UNIVERSIDAD INTERAMERICANA DE PUERTO RICO
RECINTO DE SAN GERMÁN
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS AMBIENTALES

IDENTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN LA POZA DEL OBISPO EN ARECIBO Y LA BOCA EN BARCELONETA, PUERTO RICO

Selimar Álvarez Vázquez

Diciembre de 2023

UNIVERSIDAD INTERAMERICANA DE PUERTO RICO
RECINTO DE SAN GERMÁN
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Tesis presentada y aprobada para completar el grado de Maestría en Ciencias en Ciencias Ambientales

IDENTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN LA POZA DEL OBISPO EN ARECIBO Y LA BOCA EN BARCELONETA, PUERTO RICO

SELIMAR ÁLVAREZ VÁZQUEZ

Diciembre de 2023

Miembros del Comité Graduado:

Evelyn Cepeda Pérez, Ph. D. — 12/05/23
Directora de Tesis — Fecha

Ángela González Mederos, Ph. D. — 12/05/23
Miembro de Comité de Tesis — Fecha

Tania Rodríguez López, M.A. — 12/05/23
Miembro de Comité de Tesis — Fecha

Lina Llanos Vargas, Ed.D. — 12/06/23
Directora del Departamento de Ciencias y Tecnología — Fecha

Carlos E. Irizarry Guzmán, Ph.D. — 12/06/2023
Director Estudios Graduados e Investigación — Fecha

Ileana Ortiz Rivera, Ed.D. — 12/06/2023
Decana de Asuntos Académicos — Fecha

Dedicatoria

A Dios por brindarme la sabiduría y las fuerzas para completar este proyecto. A mi madre Marilu Vázquez Torres, a mi hermana Grace Álvarez Vázquez y a mi abuela Sara Torres Vega por su apoyo incondicional y sus palabras de aliento en momentos de dificultad. A mi padre Sergio Álvarez Mckelly, quien, a pesar de ya no estar físicamente en medio nuestro; sus enseñanzas permanecen en mí.

Agradecimientos

Agradezco a Dios primeramente por brindarme el ánimo y la paz durante todo este tiempo. En el transcurso de este proyecto fueron varias las personas que me brindaron su ayuda, su apoyo, la exhortación y el conocimiento para que yo pudiera alcanzar mi propósito. Gracias doy a mi madre Marilu Vázquez Torres y a mi hermana Grace Álvarez Vázquez por su apoyo moral y su constante compañía durante los muestreos y demás etapas de esta investigación. De igual forma, agradezco a mi familia por todo su apoyo. Agradezco a los voluntarios de la Iglesia Pentecostal Jerusalén en Arecibo y amigos que me ayudaron durante la etapa de recolección de muestras. Por último y no menos importante, agradezco a los miembros de mi comité de tesis. A la Dra. Evelyn Cepeda, mentora de mi tesis, por la dedicación, la dirección y valiosas recomendaciones durante todo este período. Le doy gracias a la Dra. Ángela González por sus recomendaciones y gran ayuda con los equipos necesarios para yo lograr completar la metodología de esta investigación. También agradezco a la Sra. Tania Rodríguez por su disposición y consejos durante la corrección de mi tesis. A todos muchas gracias, sin ustedes este trabajo no hubiera sido posible.

Tabla de Contenido

Lista de figuras viii

Lista de Tablas xi

Abreviaturas xii

Resumen xiii

Abstract xiv

Introducción 1
Trasfondo del Estudio 1

Problema de Investigación 8

Justificación.....11

Propósito del Estudio 13

Revisión de Literatura..... 14
Introducción 14

Hallazgos en Investigaciones de Plásticos y MP 15

MP en agua dulce 15
MP en zonas costeras.....17
MP en océanos.....19
MP en zonas remotas.....21
MP en agua potable 21

Leyes y reglamentos para el manejo de desperdicios sólidos de origen plástico.....22

