, 93° 40' 44.46" O)
	Cuadrante 2 (ST8C2)	(15° 51' 03.14" N, 93° 40' 44.31" O)
	Cuadrante 3 (ST8C3)	(15° 51' 03.32" N, 93° 40' 44.60" O)
Punto 9	Cuadrante 1 (ST9C1)	(15° 51' 08.89" N, 93° 40' 52.80" O)
	Cuadrante 2 (ST9C2)	(15° 51' 08.79" N, 93° 40' 52.65" O)
	Cuadrante 3 (ST9C3)	(15° 51' 08.99" N, 93° 40' 52.96" O)
Punto 10	Cuadrante 1 (ST10C1)	(15° 51' 14.10" N, 93° 41' 01.56" O)
	Cuadrante 2 (ST10C2)	(15° 51' 14.22" N, 93° 41' 01.69" O)
	Cuadrante 3 (ST10C3)	(15° 51' 13.98" N, 93° 41' 01.44" O)
Punto 11	Cuadrante 1 (ST11C1)	(15° 51' 21.02" N, 93° 41' 08.71" O)
	Cuadrante 2 (ST11C2)	(15° 51' 20.87" N, 93° 41' 08.59" O)
	Cuadrante 3 (ST11C3)	(15° 51' 20.73" N, 93° 41' 08.49" O)

7.3. Análisis en laboratorio.

En el laboratorio de Ecología de Recursos Pesqueros, del Centro de Investigaciones Costeras, antes de proceder al secado de las muestras, se realizó el reetiquetado de las muestras, para evitar que se borrarán los datos que traían las bolsas durante su traslado al laboratorio. Esto para saber con exactitud a que

punto de muestreo pertenecían y a cuáles de los tres cuadrantes que se posicionaban en cada una de las zonas intermareal pertenecían.

Para el análisis del laboratorio, lo primero que se realizó fue el secado en el horno a una temperatura de 80° C. Cabe destacar que el horno de secado tenía una capacidad de 2 charolas en las cuales se colocaban las muestras, estas se dejaban en un lapso de todo un día o por lo menos hasta que estuvieran secas. Todo el procedimiento de este proceso, duró 20 días.

Una vez que las muestras de sedimento estaban bien secas, se procedió al tamizado, con la ayuda de tamizador marca HUMBOLDT. El tiempo en el que se programaba el tamizador era de 40 segundos por la cantidad de sedimento que se le suministraba. La realización de esta sección del análisis, tuvo una duración de 7 días.

Posterior al tamizado, se analizaron las muestras al microscopio para poder identificar los microplásticos que se encontraban. El aumento que se manejó en el microscopio fue de 0.75x a 5.0x de acuerdo al tamaño que tenía el microplástico, ya que eran de diferentes tamaños (Figura 9).

De igual manera se realizó la prueba de flotabilidad, para cerciorarse que fueran microplásticos y no cualquier otro material que se pudiera confundir.



Figura 9. Proceso del análisis de laboratorio para identificar la presencia de microplásticos del sedimento colectada en la playa de Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas

7.3.1. Flotabilidad

La prueba de flotabilidad se hizo de acuerdo a lo que menciona Masura et al., (2015), sobre los métodos de laboratorio para el análisis de microplásticos en el medio marino y las recomendaciones para cuantificar las partículas sintéticas y sedimentos.

Esta prueba, es con la finalidad de comprobar que lo visualizado en el microscopio fuera microplástico y no tejido vegetal o cualquier otro material que se pudiera confundir. La prueba de flotabilidad consistió en pesar 10 g de cloruro de calcio (CaCl_2) en polvo por cada una de las muestras y se añadió 60 ml de agua destilada por muestra. Posteriormente, se procedió a diluir el CaCl_2 en un vaso de precipitado de 100 ml. Luego, se agregó cada una de las muestras por separado a la solución, esperando unos minutos a que el material flotara, comprobando de esta manera que efectivamente era microplástico. La razón por la que los microplásticos flotaron es porque la densidad de estos plásticos es menor que la

solución, ya que el CaCl_2 tiene una densidad de 1.6 g/cm^3 esto indica que la sustancia es más densa que los plásticos y esto permitió que flotaran.

Una vez que los plásticos flotaron, se procedió a pasarlos al tamiz de 1 mm para así quedaran los microplásticos que oscilaban de 1 mm a 5 mm, y así pasarlos a las cajas Petri. Posteriormente, se analizaron nuevamente en el microscopio para poder determinar sus características, como la forma, el color, el tamaño y también poder identificar qué tipo de polímero para proceder a la clasificación (Figura 10).

Los microplásticos encontrados en cada punto de muestreo se contaron y se clasificaron por forma (películas, fragmentos, espumas, gránulos, pellets), color, tamaño y tipo de polímero plástico.



Figura 10. Procedimiento de la prueba de flotabilidad

7.4. Muestras de Puerto Arista

Se tomaron 11 muestras en la playa Puerto Arista, Tonalá, Chiapas, únicamente en la parte de marea alta, esto con el fin de hacer una comparación sobre la presencia y abundancia de microplásticos. Se realizó la misma metodología que las muestras de Boca del Cielo para determinar la presencia de microplásticos.

En la figura 11 se muestran los puntos de muestreo donde se tomaron cada una de las muestras y en el cuadro 4 las coordenadas de cada una de las muestras tomadas en la playa Puerto Arista, Tonalá, Chiapas.



Figura 11. Ubicación de los puntos de muestreo en Puerto Arista, Tonalá, Chiapas

Cuadro 4. Coordenadas de los puntos de muestreo en Puerto, Arista, Tonalá, Chiapas

Puntos de muestreo	Coordenadas
Fan-m1	(15° 55' 27.27" N, 93° 47' 41.54" O)
Fan-m2	(15° 55' 32.48" N, 93° 47' 50.05" O)
Fan-m3	(15° 55' 37.08" N, 93° 47' 58.95" O)
Fan-m4	(15° 55' 41.79" N, 93° 48' 07.77" O)
Fan-m5	(15° 55' 46.90" N, 93° 48' 16.38" O)
Fan-m6	(15° 55' 51.20" N, 93° 48' 25.42" O)
Fan-m7	(15° 55' 55.82" N, 93° 48' 34.31" O)
Fan-m8	(15° 56' 00.54" N, 93° 48' 43.13" O)
Fan-m9	(15° 56' 05.73"N, 93° 48' 51.72" O)
Fan-m10	(15° 56' 10.90"N, 93° 49' 00.33" O)
Fan-m11	(15° 56' 15.68"N, 93° 49' 09.11" O)

VIII. RESULTADOS.

8.1 Playa Boca del Cielo, Chiapas.

8.1.1 Resultados generales

Los resultados presentados a continuación es la caracterización de los microplásticos presentes en la playa Boca del Cielo en Chiapas. Los microplásticos reportados en este trabajo en las tres zonas intermareales se describe a continuación: en la zona intermareal alta, solo los sitios 3 y 9 tuvieron la presencia de microplásticos. En la zona intermareal media, los sitios 8 y 11 fueron en los que se detectó la presencia de microplásticos, mientras que en la zona intermareal baja, el sitio 7 fue el único lugar donde hubo presencia de microplásticos.

El total general de piezas encontradas en las tres zonas intermareales fue la siguiente: 14 películas, 13 fibras, tres fragmentos, dos espumas y una microesfera, lo que da en total de 33 piezas (Cuadros 5).

En ese sentido, se observó diferencias en la composición y en el número de muestras con microplásticos en la zona intermareal. En la zona de intermareal alta, se obtuvo un total de 15 piezas, de las cuales siete fueron películas, cinco fibras, dos espumas y una microesfera. En lo que corresponde a la zona intermareal media, se encontraron un total de 16 piezas de microplásticos, que corresponden a ocho fibras, siete películas y un fragmento. Por último, en la zona intermareal baja, se detectaron dos piezas de microplásticos, las cuales fueron fragmentos.

Cuadro 5. Abundancia de los microplásticos encontrados en cada zona intermareal de la playa Boca del Cielo, Chiapas. Los números dentro del paréntesis corresponden al porcentaje (%)

Marea	Espuma	Fibra	Fragmento	Microesferas	Película	Total
Alta	2 (13.3)	5 (33.3)	-	1 (6.7)	7 (46.7)	15
Media	-	8 (50.0)	1 (6.2)	-	7 (43.8)	16
Baja	-	-	2 (100.0)	-	-	2

De igual forma, se observó diferencias en el tamaño de los microplásticos con base en la zona intermareal. Encontrándose microplásticos de diversos tamaños que a continuación se describe: en la zona intermareal alta los microplásticos que se encontraron fueron uno de 1 mm, siete de 2 mm, dos de 3 mm, tres de 4 mm, uno de 5 mm y uno <1 mm. En los que corresponde a la zona intermareal media, se encontraron, tres de 1 mm, seis de 2 mm, cuatro de 3 mm y tres de 4 mm. Por último, en la zona de intermareal baja, se encontraron, uno de 1.5 mm y uno de 2 mm (Cuadro 6).

Cuadro 6. Abundancia del tamaño de los microplásticos encontrados en cada zona intermareal de la Playa Boca del Cielo, Chiapas. Los números dentro del paréntesis corresponden al porcentaje (%)

Mareas	1 mm	1.5 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm	menor a 1 mm	Total
Alta	1 (6.7)	-	7 (46.7)	2 (13.3)	3 (20.0)	1 (6.7)	1 (6.7)	15
Media	3 (18.7)	-	6 (37.5)	4 (25.0)	3 (18.7)	-	-	16
Baja	-	1 (50.0)	1 (50.0)	-	-	-	-	2

De igual manera, se observó diferencias en los polímeros plásticos de acuerdo a la zona intermareal (marea alta, media y baja). En la zona intermareal alta se encontraron siete de polietileno de baja densidad (LDPE), cinco de polipropileno (PP), una de poliestireno (PS) y dos de poliuretano (PU). En lo que corresponde a la zona intermareal media se encontraron siete LDPE, uno no identificado (NoTE) y ocho PP. Por último, en la zona intermareal baja se encontraron, uno de polietileno de alta densidad (HDPE) y un NoTE (Cuadro 7).