Leyes para el manejo de desperdicios sólidos, reducción del uso de microplásticos y preservación ambiental en los Estados Unidos y Otros Países.....23
Legislación de desperdicios sólidos y plásticos en Puerto Rico.....25

Clasificación de MP 26

Fibras 26
Filamentos 27
Fragmentos 28

Microperlas 29
Plásticos peletizados 30
Presencia y efectos de MP en microorganismos y animales acuáticos 30
Presencia y efectos de MP en el humano 32
Zona costera norte de Puerto Rico 34
La Poza del Obispo, Arecibo 35
La Boca, Barceloneta 36
Metodología 39
Muestreo 39
Lugar de muestreo 40
Colección de las muestras 42
Separación de MP del sedimento 43
Filtrado de las Muestras Acuosas 44
Identificación Visual 45
Concentración de MP por m^2 y L 45
Análisis Estadístico 46
Resultados 47
Concentración de MP en La Poza del Obispo y en La Boca 47
Tipos de MP en La Poza del Obispo y en La Boca 53
Variaciones en la concentración de MP en temporadas de lluvia y sequía 57
Comparación de MP/m cuadrado de las muestras de arena de las playas La Poza del Obispo y La Boca 60

Comparación de MP/L de las muestras de agua de las playas La Poza del Obispo y La Boca 61

Comparación de los tipos de MP y su distribución presente en las muestras de arena en la playa La Boca y la playa La Poza del Obispo 62

Presencia de los tipos de MP y su distribución en las muestras de arena durante el periodo de lluvia y sequía en la playa La Boca y la playa La Poza del Obispo 64

Presencia de los tipos de MP y su distribución en las muestras de agua durante el periodo de lluvia y sequía en la playa La Boca y la playa La Poza del Obispo. 67

Análisis de los Resultados 68

Concentración de MP en La Poza del Obispo y en La Boca 69

Tipos de MP en La Poza del Obispo y en La Boca 71

Variaciones en la concentración de MP en temporadas de lluvia y sequía 75

Comparación de la cantidad y los tipos de MP en la playa La Poza del Obispo en Arecibo y La Boca en Barceloneta 75

Conclusiones 78

Recomendaciones 81

References 82

Lista de Figuras

Figura 1. MP de tipo fibra ……27

Figura 2. MP de tipo filamento .……27

Figura 3. MP de tipo fragmento ...…….28

Figura 4. MP de tipo espuma ……....29

Figura 5. MP de tipo microperla ...……29

Figura 6. MP de tipo plástico peletizado .....……...……..30

Figura 7. Imagen satelital de La Poza del Obispo y sus predios en Arecibo …….....36

Figura 8. Imagen satelital de La Boca y sus predios en Barceloneta ……37

Figura 9. Pesca recreacional en La Boca, Barceloneta …….……38

Figura 10. Letrero de aviso en la playa La Boca ...…….……..38

Figura 11. Diagrama de muestreos de La Poza del Obispo. (A) se muestran las posiciones de los cuadrantes para las muestras de arena. (B) se presentan los puntos de muestreos de agua .....……...…41

Figura 12. Diagrama de muestreos de La Boca. (A) se muestran las posiciones de los cuadrantes para las muestras de arena. (B) se presentan los puntos de muestreos de agua 42

Figura 13. Separador por densidad ...……..……..43

Figura 14. Equipo para filtración de muestras acuosas 45

Figura 15. Concentración del promedio de microplásticos por m^2 en la arena de La Poza del Obispo según la zona de muestreo 48

Figura 16. Concentración total de microplásticos por litro en el agua de La Poza del Obispo según la zona de muestreo 49

Figura 17. Concentración del promedio de microplásticos por m^2 en la arena de La Boca según la zona de muestreo 50

Figura 18. Concentración total de microplásticos por litro en el agua de La Boca según la zona de muestreo 51

Figura 19. Comparación del promedio de MP por m^2 de las tres líneas de muestreo en La Poza del Obispo y La Boca 52