Cuadro 7. Abundancia de los polímeros plásticos encontrados en cada zona intermareal de la Playa Boca del Cielo, Chiapas. Los valores dentro del paréntesis corresponden al porcentaje

Marea	HDPE	LDPE	PP	PS	PU	NoTE	Total general
Alta	-	7 (46.7)	5 (33.3)	1 (6.7)	2 (13.3)	-	15
Media	-	7 (43.8)	8 (50.0)	-	-	1 (6.2)	16
Baja	1 (50.0)	-	-	-	-	1 (50.0)	2

De igual forma se observó los diferentes colores de acuerdo a la zona intermareal (marea alta, media y baja), de los cuales se encontraron los siguientes colores, en la zona intermareal alta se encontraron dos piezas amarillas, una blanca, 11 transparentes y una pieza rosa. En cuanto a la zona intermareal media, se encontró 15 piezas transparentes y una pieza amarilla y por último en la zona intermareal baja, se encontraron una pieza transparente y una verde (Cuadro 8).

Cuadro 8. Abundancia de los colores encontrados en cada zona intermareal de la Playa Boca del Cielo, Chiapas. Los valores dentro del paréntesis corresponden al porcentaje (%)

Marea	Amarillo	Blanco	Rosa	Transparente	verde	Total general
Alta	2 (13.3)	1 (6.7)	1 (6.7)	11 (73.3)	-	15
Media	1 (6.2)	-	-	15 (93.8)	-	16
Baja	-	-	-	1 (50.0)	1 (50.0)	2

8.1.2 Forma.

Las formas de los microplásticos fueron las siguientes: 14 películas, 13 fibras, tres fragmentos, dos espumas, y una microesfera (Figura 12).

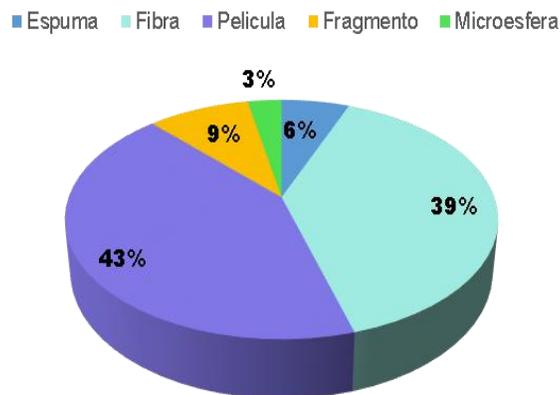


Figura 12. Porcentajes generales de las formas de los microplásticos encontrados en la playa Boca del Cielo, Chiapas

8.1.3 Color

Los colores de los microplásticos fueron las siguientes: 27 transparentes, tres amarillos, un blanco, un verde y un rosa (Figura 13).

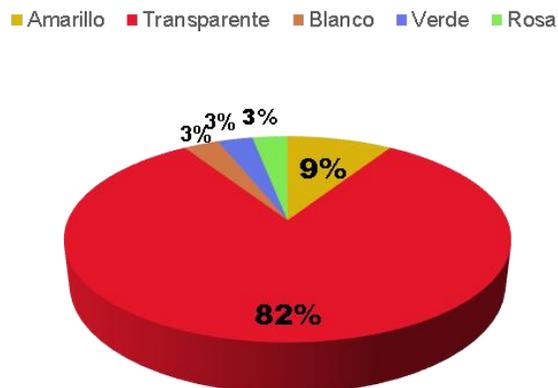


Figura 13. Porcentajes generales de los colores de los microplásticos encontrados en la playa Boca del Cielo, Chiapas

Además, se observó la forma del microplástico tomando en cuenta su color, para así poder clasificarlas mejor, estas son: una microesfera blanca, una fibra rosa, un fragmento transparente, dos espumas amarillas, 14 películas transparentes, 11 fibras transparentes, una fibra amarilla y dos fragmentos verdes (Cuadro 9).

Cuadro 9. Abundancia de cada color de los microplásticos encontrados en la playa Boca del Cielo, Chiapas. Los valores dentro del paréntesis corresponden al porcentaje (%)

Color	Espuma	Fibra	Fragmento	Microesfera	Película	Total general
Amarillo	2 (66.7)	1 (33.3)	-	-	-	3
Blanco	-	-	-	1 (100.0)	-	1
Rosa	-	1 (100.0)	-	-	-	1
Transparente	-	11 (40.7)	2 (7.4)	-	14 (51.9)	27
Verde	-	-	1 (100.0)	-	-	1

8.1.4 Tamaño

El tamaño de los microplásticos fueron los siguientes: 14 piezas de 2 mm, seis piezas de 3 mm, seis piezas de 4 mm, cuatro piezas de 1 mm, una pieza < a 1 mm, una pieza de 1.5 mm, y una pieza de 5 mm (Figura 14). Lo que da un total de 33 piezas de los diferentes tamaños ya antes mencionados.

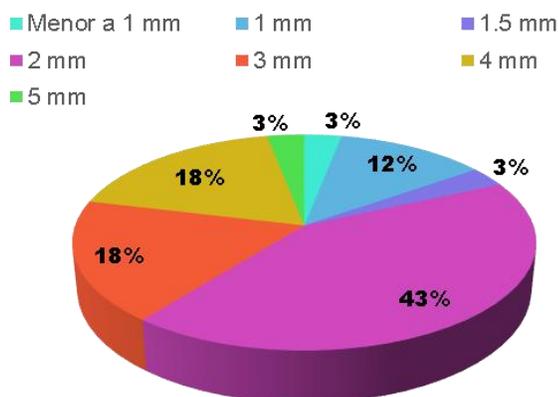


Figura 14. Porcentajes generales del tamaño de los microplásticos encontrados en la playa Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas.

También se categorizó el tamaño de los microplásticos tomando en cuenta su forma para así poderlos clasificar mejor, los cuales fueron los siguientes: una microesfera < a 1 mm, dos fibras de 1 mm, dos películas de 1 mm, un fragmento de 1.5 mm, ocho películas de 2 mm, dos espumas de 2 mm, dos fibras de 2 mm, dos fragmentos de 2 mm, cuatro fibras de 3 mm, dos películas de 3 mm, cuatro fibras de 4 mm, dos películas de 4 mm y una fibra de 5 mm (Cuadro 10).

Cuadro 10. Abundancias del tamaño de cada uno de los microplásticos encontrados en la playa Boca del Cielo, Chiapas. Los valores dentro del paréntesis corresponden al porcentaje (%)

Tamaño	Espuma	Fibra	Fragmento	Microesfera	Película	Total general
< a 1 mm				1 (100.0)		1
1 mm	-	2 (15.4)	-	-	2 (14.3)	4
1.5 mm	-	-	1 (33.3)	-	-	1
2 mm	2 (100.0)	2 (15.4)	2 (66.7)	-	8 (57.1)	14
3 mm	-	4 (30.8)	-	-	2 (14.3)	6
4 mm	-	4 (30.8)	-	-	2 (14.3)	6
5 mm	-	1 (7.7)	-	-	-	1

8.1.5 Polímero plástico

Los polímeros en los microplásticos son los siguientes: 14 de polietileno de baja densidad (LDPE), 13 de polipropileno (PP), dos no identificadas (NoTe), dos piezas de poliuretano (PU), una de poliestireno (PS), una de polietileno de alta densidad (HDPE) (Figura 15).

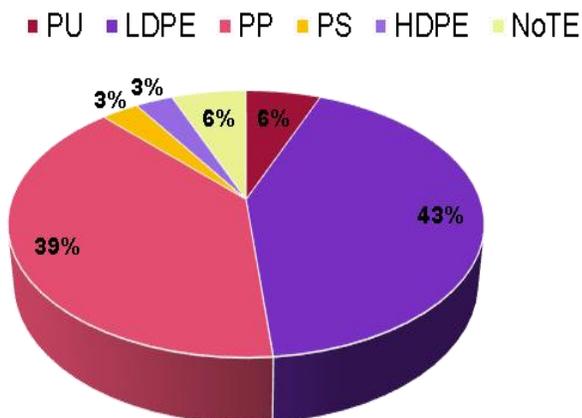


Figura 15. Porcentajes generales de los polímeros plásticos encontrados en la playa, Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas.

Se observó el polímero de cada uno de los microplásticos tomando en cuenta su forma para así poderlos clasificar mejor, por lo cual las abundancias fueron los siguientes: un fragmento de polietileno de alta densidad (HDPE), 14 películas de polietileno de baja densidad (LDPE), dos fragmentos no identificados (NoTE), 13 fibras de polipropileno (PP), una microesfera de poliestireno (PS) y dos espumas de poliuretano (PU) (Cuadro 11).

Cuadro 11. Abundancia de cada uno de los polímeros plásticos encontrados en la playa Boca del Cielo, Chiapas. Los valores dentro del paréntesis corresponden al porcentaje (%)

Polímero	Espuma	Fibra	Fragmento	Microesfera	Película	Total general
HDPE	-	-	1(100.0)	-	-	1
LDPE	-	-	-	-	14(100.0)	14
NoTE	-	-	2(100.0)	-	-	2
PP	-	13(100.0)	-	-	-	13
PS	-	-	-	1(100.0)	-	1
PU	2(100.0)	-	-	-	-	2

8.2 Playa Puerto Arista Chiapas

8.2.1 Resultados generales

El número de muestras colectadas en esta área fue de 11 muestras, pero únicamente 10 tuvieron presencia de microplásticos, cabe destacar que la colecta de sedimento fue únicamente en marea alta.

Los resultados presentados a continuación incluyen la caracterización de los microplásticos presentes en la playa Puerto Arista en Chiapas. En el Cuadro 13, se reportan las abundancias relativas de dicha caracterización. El total general de piezas encontrada únicamente en marea alta fueron las siguientes: en la muestra 1 se encontró un total de nueve piezas, de las cuales seis fueron películas y tres espumas.