Figura 20. Interacción entre las medias de las muestras de arena de las playas La Poza del Obispo y La Boca según mes 53

Figura 21. Fotografías de MP tomados durante la observación en microscopio 54

Figura 22. Proporción de los hallazgos de MP en la arena de La Poza del Obispo 54

Figura 23. Proporción de los hallazgos de MP en el agua de La Poza del Obispo.....55

Figura 24. Proporción de los hallazgos de MP en la arena de La Boca 56

Figura 25. Proporción de los hallazgos de MP en el agua de La Boca 56

Figura 26. Promedio de MP/m^2 en las muestras de la arena de La Poza del Obispo durante las temporadas de lluvia y sequía 57

Figura 27. Promedio de MP/L en las muestras del agua de La Poza del Obispo durante las temporadas de lluvia y sequía 58

Figura 28. Promedio de MP/m^2 en las muestras de la arena de La Boca durante las temporadas de lluvia y sequía 59

Figura 29. Promedio de MP/L en las muestras del agua de La Boca durante las temporadas de lluvia y sequía 60

Figura 30. Promedio de MP de las muestras de la arena por m^2 de La Poza del Obispo y La Boca en los ocho meses de investigación 61

Figura 31. Promedio de MP/L en las muestras del agua de La Poza del Obispo y La Boca en los ocho meses bajo estudio 62

Figura 32. Distribución del promedio de los tipos de MP en la arena de La Poza del Obispo y La Boca 63

Figura 33. Comparación de las medias de las fibras en época de lluvia y sequía en las playas La Poza del Obispo y La Boca 65

Figura 34. Comparación de las medias de los fragmentos en época de lluvia y sequía en las playas La Poza del Obispo y La Boca 66

Figura 35. Distribución del promedio de los tipos de MP en las muestras del agua de La Poza del Obispo y La Boca 68

Figura 36. Desperdicios sólidos de plástico en sedimento de la playa La Boca 73

Abreviaturas

Abreviatura	Definición
MP	Microplásticos
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PVC	Policloruro de vinilo
PET	Tereftalato de polietileno
PUR	Poliuretano
PS	Poliestireno
PES	Poliéster
BPA	Bisfenol A

Resumen

La producción y consumo de plásticos ha crecido en las últimas décadas de forma exponencial. El manejo incorrecto y su descomposición lenta han provocado la acumulación del material en los océanos y en la arena de playas alrededor del mundo. Por factores naturales, los plásticos se fragmentan en piezas más pequeñas conocidas como microplásticos (MP). Varias investigaciones han demostrado que los plásticos y sus fragmentos pueden contaminar el ambiente y afectar los seres vivos. Este trabajo evaluó la presencia e identificación de estos fragmentos en dos zonas costeras del área norte de Puerto Rico: La Poza del Obispo en Arecibo y La Boca en Barceloneta. Se llevaron a cabo varios muestreos en arena y agua durante ocho meses en el 2021, después de la reapertura de playas por motivos del cierre ocasionado por la pandemia del COVID-19. Los MP en arena se recuperaron utilizando el método de separación por densidad. Para las muestras de arena y agua se utilizaron técnicas de filtrado y microscopía para clasificar los MP. En las dos zonas se logró detectar la presencia de MP. Los contaminantes de mayor presencia en ambas playas fueron fibras, filamentos y fragmentos. Los resultados de la arena de ambas playas se compararon y se observó diferencias significativas en marzo, abril y junio. Se demostró una acumulación mayor de MP en la arena en época de sequía. Las muestras de agua no exhibieron diferencias significativas en la concentración, ni según la época de lluvia o sequía, excepto por los filamentos. No se encontró relación entre la concentración de MP y la intrusión de agua dulce en La Boca. La cantidad de MP recuperados en este estudio se comparó con otros estudios. Este estudio evidencia por primera vez la presencia de MP en dos playas de la zona norte de Puerto Rico.