En la muestra 2 se encontraron un total de 124 piezas de las cuales fueron 77 fragmentos, 26 espumas, 17 películas, tres gránulos, un pellets. En la muestra 3 se encontraron un total de seis piezas de las cuales fueron tres espumas, dos película, un fragmento. En la muestra 4 se encontraron un total de seis piezas de las cuales fueron, cuatro fragmentos, dos espumas.

En la muestra 5 se encontró un total de dos piezas de las cuales fueron, un fragmento y una película. En la muestra 6 se encontró un total de cinco piezas de las cuales todas fueron fragmentos. En la muestra 8 se encontró un total de 40 piezas de las cuales fueron 16 fragmentos, 15 espumas, cuatro gránulos, tres películas y dos fibras. En la muestra 9 se encontró un total de nueve piezas de las cuales fueron cuatro fragmentos, cuatro películas y una espuma. En la muestra 10 se encontró un total de ocho piezas de las cuales fueron, seis fragmentos, dos pellets y por último en la muestra 11, se encontró un total de 223 piezas de las cuales fueron 175 películas, 39 fragmentos, siete espumas, una fibra y un gránulo (Cuadro 12).

Cuadro 12. Abundancia de microplásticos encontrados en cada una de las muestras colectadas en la Playa Puerto Arista, Tonalá, Chiapas. Los valores dentro del paréntesis corresponden al porcentaje (%)

Muestras	Espuma	Fibras	Fragmento	Granulo	Pellets	Película	Total general
Muestra 1	3 (33.3)	-	-	-	-	6(66.7)	9
Muestra 2	26 (20.9)	-	77 (62.10)	3(2.4)	1(0.8)	17(13.7)	124
Muestra 3	3 (50.0)	-	1 (16.6)	-	-	2(33.3)	6
Muestra 4	2 (33.3)	-	4 (66.6)	-	-	-	6
Muestra 5	-	-	1 (50.0)	-	-	1(50.0)	2
Muestra 6	-	-	5 (100.0)	-	-	-	5
Muestra 8	15(37.5)	2 (5.0)	16 (40.0)	4(10.0)	-	3(7.5)	40
Muestra 9	1 (11.1)	-	4 (44.4)	-	-	4(44.4)	9
Muestra 10	-	-	6 (75.0)	-	2(25.0)	-	8
Muestra 11	7 (3.1)	1 (0.4)	39 (17.5)	1(0.4)	-	175(78.5)	223

8.2.2 Forma

Las formas de los microplásticos fueron los siguientes: 208 películas, 153 fragmentos, 57 espumas, ocho granulos, tres pellets, tres fibras (Figura 16). Lo que nos da un total de 432 piezas de microplásticos.

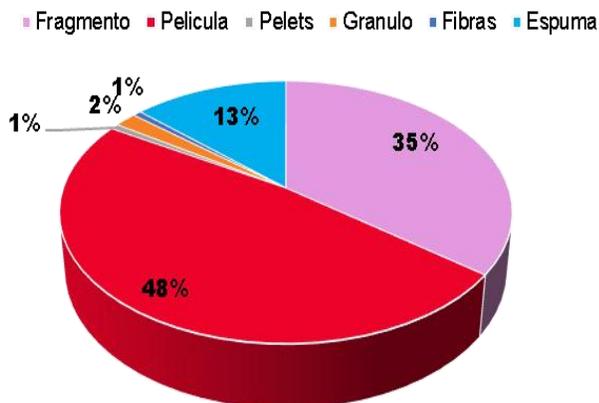


Figura 16. Porcentajes generales de la forma de los microplásticos encontrados en la playa Puerto Arista, Tonalá, Chiapas

8.2.3 Color

Los colores de los microplásticos fueron los siguientes: 183 blancos, 149 transparentes, 27 azul celeste con un 6.3%, 22 amarillas con un 5.1%, 14 azul marino con un 3.2%, 11 grises con un 2.5%, 7 rojos con un 1.6%, 6 verdes con un 1.4%, 5 morados con un 1.2%. En tanto, los colores rosa, café, negro y beige que tuvieron entre 1-3 piezas dieron un porcentaje menor al 1% (Figura 17).

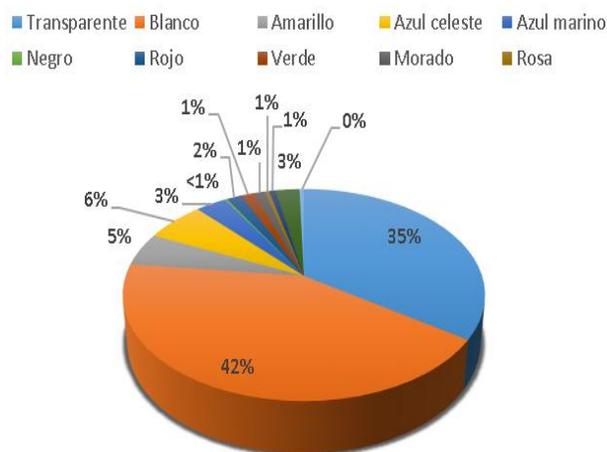


Figura 17. Porcentaje general de los colores de los microplásticos encontrados en playa Puerto Arista, Tonalá, Chiapas

Se identificó el color de cada una de las piezas de microplásticos tomando en cuenta su forma para una mejor clasificación, por lo cual las abundancias fueron las siguientes: tres pellets blancos, 43 espumas blancas, 133 películas transparentes, cuatro gránulos blancos, 71 fragmentos blancos, una fibra azul celeste, una fibra roja, una fibra transparente, 62 películas blancas, dos gránulos verdes, 14 espumas amarillas, un granulo azul celeste, un granulo transparentes, 14 fragmentos azul celeste, 14 fragmentos azul marino, 14 fragmentos transparentes, diez fragmentos grises, 11 películas azul celeste, ocho fragmentos amarillos, seis fragmentos rojos, cinco fragmentos morados, tres fragmentos cafés, tres fragmentos verdes, dos fragmentos beige, dos fragmentos rosas, un fragmentos negro, una película verde y una película gris (Cuadro 13).

Cuadro 13. Abundancia de los colores de cada uno de los microplásticos encontrados en la playa Puerto Arista, Tonalá, Chiapas. Los valores dentro del paréntesis corresponden al porcentaje (%)

Color	Espuma	Fibras	Fragmento	Granulo	Pellets	Película	Total general
Amarillo	14 (24.6)	-	8 (5.2)	-	-	-	22
Azul celeste	-	1 (33.3)	14 (9.2)	1 (12.5)	-	11 (5.3)	27
Azul marino	-	-	14 (9.2)	-	-	-	14
Beige	-	-	2 (1.3)	-	-	-	2

Blanco	43 (75.4)	-	71 (46.4)	4 (50.0)	3 (100.0)	62 (29.8)	183
Café	-	-	3 (2.0)	-	-	-	3
Gris	-	-	10 (6.5)	-	-	1 (0.5)	11
Morado	-	-	5 (3.3)	-	-	-	5
Negro	-	-	1 (0.7)	-	-	-	1
Rojo	-	1 (33.3)	6 (3.9)	-	-	-	7
Rosa	-	-	2 (1.3)	-	-	-	2
Transparente	-	1 (33.3)	14 (9.2)	1 (12.5)	-	133 (63.9)	149
Verde	-	-	3 (2.0)	2 (25.0)	-	1 (0.48)	6

8.2.4 Tamaño

El tamaño de los microplásticos fueron los siguientes: 155 piezas < a 1 mm (35.9%), 38 piezas de 1mm (8.8%), siete piezas de 1.5 mm (1.6%), 98 piezas de 2 mm (22.7%), doce piezas de 2.5 mm (2.8%), 43 piezas de 3 mm (10%), 37 piezas de 4 mm (8.6%), 26 piezas de 5 mm (6%). En el caso de los piezas de 1.4 mm, 1.6 mm, 1.7 mm, 2.4 mm, 2.6 mm, 2.7 mm, 3.5 mm, 4.3 mm y 4.5 mm que tuvieron entre 1-4 piezas dieron un porcentaje menor al 1% (Figura 18).

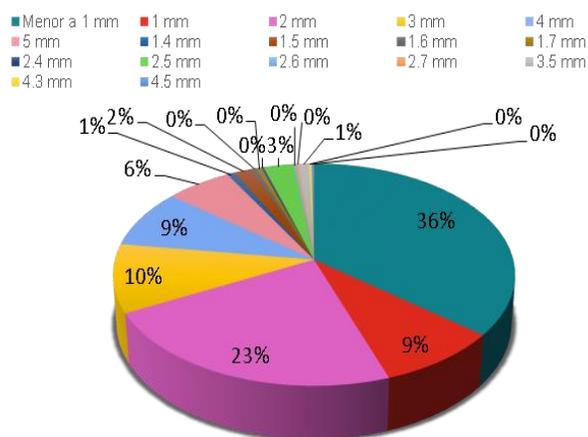


Figura 18. Porcentaje general del tamaño de los microplásticos encontrados en la playa Puerto Arista, Tonalá, Chiapas

Se clasificaron a los microplásticos con base a su tamaño y la forma para una mejor caracterización, los cuales fueron los siguientes: 122 películas < a 1 mm, 20 fragmentos < a 1 mm, 13 espumas < a 1 mm, 19 fragmentos de 1 mm, diez películas de 1 mm, seis espumas de 1 mm, dos gránulos de 1 mm, una fibra de 1 mm, dos películas de 1.4 mm, un fragmento 1.4 mm, cinco fragmentos de 1.5 mm, dos películas de 1.5 mm, un granulo de 1.6 mm, una película de 1.6 mm, una película de 1.7 mm, un fragmento de 1.7 mm, 46 fragmentos de 2 mm, 30 películas de 2 mm, 17 espumas de 2 mm, tres gránulos de 2 mm, dos fibras de 2 mm, una película de 2.4 mm, ocho fragmentos de 2.5 mm, una espuma de 2.5 mm, tres películas de 2.5 mm, una espuma de 2.6 mm, una película de 2.7 mm, 20 fragmentos de 3 mm, 14 películas de 3 mm, ocho espumas de 3 mm, un granulo de 3 mm, tres fragmentos de 3.5 mm, una película de 3.5 mm, 16 fragmentos de 4 mm, 14 películas de 4 mm, seis espumas de 4 mm, un pellets de 4 mm, una película de 4.3 mm, una espuma de 4.5 mm, 14 fragmentos de 5 mm, cinco películas de 5 mm, cuatro espumas de 5 mm, dos pellets de 5 mm y un granulo de 5 mm (Cuadro 14).

Cuadro 14. Abundancia del tamaño de cada uno de los microplásticos encontrados en playa Puerto Arista, Chiapas. Los valores dentro del paréntesis corresponden al porcentaje (%)

Tamaño	Espuma	Fibras	Fragmento	Granulo	Pellets	Película	Total General
< a 1 mm	13 (22.8)	-	20 (13.0)	-	-	122 (58.6)	155
1 mm	6 (10.5)	1 (33.3)	19 (12.4)	2 (25.0)	-	10 (4.8)	38
1.4 mm	-	-	1 (0.6)	-	-	2 (0.9)	3
1.5 mm	-	-	5 (3.2)	-	-	2 (0.9)	7
1.6 mm	-	-	-	1 (12.5)	-	1 (0.5)	2
1.7 mm	-	-	1 (0.6)	-	-	1 (0.5)	2
2 mm	17 (29.8)	2 (66.6)	46 (30.0)	3 (37.5)	-	30 (14.4)	98
2.4 mm	-	-	-	-	-	1 (0.5)	1
2.5 mm	1 (1.7)	-	8 (5.2)	-	-	3 (1.4)	12
2.6 mm	1 (1.7)	-	-	-	-	-	1
2.7 mm	-	-	-	-	-	1 (0.5)	1
3 mm	8 (14.0)	-	20 (13.0)	1 (12.5)	-	14 (6.7)	43
3.5 mm	-	-	3 (1.9)	-	-	1 (0.5)	4

4 mm	6 (10.5)	-	16 (10.4)	-	1 (33.3)	14 (6.7)	37
4.3 mm	-	-	-	-	-	1 (0.5)	1
4.5 mm	1 (1.7)	-	-	-	-	-	1
5 mm	4 (7.0)	-	14 (9.2)	1 (12.5)	2 (66.6)	5 (2.4)	26

8.2.5 Polímeros plásticos

Los polímeros en los microplásticos son los siguientes: 206 de polietileno de baja densidad (LDPE), 135 de polietileno de alta densidad (HDPE), 43 de poliestireno expandido (PS-E), 25 de tereftalato de polietileno (PET), catorce de poliuretano (PU), seis no identificados (NoTE), tres de polipropileno (PP) (Figura 19). Lo que da un total de 432 piezas de microplásticos.

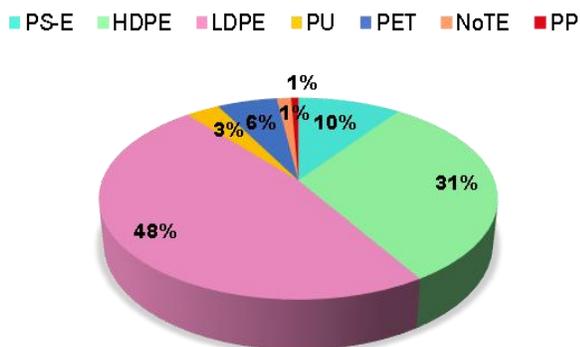


Figura 19. Porcentaje general de los polímeros plásticos encontrados en la playa Puerto Arista, Tonalá, Chiapas

Se clasificó de igual manera a los polímeros de cada uno de los microplásticos tomando en cuenta su forma, las abundancias fueron las siguientes: 43 espumas de poliestireno expandido (PS-E), 14 espumas de poliuretano (PU), seis fragmentos no identificados (NoTE), tres fibras de polipropileno (PP), 124 fragmentos de polietileno de alta densidad (HDPE), 187 películas de polietileno de baja densidad (LDPE), 21 películas de tereftalato de polietileno (PET), cuatro fragmentos tereftalato de polietileno, 19 fragmentos de polietileno de baja densidad, ocho gránulos de polietileno de alta densidad, tres pellets de polietileno de alta densidad (Cuadro 15).

Cuadro 15. Porcentaje de cada uno de los polímeros plásticos encontrados en la playa Puerto Arista, Chiapas

Polímero	Espuma	Fibras	Fragmento	Granulo	Pellets	Película	Total general
HDPE	-	-	124 (91.8)	8 (5.93)	3 (2.22)	-	135
LDPE	-	-	19 (9.2)	-	-	187 (90.8)	206
NoTE	-	-	6 (100.0)	-	-	-	6
PET	-	-	4 (16.0)	-	-	21 (84.0)	25
PP	-	3 (100.0)	-	-	-	-	3
PS-E	43 (100.0)	-	-	-	-	-	43
PU	14 (100.0)	-	-	-	-	-	14

IX. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos confirmaron la presencia de microplásticos en la playa Boca del Cielo, Tonalá, Chiapas. Además que la presencia y abundancia de microplásticos en este estudio en las zonas intermareales resultó diferente, siendo más abundantes en la zona intermareal alta y media. En las costas de Tonalá, Chiapas, existen actividades económicas marinas distintivas, la pesca y el turismo que se realiza en sus mares y lagunas costeras. Además de que en el puerto cercano de Salina Cruz, Oaxaca, existe una industria petroquímica. Esto sugiere un predominio de las actividades terrestres como fuente primaria de los microplásticos que llegan a sus costas.

En cuanto a los hallazgos en las playas de Boca del Cielo y Puerto Arista en este estudio, se observa una coincidencia en las clasificaciones de microplásticos en términos de formas, colores, tamaños y tipos de polímeros. Se identificaron fragmentos, espumas, películas y fibras, así como microplásticos transparentes, amarillos, verdes y rosas, con tamaños que variaban desde menos de 1 mm hasta 5 mm, y polímeros como el polietileno de baja densidad, el polietileno de alta densidad, el polipropileno, el poliuretano y el poliestireno.

No obstante, a pesar de estas similitudes en las características de los microplásticos, se destaca una marcada diferencia en el nivel de contaminación entre las dos playas. Puerto Arista, Chiapas, registró 432 piezas de microplásticos en solo 11 muestras tomadas durante marea alta, de las cuales 10 presentaron microplásticos. En contraste, en Boca del Cielo, Chiapas, solo se encontraron 33 piezas de microplásticos en 33 muestras tomadas en distintos niveles de marea.

En ese sentido, los microplásticos pueden ser primarios (microperlas, bolitas) o secundarios, producidos por la fragmentación de piezas de plástico más grandes. Como ya se mencionó, ese estudio mostró una prevalencia de microplásticos secundarios, con fragmentos, espumas, fibras y películas representando el 97% de las piezas encontradas. Las cuatro categorías

principales, encontradas en nuestra investigación coinciden con los resultados de estudios anteriores.

En ese sentido, Purca y Henostroza (2017), reportaron en cuatro playas arenosas de Perú, la presencia de microplásticos, en diferentes presentaciones respecto a sus formas, las cuales fueron fibras y espumas. Por otro lado, Cruz-Salas *et al.* (2020) confirmaron la presencia de microplásticos y residuos sólidos urbanos en la playa Zipolite, Oaxaca, mediante su cuantificación y caracterización. En su estudio, identificaron una variedad de formas de microplásticos, principalmente fragmentos y fibras.

Asimismo, Valencia-Ramírez (2021), en su investigación en el lago Chapala, informó sobre la presencia de microplásticos en diversas formas, principalmente fragmentos y fibras. En otro estudio llevado a cabo por Torrez-Pérez *et al.* (2021) se clasificaron microplásticos en playas urbanas, suburbanas, rurales y naturales de Colima y Jalisco, México. Se informó la presencia de microplásticos en diversas formas, principalmente fibras y fragmentos. En otra investigación llevada a cabo por Franco-García y Macías-Hernández (2022) en cuatro playas de Tuxpan, Veracruz, se encontraron microplásticos en formas como fibras, fragmentos y espumas. En un estudio realizado por Gómez-Garcés y Vélez-Torres (2023) en la playa San Jacinto de la provincia de Manabí, Ecuador, se identificaron microplásticos en formas como fibras, espumas y películas.

Los estudios realizados en distintas ubicaciones geográficas confirman la presencia de microplásticos en diferentes entornos acuáticos, lo que indica una preocupante contaminación a nivel global que afecta tanto a cuerpos de agua dulce como a áreas costeras. Vedolin *et al.* (2019), menciona que estos microplásticos secundarios, al ser degradados por la luz solar, la fricción y otros procesos fisicoquímicos, son un mayor riesgo de adsorción de contaminantes hidrófobos, por el aumento de su superficie producido por la degradación.

Además, la forma de los microplásticos podría aumentar los daños causados cuando son ingeridos por la fauna marina, ya que los fragmentos rígidos puntiagudos pueden perforar órganos y tejidos (Ory *et al.*, 2017).

No obstante, hay diferencias entre los estudios en cuanto a los porcentajes de cada una de estas presentaciones de los microplásticos. Purca y Henostroza (2017), reportan que las espumas y fibras tienen 1% cada una de estas. También Cruz-Salas *et al.* (2020), presentaron una clasificación detallada de los microplásticos, destacando los porcentajes encontrados para cada forma. Es importante señalar que estos porcentajes se basaron en el primer y tercer muestreo realizado en la investigación. Según su estudio, los fragmentos representaron el 63% y el 40%, respectivamente, mientras que las fibras constituyeron el 87%. En el estudio realizado por Torrez-Pérez *et al.* (2021), se reportó que las fibras representaban el 88% y los fragmentos el 9% del total de microplásticos analizados en las playas.