Abstract

The production and consumption of plastics have significantly increased in recent decades. Improper disposal of plastic waste, which decomposes slowly, has caused the material to accumulate in oceans and on beaches worldwide. Natural processes break down plastics into tiny pieces known as microplastics (MP). Multiple studies have demonstrated that plastics and their fragments can contaminate the environment and harm living organisms. The present study investigated the presence of MP within two coastal regions of northern Puerto Rico: La Poza del Obispo in Arecibo and La Boca in Barceloneta. Sand and water samplings were collected at both sites during an eight-month period in 2021, after the reopening of beaches due to the COVID-19 pandemic lockdown. The density separation method was employed to recover microplastics from sand. Filtering and microscopy techniques were used to identify MP in sand and water samples. MP was detected in both areas. The most commonly found pollutants on both beaches were fibers, filaments, and fragments. A significant difference was observed in the sand samples from both beaches when compared in March, April, and June. Additionally, the accumulation of MP in the sand was greater during drought. The water samples did not display significant differences either in concentration or according to the rainy or dry season, except for the filaments. No relationship was found between the concentration of MP and the intrusion of fresh water into La Boca beach. The study found microplastics on two beaches in north Puerto Rico, which is the first time this has been identified in the area. The study also compared its findings to those of other studies.

Introducción

Trasfondo del Estudio

La producción en masa de plásticos comenzó a partir de los años 1950's. Por su versatilidad y porque se puede emplear para varios fines, ha remplazado a otros materiales como el vidrio, el papel y el metal (Cabrera Dorta, 2020; Lindwall, 2020). Desde sus inicios hasta hoy, el plástico se ha convertido en un material de uso imprescindible. Se estima que su producción global es de 320 millones de toneladas al año y va en aumento (Cabrera Dorta, 2019). El 40% de esta producción está destinada a productos de un solo uso y luego pueden ser descartados inmediatamente después de ser utilizados (Cabrera Dorta, 2020; Lindwall, 2020). Como resultado ha generado una gran cantidad de residuos que se acumulan en el medio ambiente (Barne, et al., 2009).

El plástico es un material sintético que se obtiene por la polimerización de monómeros a partir de productos químicos que se extraen de combustibles fósiles (Bogusz y Oleszczuk, 2016; Lindwall, 2020). Los plásticos se producen como resinas poliméricas, fibras sintéticas y aditivos. Dentro de las resinas y fibras predominan el polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), tereftalato de polietileno (PET), poliuretano (PUR) y poliestireno (PS). De este grupo, el PE, PP, PVC, PET y PS constituyen el 85% de la producción de plástico en general (Bernhardt y Schaeffer, 2019).

El polietileno (PE) es un tipo de plástico que se utiliza para elaborar juguetes, botellas de agua y jugos, limpiadores y otros. También, se utiliza para la preparación de los anillos de seis en empaques, bolsas plásticas, microperlas y plásticos peletizados ("pellets"). Otro tipo de plástico es el polipropileno (PP) que se usa para producir empaque de alimentos, tapas de botellas, fibras de ropas, hilo de pescar, microperlas y plásticos peletizados. Por

otro parte, el policloruro de vinilo (PVC) es utilizado ampliamente en materiales para construcción como las tuberías y otros (Environmental Protection Agency [EPA], 2016; Naowee, 2019; Plastics Europe Association of Plastics Manufacturers, 2017; Vilaseró, 2016).

El tereftalato de polietileno (PET) es utilizado para producir botellas de agua, refrescos y productos de limpieza. Asimismo, el poliuretano (PUR) se utiliza en aislantes para neveras y productos de construcción, colchones, ropa deportiva y suelas de zapatos. Por último, el poliestireno (PS) se utiliza en envases de espumas, vasos plásticos, sorbetos y marcos de espejuelos. (EPA, 2016; IPUR, 2018; Naowee, 2019; Plastics Europe Association of Plastics Manufacturers, 2017; Vilaseró, 2016).