En el presente estudio realizado en Boca del Cielo, Chiapas, las películas representaron el 42%, los fragmentos el 9%, las fibras el 39% y la espuma el 6%, resultados obtenidos en un único muestreo. Las proporciones de las diferentes formas de microplásticos pueden verse influidas por las actividades terrestres cercanas a las playas. Los estuarios y los vertidos de aguas residuales podrían aumentar la proporción de fibras, mientras que las playas turísticas podrían tener mayores concentraciones de fragmentos rígidos y espumosos, producidos por la degradación de cubiertos desechables y bolsas de plástico. Es necesaria, la realización de más investigaciones para estudiar la relación entre las actividades económicas, la urbanización y la presencia de tipos específicos de microplásticos.

Este estudio llevado a cabo en Boca del Cielo, Chiapas muestra una prevalencia de microplásticos con una gama de colores que incluían el transparente, amarillo, blanco, verde y rosa. El color de los microplásticos también reveló tendencias similares a los colores encontrados en otras playas mexicanas

como Zipolite (Oaxaca), Coatzacoalcos y Tuxpan (Veracruz), Las Brisas, Salagua (Colima) y Melaque, Careyitos (Jalisco), (Alvarez-Zeferino et al., 2020; Cruz-Salas et al., 2020; Torrez-Pérez et al., 2021; Franco-García y Macías-Hernández, 2022), e incluso playas de otros países como Perú (Purca y Henestroza, 2017), islas Fernando de Noronha (Brasil) (Monteiro-Pereira et al. (2020). No obstante, diversas investigaciones realizadas a nivel mundial mencionan una prevalencia de microplásticos negros, azules, verde y rojo (Acosta-Coley y Olivero-Verbel, 2015; Frias et al., 2016; Lots et al., 2017; Karthik et al., 2018, Piñon-Colin et al., 2018).

Todo lo anterior, se torna importante, ya que el color puede afectar a las interacciones de los microplásticos y la fauna marina. Se ha propuesto que las partículas oscuras tienen una mayor posibilidad de ser ingeridas (por accidente) y también que algunos colores podrían hacer que los microplásticos se confundieran con alimentos (Christian et al., 2018)

En este estudio, se encontró que el prevalencia de tamaños fue entre 1 mm a 4 mm (91%), aunque también hubo partículas menores a 1 mm. Como ya se ha mencionado, los microplásticos tienen un tamaño de 1 mm a 5 mm aproximadamente, que al introducirse a los ecosistemas marinos pueden entrar a la cadena trófica como un contaminante al ser confundido como alimento (Rosado et al., 2018). Los resultados, en cuanto al tamaño, concuerda con los reportado por Cruz-Salas et al, (2021), aunque con discrepancias en los porcentajes de cada categoría de tamaño, en Zipolite, Oaxaca, se registraron microplásticos de 1 mm a 2 mm, con un 56% en el primer muestreo, un 89% en el segundo y un 50% en el tercero, mientras que este estudio se encontró un 12% de microplásticos de 1 mm y un 43% de los de 2 mm.

Gómez-Garcés y Vélez-Torres (2023), también reportaron valores similares con respecto al tamaño de los microplásticos encontrados, que variaban desde 1mm hasta 5mm. El tamaño de los microplásticos y la posibilidad de ser ingeridos por la biota marina, es relevante ya que estos tienen la capacidad de adsorber contaminantes orgánicos tóxicos, metales pesados, y aditivos que se agregan a los plásticos en su producción, estos pueden ocasionar efectos químicos los

cuales son altamente tóxicos y no se degradan fácilmente en condiciones naturales (Li *et al.*, 2016; Cruz-Salas *et al.*, 2020), por lo que pueden ingresar a la trama trófica.

Los análisis realizados, revelaron la presencia de microplásticos de polietileno, polipropileno y poliestireno. La composición de los microplásticos puede dar información sobre las fuentes de este tipo de contaminantes y las posibles interacciones con otros contaminantes. Se ha documentado que altas proporciones de polietileno se ha utilizado para la producción de bolsas de plástico, juguetes y botellas (Karthik *et al.*, 2018; Purca y Henostroza, 2017). El polipropileno es utilizado como envases desechables, pajitas y tapas de botellas de agua y el poliestireno expandido es utilizado en vasos y platos desechables. Estos plásticos se han señalado como prevalentes en otros estudios a nivel mundial, por ejemplo en: estuarios del Golfo de México de Estados Unidos (Wessel *et al.*, 2016), Brasil (de Carvalho y Baptista-Neto, 2016), Qatar (Abayomi *et al.*, 2017), Corea del Sur (Kim *et al.*, 2015), Sudáfrica (Nel y Froneman, 2015), Uruguay (Lozoya *et al.*, 2016) y Perú (Purca y Henostroza, 2017)

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que su presencia también podría estar relacionada con sus propiedades físicas. Mientras que otros plásticos como el tereftalato de polietileno y el policloruro de vinilo tienen una densidad superior a la del agua y, por tanto, se hunden. El polietileno, polipropileno y poliestireno tienden a flotar y tienen una mayor posibilidad de ser transportados por ríos y corrientes (Alvarez-Zeferino *et al.*, 2020).

Una de las principales causas de la contaminación en las playas de Tonalá, podría ser la afluencia turística y la gestión inadecuada de los residuos sólidos generados en estas playas, por ejemplo, los desechos más comunes encontrados son piezas de poliestireno (unicel) y redes de pesca abandonadas en el mar o en las playas. La responsabilidad del reforzamiento de la normatividad sobre zonas costeras se distribuye entre la Secretaría encargada del Medio Ambiente y la Marina, pero el cuidado de las playas es una atribución de los municipios locales, los cuales suelen carecer de recursos e infraestructura para esta labor.

Otro aspecto a considerar son los desastres naturales. Se ha documentado que los huracanes y las tormentas pueden aumentar la presencia de plásticos en el medio marino, debido a la lixiviación de residuos procedentes de la tierra, el aumento del nivel de los ríos, las inundaciones (Cheung *et al.*, 2016; Antunes *et al.*, 2018;) y el viento (Browne *et al.*, 2010; Kukulka *et al.*, 2012). En la estación lluviosa los plásticos y microplásticos vertidos en la tierra, o incluso en vertederos, pueden filtrarse a los ríos, que los transportan al océano (Eo *et al.*, 2019). Es habitual que las estaciones húmedas coincidan con la máxima concentración de microplásticos (Veerasingam *et al.*, 2016). Esta problemática destaca la urgencia de implementar medidas efectivas de gestión de residuos y promover prácticas de turismo sostenible para proteger la salud de nuestros ecosistemas costeros.

Hasta el momento, sólo dos instrumentos regulatorios han sido desarrollados por las autoridades a nivel federal para el cuidado de las playas. El primero, es el programa Playas Limpias, enfocado en el monitoreo de la calidad del agua (SEMARNAT, 2019). El segundo instrumento, es el programa de certificación voluntaria que evalúa la sustentabilidad de calidad de playas (SENER, 2006), aunque la norma no toma en cuenta la presencia de microplásticos, la cual debería ser utilizada como indicador de la calidad ambiental.

Para aumentar los beneficios derivados de ambos programas, es necesario incentivar y apoyar a los gobiernos locales. Las autoridades federales deben diseñar esquemas de promoción a través de capacitación, financiamiento y tutoría. Además, es crucial continuar investigando y adoptar medidas para mitigar y prevenir la contaminación por microplásticos, protegiendo así la salud de los ecosistemas acuáticos y la vida marina.

X. CONCLUSIÓN

- La investigación llevada a cabo en una de las playas de las costas de Chiapas, conocida como Boca del Cielo, confirmó la presencia de microplásticos en las zonas intermareales (marea baja, media y alta), lo que plantea un serio problema no solo para la fauna y flora marina, sino también para la salud humana debido a la posible ingestión de especies marinas por parte de los seres humanos.
- Respecto a las diferencias en la cantidad de microplásticos encontrados en las zonas intermareales, se observó que en la zona intermareal alta y media presentaban una mayor concentración. Los polímeros más comunes identificados fueron el polietileno de baja densidad (LDPE), polímeros no identificados (NoTe) y polipropileno (PP).
- Las formas de microplásticos más prevalentes en la playa de Boca del Cielo, fueron películas, fibras y fragmentos, mientras que los colores más frecuentes fueron transparentes, blancos y amarillos. Los tamaños más comunes variaron entre 1 mm y 4 mm.
- En cuanto a la composición de microplásticos en la playa Puerto Arista, predominó el polietileno de baja densidad. Las películas fueron la forma más abundante, mientras que el color blanco fue el más común. Los microplásticos más frecuentes fueron los de tamaño menor a 1 mm.
- La comparación entre la playa Boca del Cielo y Puerto Arista revela una marcada disparidad en la cantidad de microplásticos, con 33 y 432 piezas respectivamente. Este contraste sugiere una posible relación entre la afluencia turística y la gestión inadecuada de los residuos sólidos generados en las áreas residenciales.

- Este estudio proporciona nuevos conocimientos sobre la contaminación por plásticos en las playas de Tonalá, Chiapas, que pueden ser fundamentales para mejorar la gestión de residuos plásticos en esta región.

XI. RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar periódicamente campañas de limpieza de playas.
- ✓ En las zonas de palapa y hoteles colocar mínimo tres botes de basura en la zona de playa.
- ✓ Realizar investigaciones constantes de las costas de Chiapas para así poder determinar la cantidad de microplásticos que presentan.
- ✓ Involucrar al gobierno local para buscar alternativas para tener un buen manejo de los residuos sólidos de las localidades.
- ✓ Para mayor exactitud a la identificación de los microplásticos realizar la espectrofotometría infrarroja.
- ✓ Realizar actividades de difusión acerca del uso controlado de plásticos y como los podemos reciclar de una manera adecuada para evitar la acumulación de estos y así no lleguen a parar en grandes cantidades a ríos, mares y playas.

XII. REFERENCIAS DOCUMENTALES

- Abayomi, O. A., Range, P., Al-Ghouti, M. A., Obbard, J. P., Almeer, S. H. y Ben-Hamadou, R. 2017. Microplastics in coastal environments of the Arabian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*. 124: 181–188.
- Abota, C. A. 2012. Recycling of plastics waste in Ghana; a way to reduce environmental problems/pollutions. Tesis de grado. Universidad Sueca de Ciencias Aplicadas de Uusimaa.
- Acosta-Coley, I. y Olivero-Verbel, J. 2015. Microplastic resin pellets on an urban tropical beach in Colombia. *Environmental Monitoring and Assessment*. 187: 435.
- Alcuri, G. 2018. Los elastómeros en la construcción. *Memoria de Investigaciones en Ingeniería*. 16: 1-19.
- Alvarez-Zeferino, J. C., Ojeda-Benítez, S., Cruz-Salas, A. A., Martínez-Salvador, C. y Vázquez-Morilla, A. 2020. Microplastics in Mexican beaches. *Resources, Conservation and Recycling*. 155: 1-8.
- Andrady, L. A. 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*. 62:1596-1605.
- Andrady, L. A. 2015. Persistence of Plastic Litter in the Oceans. En: Bergmann, M., Gutow, L. y Klages, M. (Eds.). *Marine Anthropogenic Litter*. Pp. 57-72.
- Antunes, J., Frias, J. y Sobral, P. 2018. Microplastics on the Portuguese coast. *Marine Pollution Bulletin*. 131: 294–302.
- Arandes, J. M., Bilbao, J. y López-Valerio, D. 2004. Reciclado de residuos plásticos. *Revista Iberoamericana de polímeros*. 1(5): 28-45.
- Arrighetti, F. 2019. Un mar de plástico. Museo argentino de ciencias naturales Bernardino Rivadavia (MACN) Conicet. 165(28): 47-52.
- Ayukai, T. 1987. Discriminate feeding of the calanoid copepod *Acartia clausi* in mixtures of phytoplankton and inert particles. *Marine Biology*. 94: 579–587
- Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C. y Barlaz, M. 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 364: 1985-1998.

- Beltrán-Rico, M. y Marcilla-Gomis, A. 2011. Tema 2. Tipos de plásticos, aditivación y mezclado. *Tecnología de los Polímeros*. Pp. 44-62.
- Betts, K., 2008. Why small plastic particles may pose a big problem in the oceans. *Environmental Science Technology*. 42: 8995.
- Browne, M. A., Galloway, T. S. y Thompson, R. C. 2010. Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environmental Science Technology*. 44: 3404–3409.
- Cedeño-Zambrano, L. M. y Gilces-Vidal, S. B. 2022. Aprovechamiento del mucílago del moyuyo (*cordia lutea*) para la elaboración de láminas de plástico biodegradables. Tesis de ingeniería ambiental. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.
- Chalmin, P. 2019. The history of plastics: from the Capitol to the Tarpeian Rock. *The journal of field actions*. 19: 7-11.
- Cheung, P. K., Cheung, L. T. O. y Fok, L. 2016. Seasonal variation in the abundance of marine plastic debris in the estuary of a subtropical macro-scale drainage basin in South China. *Science of The Total Environment*. 562: 658–665.
- Christian, N., Gallardo, C., Lenz, M. y Thiel, M. 2018. Capture, swallowing, and egestion of microplastics by a planktivorous juvenile fish. *Environmental Pollution*. 240: 566–573.
- Clasificación y Tipos de Plásticos - Envaselia. Consultado el 14 de Junio del 2023.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. y Galloway, T. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*. 12(62): 2588-2597.
- Conopoima-Moreno, Y. C. 2022. Las islas de plástico su vinculación ambiental en el ecuador. *Revista metropolitana de ciencias aplicadas*. 2(5): 97-103.
- Corrales, C. 2010. Industria del plástico en el noroeste de México y Texas, 1995 – 2005. *Región y Sociedad*. 22(47): 165-192.
- Covarrubias-Velázquez, H. E., Sáenz-Galindo, A. y Castañeda-Facio, A. O. 2016. Resinas termoestables de fenol-formaldehído. *Revista Iberoamericana de polímeros*. 17(6): 2-10.

- Cristán-Frías, A., Ize-Lema, I. y Gavilán-García, A. 2003. La situación de los envases de plástico en México. *Gaceta ecológica*. (69): 67-82.
- Cruz-Salas, A. A., Alvarez-Zeferino, J. C., Martínez-Salvador, C., Enríquez-Rosado, M del R., Gutiérrez-Ortiz, M. del R., Vázquez-Morillas, A. y Ojeda-Benítez, S. 2020. Cuantificación y caracterización de microplásticos y residuos sólidos urbanos en playa Zipolite, Oaxaca. *Revista ciencia y mar*. 24(71): 3-21.
- de Carvalho, D. G. y Baptista-Neto, J. A. 2016. Microplastic pollution of the beaches of Guanabara Bay, Southeast Brazil. *Ocean Coastal Management*. 128: 10–17
- De Cusa, J. 1979. “Aplicaciones del plástico en la construcción”. Ed. CEAC. Barcelona. Pp. 10-11.
- de la Torre, G. E. 2019. Microplásticos en el medio marino: una problemática que abordar. *Revista Ciencia y Tecnología*. 4(15): 27-37.
- Defeo, O., McLachlan, A., Schoeman, D. S., Schlacher, T. A., Dugan, J., Jones, A. y Scapini, F. 2009. Threats to sandy beach ecosystems: a review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 1(81): 1-12.
- Derraik, J. G. B. 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*. 9(44): 842-852.
- Egbeocha, O. C., Malek, S., Emenike, U. C., y Milow, P. 2018. Feasting on microplastics: ingestion by and effects on marine organisms. *Aquatic Biology*. (27): 93-106.
- El sistema SPI (Sociedad de Industrias de Plástico) – Molí de la Vall Major (molidelavallmajor.es). Consultado el 14 de Junio del 2023.
- Elías, R. 2015. Mar de plástico: una revisión del plástico en el mar. *Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero*. 27: 85-105.
- Eo, S., Hong, S. H., Song, Y. K., Han, G. M. y Shim, W. J. 2019. Spatiotemporal distribution and annual load of microplastics in the Nakdong River, South Korea. *Water Research*. 160: 228–2371
- Espinoza, A. 2014. Propiedades de los plásticos. Propiedades de los plásticos (gobiernodecanarias.org). Consultado el 26 de enero del 2024.

- FAO, 2017. Los microplásticos en los sectores de pesca y acuicultura. Disponible en Los microplásticos en los sectores de pesca y acuicultura: ¿que sabemos? ¿Debemos preocuparnos? (fao.org). Consultado el 19 de diciembre del 2023.
- Franco-García, F. Y. y Macías-Hernández, M. K. 2022. Tipos de microplásticos presentes en tres playas del municipio de Tuxpan, Veracruz. Tesis Profesional de Licenciatura. Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache. Álamo Temapache, Veracruz, México.
- Frias, J. P. G. L., Gago, J., Otero, V. y Sobral, P., 2016. Microplastics in coastal sediments from Southern Portuguese shelf waters. *Marine Environmental Resources*. 114: 24–30.
- García-Díez, S. 2009. Referencias históricas y evolución de los plásticos. *Revista Iberoamericana de polímeros*. 1(10): 71-80.
- García-Marín, L. M. 2019. Plásticos en los océanos. *Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de La Unión*. 34: 2-6.
- 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.
- Gómez-Garcés, S. E. y Vélez-Torres, S. D. 2023. Presencia de microplásticos en la playa de San Jacinto de la provincia de Manabí-Ecuador. Proyecto de investigación. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.
- Góngora-Pérez, J. P. 2014. La industria del plástico en México y el mundo. *Revista Comercio Exterior*. 5(64): 6-9.
- Hernández -Hernández, E. y Damián-Pérez, D. 2018. Evaluación de microplásticos en sedimentos del río Tecate. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería. Universidad Autónoma de Baja California. Tijuana, Baja California.

- Herrera, A., Liria, A., Ostiategui, P. y Gómez, M. 2017. Los microplásticos: amenaza de los ecosistemas marinos. *Revista de la Sociedad Atlántica de Oceanógrafos*. 5: 12-17
- Jache-Chamorro, R. 2014. Gestión de plásticos en el medio marino. Tesis de ingeniería. Universidad de Cantabria.
- Karthik, R., Robin, R. S., Purvaja, R., Ganguly, D., Anandavelu, I., Raghuraman, R., Hariharan, G., Ramakrishna, A. y Ramesh, R. 2018. Microplastics along the beaches of southeast coast of India. *Science of The Total Environment*. 645: 1388–1399
- Kim, I. S., Chae, D. H., Kim, S. K., Choi, S. y Woo, S.B. 2015. Factors influencing the spatial variation of microplastics on high-tidal coastal beaches in Korea. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 69: 299–309.
- Kukulka, T., Proskurowski, G., Morét-Ferguson, S., Meyer, D. W. y Law, K. L. 2012. The effect of wind mixing on the vertical distribution of buoyant plastic debris. *Geophysical Research Letters*. 39(7): L07601.
- Lagos, A. M., Colorado, A., Giraldo, D., Fragozo, L. y León, M. V. 2019. Basura marina: una responsabilidad de todos. *Boletín de zoología*. 12: 1-16.
- Lara-Lara, J., Arreola-Lizárraga, J., Calderón-Aguilera, L., Camacho-Ibar, V., De La Lanza-Espino, G., Escofet, A., Espejel-Carvajal, M., Guzmán-Arroyo, M., Ladah, L., López-Hernández, M., Meling-López, A., Moreno-Casasola, P., Reyes-Bonilla, H., Ríos-Jara, E. y Zertuche-González, J. 2008. Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. En: Soberón, J., Halffter, G. y Llorente, J. (Eds.). *Capital Natural de México*. Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pp. 109-134.
- Li, W. C., Tse, H. F. y Fok, L. 2016. Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of the Total Environment*. 566(567): 333-349.