La durabilidad de los diversos tipos de plásticos, desafortunadamente convierten a estos artículos en desechos difíciles de procesar y disponer de ellos. La situación se agrava pues el 40% de la producción del plástico son artículos para descartarse luego de un solo uso. Artículos como las bolsas de plásticos que son elaboradas a partir de PE pueden tardar en degradarse entre 150 a 600 años. Por otra parte, las botellas de PE y PET tardan en degradarse de 100 a 1,000 años (Castro Elias, 2019). El hilo de pescar proveniente del PP se degrada en aproximadamente 600 años y las tapas de botellas y ciertos empaques elaborados con PP pueden tardar hasta 1,000 años en descomponerse. Las botellas elaboradas a partir de PVC tardan en descomponerse entre 450 a 1,000 años. Los productos fabricados con PS como los vasos pueden tardar en degradarse de 65 a 75 años. Otros artículos hechos con PS como los sorbetos tardan en descomponerse 200 años y los cubiertos hasta 400 años (EPA, 2016; Investigación y Desarrollo, 2019; IPUR, 2018;

Naowee, 2019; Plastics Europe Association of Plastics Manufacturers, 2017; Vilaseró, 2016).

Varios países han establecido programas para mitigar el aumento de desechos plásticos tales como programas de reciclaje, reusar artículos de plásticos o reducir su uso. En Puerto Rico, se genera 3.8 millones de toneladas de basura al año y el 10 % proviene de material plástico (Colón, 2019; Agencia Federal para el Manejo de Emergencias [FEMA] y Agencia de Protección Ambiental [EPA], 2021). La gestión principal para el manejo y control de estos desperdicios sólidos es su transportación a vertederos. Este tipo de disposición es más económica que otros métodos de eliminación (Departamento de Recursos Naturales y Ambientales [DRNA], 2019). Según datos provisto por la Junta de Planificación de Puerto Rico en la isla se generan 5.56 libras diarias de desperdicios sólidos totales por persona. Esta cantidad es alta, si se compara con Nueva York que genera 4.10 libras, California con 4.31 libras o en Florida con 5.37 libras por persona al día. Estos tres estados de Estados Unidos tienen una población mayor que Puerto Rico (Senado de Puerto Rico, 2019).

La cantidad de residuos generados en la isla también es mayor si se compara con países de Centroamérica y República Dominica. En Guatemala se generan aproximadamente 1.10 libras, Costa Rica 1.89 libras, Panamá 2.20 libras, México 2.64 libras, República Dominicana 2.30 libras y Panamá produce 2.20 libras por persona al día de desperdicios sólidos (Excelsior, 2018; González, s.f.; Peguero, 2020).

En Puerto Rico existen programas de reciclajes los cuáles varían según el municipio. La Coalición Coordinadora de Reciclaje Municipales (CCOREM), entidad compuesta por coordinadores de reciclaje de 47 municipios, se encarga de educar y fomentar estos programas de reciclajes municipales. Para el año 2017 la agencia solicitó a los alcaldes de

cada municipio la coordinación de los servicios de reciclaje según establece la Ley 411 del año 2000 para dar continuidad ininterrumpida a los proyectos de reciclaje. (Hernández, 2017). A pesar de estas estrategias, los esfuerzos de reducción y reciclaje en la isla son mínimos, considerando que en Puerto Rico se recicla menos del 10% de los desperdicios sólidos (FEMA y EPA, 2021). El reciclaje de plásticos, en el país mayormente es de PET y HDPE (polietileno de alta densidad, según sus siglas en inglés) (Ramírez Colón, Desperdicios sólidos a microplásticos: Legislaciones y oportunidades [Webinar], 2020b).

A lo largo de los años los desperdicios sólidos se han acumulado en zonas terrestres y en los cuerpos de agua. Por lo que se han convertido en problemas ambientales y económicos (Auta et al., 2016). Se estima que de un 70 a un 80 por ciento de los desechos plásticos que llegan al mar provienen de la zona terrestre. Estos desechos son transportados por los ríos hacia el mar (Wagner, et al., 2014). Por otra parte, éstos pueden alcanzar los medios acuáticos por medio de la fragmentación de plásticos grandes. Un ejemplo de esto son las botellas de plásticos dejadas en la arena, que luego de varios procesos naturales se fragmentan y posteriormente llegan al mar (González González, 2017b).