- López-Carrasquero, F. 2014. Fundamentos de polímeros. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias, Departamento de Química. Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química. 4-65.
- Lots, F. A. E., Behrens, P., Vijver, M. G., Horton, A. A. y Bosker, T. 2017. A large-scale investigation of microplastic contamination: abundance and characteristics of microplastics in European beach sediment. *Marine Environmental Resources*. 123: 219–226.
- Lozoya, J. P., Teixeira de Mello, F., Carrizo, D., Weinstein, F., Olivera, Y., Cedrés, F., Pereira, M. y Fossati, M. 2016. Plastics and microplastics on recreational beaches in Punta del Este (Uruguay): unseen critical residents? *Environmental Pollution*. 218: 931–941.
- Lusher, A. Hollman, P, y Mendoza-Hill, J. 2017. Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organism and food safety. FAO, Rome. Pp. 26-53.
- Magdaleno-Ramírez, J. 2007. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR)-Versión 2006-2008.
- Marín-Galvín, R., Rosado-Sanz, A., Paraira-Faus, M., Parra-Salmerón, M., Borrego, M., Jiménez-Jiménez J., Carranza-Egaña, I., Pérez, Baroja, I., Lacorte, S. y Pérez-Recuerda, R. 2019. Microplásticos en aguas: presencia, investigación y potencial incidencia sanitaria sobre el ser humano. *Revista Tecnoaqua*. 36: 76-86.
- Masura, J., Baker, J., Foster, G., Arthur, C. y Herring, C. 2015. Métodos de laboratorio para el análisis de microplásticos en el medio marino: recomendaciones para cuantificar las partículas sintéticas en agua y sedimento. Memorando técnico de la NOAA NOS-OR&R-48.
- McLachlan, A. y Turner, I. 1994. The interstitial environment of sandy beaches. *Marine Ecology*. 15(3/4): 177–211.
- Monteiro-Pereira, R. C., Assunção-Ivar do Sul, J., y Costa-Ferreira, M., 2020. Small microplastics on beaches of Fernando de noronha island, Tropical Atlantic Ocean. *Ocean and Coastal Research*. 68: 2-10.

- Montero-Rodríguez, C. L. y Mejía-Barragán, F. 2018. El descubrimiento de los plásticos: de solución problema ambiental. *Letras ConCiencia Tecnología*. 5: 81-96.
- Moore, C. J. 2008. Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research*. 108: 131-139.
- Moreno-Casasola, P. 2004. Las Playas y dunas del Golfo de México. Una visión de la situación actual. En: Caso, M., Ezcurra, E. y Pisanty, I. (Eds.). Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Instituto Nacional de Ecología. Pp. 491–520.
- Nel, H. A. y Froneman, P. W. 2015. A quantitative analysis of microplastic pollution along the south-eastern coastline of South Africa. *Marine Pollution Bulletin*. 101: 274–279.
- Ogunola, O. S. y Palanisami, T. 2016. Microplastics in the Marine Environment: Current Status, Assessment Methodologies, Impacts and Solutions. *Journal of Pollution Effects & Control*. 2(4): 1-13.
- Ory, N. C., Sobral, P., Ferreira, J. L. y Thiel, M. 2017. Amberstripe scad *Decapterus muroadsi* (Carangidae) fish ingest blue microplastics resembling their copepod prey along the coast of Rapa Nui (Easter Island) in the South Pacific subtropical gyre. *Science of The Total Environment*. 586: 430–437.
- Pérez-Alvelo, K. M., Llegus, E. M., Forestier-Babilonia, J. M., Elías-Arroyo, C.V., Pagán-Malavé, K. N., Pájaro-Rivera, G. J., y Rodríguez-Sierra, C. J. 2021. Microplastic pollution on sandy beaches of Puerto Rico. *Marine Pollution Bulletin*. 164: 1-9.
- Piñon-Colin, T. de J., Rodríguez-Jiménez, R., Pastrana-Corral, M. A., Rogel-Hernandez, E. y Wakida, F. T. 2018. Microplastics on sandy beaches of the Baja California peninsula. Mexico. *Marine Pollution Bulletin*. 131: 63–71.
- Poo-Rubio, A. 1978. Recursos materiales del diseño. Plásticos. Departamento de procesos y técnicas de realización. Pp. 1-58.
- Posada-Bustamante, B. 1994. La degradación de los plásticos. *Revista Universidad EAFIT*. 94(30): 67-86.

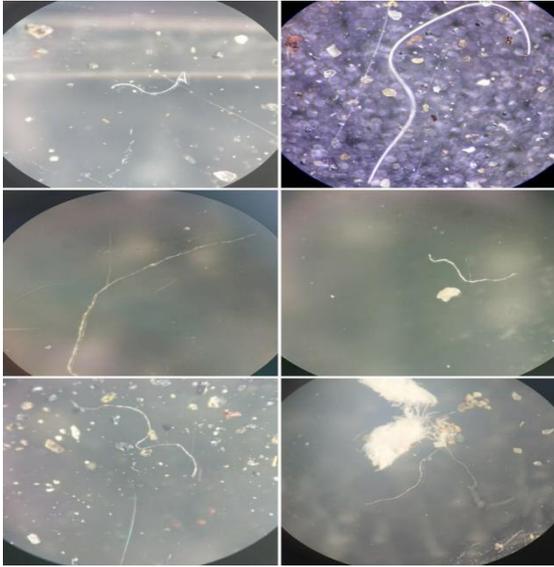
- Purca, S. y Henostroza, A. 2017. Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú. *Revista peruana de biología*. 1(24): 101-106.
- Rojo Nieto, E., y Montoto Martínez, T. 2017. Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global. *Ecologistas en acción*. Pp. 4-38.
- 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(1526): 1999–2012.
- Sánchez, L. y Bravo, M. 2013. Los plásticos: reyes de la vida moderna. *Revista Gestión*. 160: 52-55.
- Sarria-Villa, R. A. y Gallo-Corredor, J. A. 2016. La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingeniería*. 1(8): 21-27.
- Segura, D., Noguez, R. y Espín, G. 2007. Contaminación ambiental y bacterias productoras de plástico biodegradable. *Biotecnología*. 3(14): 361-371.
- SEMARNAT. Programa integral de playas limpias [WWW Document]. Programa Integr. Play. limpias. URL <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/gob-mx/playas/pdf/acciones.pdf>. Consultado el 22 de enero de 2023.
- SENER. 2006. NMX-AA-120-SCFI-2006. Que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas. México.
- Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A. y Ahmed, S. 2008. Biological degradation of plastics: a comprehensive review. *Biotechnology advances*. 3(26): 246-265.
- Short, A. y Jackson, D. 2013. Beach Morphodynamics. *Treatise on Geomorphology*. 10: 106-109.
- Sintac Recycling. 2023. Códigos de identificación en los plásticos. Códigos de identificación en los plásticos (sintac.es). Consultado el 26 de enero del 2024.
- Téllez-Maldonado, A. 2012. La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá. Tesis de investigación. Facultad de Ciencias Económicas,

- Instituto de Estudios Ambientales-IDEA. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Torres-García, F. 1999. Polímeros: procesos de manufactura y diseño. Parte 1: termoplásticos. *Revista de Química*. 1(13): 55-67.
- Torrez-Pérez, K. A., Cervantes, O., Reyes-Gómez, J. y Olivos-Ortiz, A. 2021. Clasificación de Microplásticos en playas urbanas, suburbanas, rurales y naturales de Colima y Jalisco, México. *Revista Costas*. 3(1): 207-230.
- UNEP and GRID-Arendal, 2016. Marine Litter Vital Graphics. United Nations Environment Programme and GRID-Arendal. Nairobi and Arendal. [Marine litter: Vital graphics \(unep.org\)](https://www.unep.org/marine-litter/vital-graphics)
- Valencia-Ramirez, M. 2021. Evaluación de la presencia de microplásticos en el lago de Chapala. Tesis de grado. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional CIIDIR-IPN Unidad Michoacán. Instituto Politécnico Nacional.
- Vázquez-Morillas, A., Cruz-Salas, A., Alvarez-Zeferino, J. C., Rosado-Piña, V. L., Beltrán-Villavicencio, M., Mendoza-Sánchez, M., Espinosa-Valdemar, R., y Velasco-Pérez, M. 2020. Monitoreo de microplásticos en playas. Manual para el monitoreo de microplásticos en playas de arena. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Vázquez-Morillas, A., Velasco-Pérez, M., Espinoza-Valdemar, R., Morales-Contreras, M., Hernández-Islas, S., Ordaz-Guillén, M., y Almeida-Filgueira, H. 2016. Generación, legislación y valorización de residuos plásticos en Iberoamérica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. (32): 64-76.
- Vedolin, M. C., Teophilo, C.Y.S., Turra, A. y Figueira, R. C. L. 2019. Spatial variability in the concentrations of metals in beached microplastics. *Marine Pollution Bulletin*. 129: 487–493.
- Veerasingam, S., Mugilarasan, M., Venkatachalapathy, R., Vethamony, P., 2016. Influence of 2015 flood on the distribution and occurrence of microplastic pellets along the Chennai coast. India. *Marine Pollution Bulletin*. 109, 196–204.

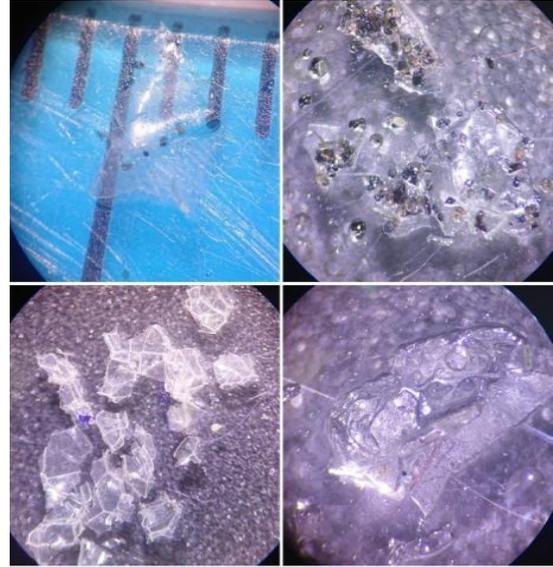
- Wessel, C. C., Lockridge, G. R., Battiste, D. y Cebrian, J. 2016. Abundance and characteristics of microplastics in beach sediments: insights into microplastic accumulation in northern Gulf of Mexico estuaries. *Marine Pollution Bulletin*. 1(109): 178-183.
- Zheng, Y., Yanful, E. K., Bassi, A. S., 2005. A review of plastic waste biodegradation. *Critical Review in Biotechnology*. 25: 243–250.

XIII. ANEXOS

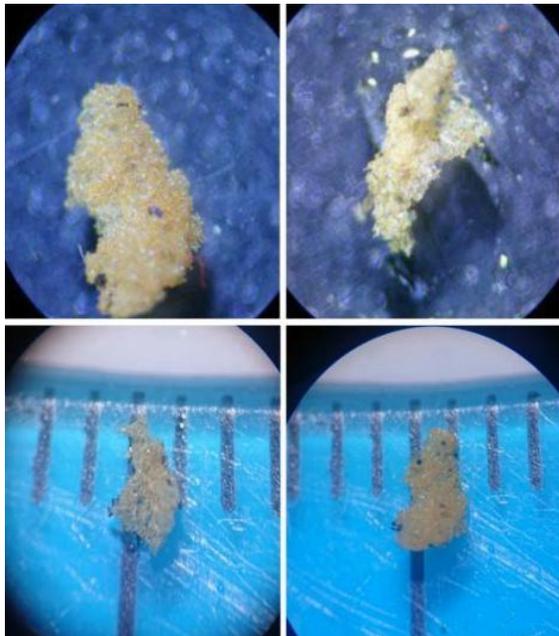
Anexo I. Microplásticos encontrados en Boca del Cielo, Chiapas.



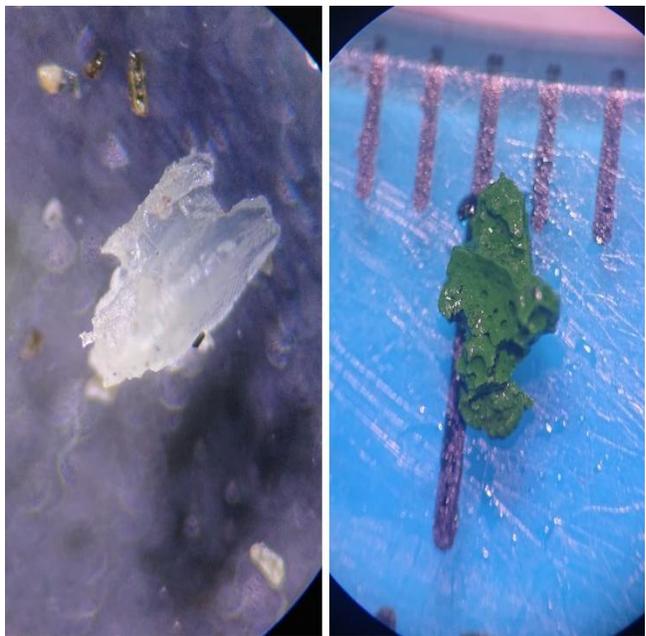
- Fibras de 1mm-5mm



- Películas de 1mm-4mm

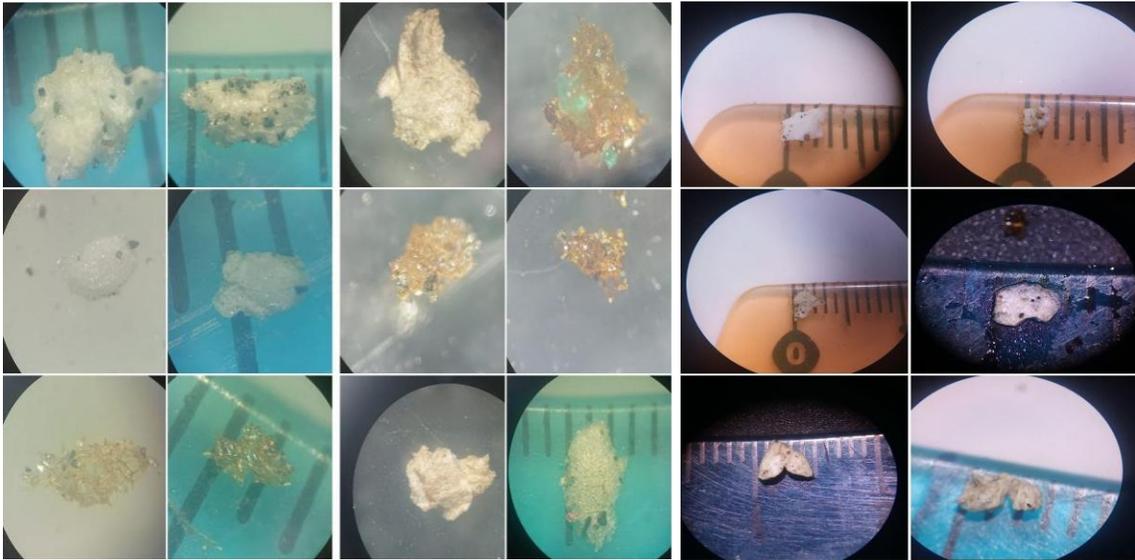


- Espumas de 2mm



- Fragmento de 1.5mm-2mm

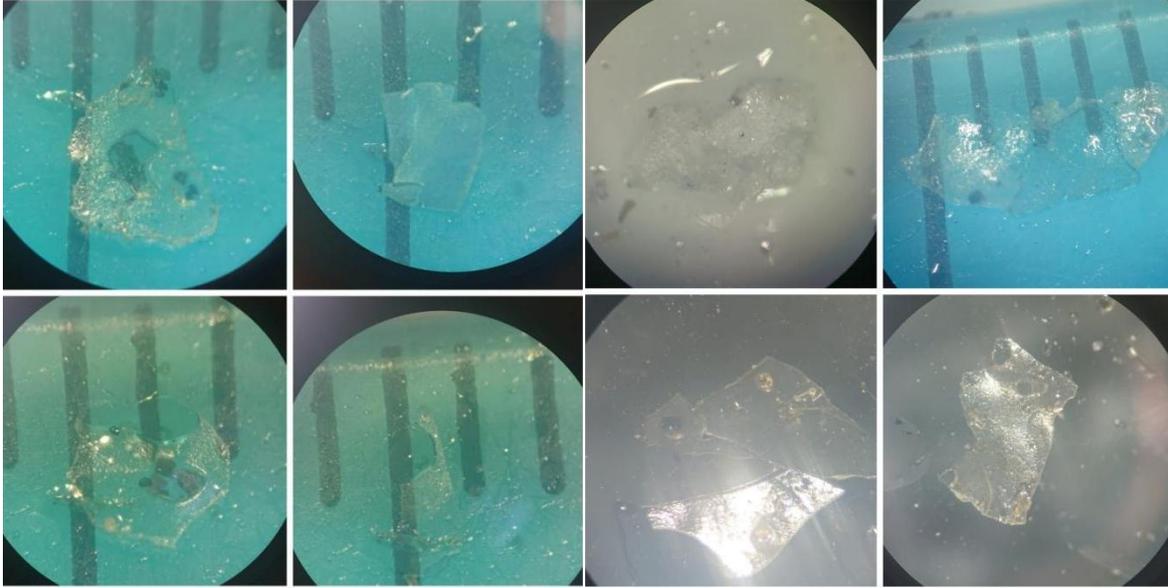
Anexo II. Microplásticos encontrados en Puerto Arista Chiapas.



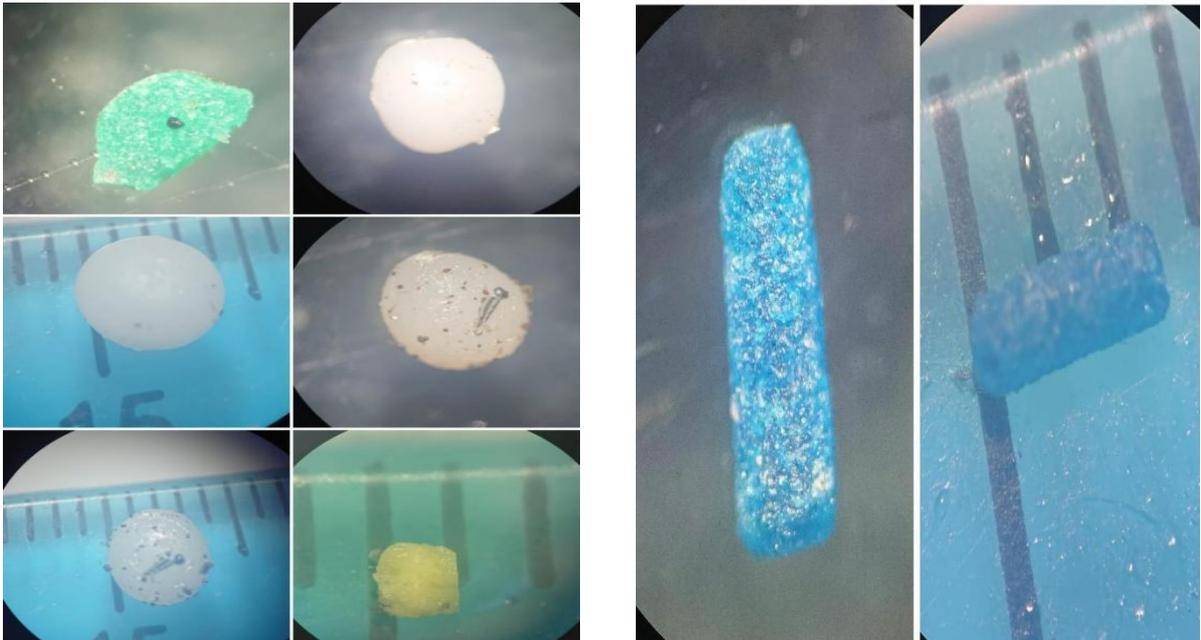
- Espumas <1mm-5mm



- Fragmentos de <1mm-5mm



- Películas de 4mm-5mm



- Gránulos de 1mm-5mm

- Pellets de 4mm-5mm