Esto ha resultado en que este material se acumule en distintas partes del mundo (Rojo Nieto y Montoto, 2017). En algunos países para combatir esta problemática, han ido implementado ciertas medidas para la prevención de la contaminación por plásticos, a través de monitoreo y limpiezas de playas. También las escuelas y grupos de voluntarios realizan limpiezas anuales y brindan educación relacionada a la contaminación por plástico (Barne et al., 2009).

Los desechos de plásticos en el ambiente pueden afectar a la fauna marina. Algunas especies, pueden enredarse con plásticos y morir por asfixia (Barne et al., 2009). En otros

casos, si los plásticos son pequeños los animales podrían confundirlos con comida (Dyachenko et al., 2017). Las tortugas son un ejemplo claro, ellas confunden las bolsas plásticas con las anémonas, su principal fuente de alimento. En una publicación de National Geographic (España, 2019) se estima que mueren millones de animales marinos al año por ingerir plásticos. También, 700 especies, algunas de estas se encuentran en peligro de extinción. En adición, los microorganismos como el zooplancton, que son la base de la cadena alimentaria en los océanos ingieren directamente partículas de plásticos menores a 1milímetro (Alessi y Di Carlo, 2018).

La basura marina puede representar un problema social y de salud pública (González Saldía, 2019). Generando impactos económicos, afectando el turismo, la industria pesquera y de navegación (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [EPA], s.f.-b). La basura en las costas afecta la calidad de vida porque reduce las oportunidades recreacionales y puede generar problemas de salud por las sustancias químicas presentes en los plásticos En adición, los costos por limpieza de costas incrementan por la contaminación (González Saldía, 2019; Mouat, et al., 2010).

Los desechos plásticos expuestos al ambiente se ven afectados por elementos naturales como los rayos del sol, la lluvia, el viento, la marea y la abrasión por la arena lo que ocasionan que se fragmenten en pequeñas partículas, llamadas microplásticos (MP) (Cabrera Dorta, 2020; Toledo Martínez, 2019). Los MP son partículas sintéticas con un tamaño menor a 5 milímetros (Tagg et al., 2015). Existen dos grupos de MP, los primarios y secundarios. Los primarios se fabrican en forma de pequeños gránulos intencionalmente. Un ejemplo de MP primarios son los granulados, polvos y abrasivos para uso doméstico e industrial, en productos cosméticos y de aseo personal. Los secundarios provienen de

plásticos grandes como las bolsas de plásticos, material de embalaje y otros, que por diferentes factores se fragmentan a piezas de plásticos más pequeñas. (Azoulay, et al., 2019; Bogusz y Oleszczuk, 2016; Cole, et al., 2011; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO], 2017). Según Black (2016), los MP más comunes son los fragmentos, fibras, espumas, plásticos peletizados ("pellets") y microperlas. En algunos cosméticos se pueden encontrar las microperlas y las fibras sintéticas en la industria textil; estos se encuentran en productos de uso cotidiano (Dyachenko, et. al, 2017).

Algunos MP son peligrosos porque son propensos a absorber sustancias tóxicas, en especial, aquellos fragmentos que provienen de las aguas residuales (Carlini y Kleine, 2018). Estos residuos pueden llegar a los cuerpos de agua mediante el efluente de las plantas de tratamiento de agua residual y las escorrentías urbanas (Ziajahromi, et. al, 2017). Las plantas de tratamiento de aguas usadas no están diseñadas para remover todos los MP (Acueductos PR, s.f.). De esta manera, fragmentos de plásticos que no fueron removidos durante el proceso llegan a los cuerpos de agua (Murphy, et. al., 2016). Los MP que se quedan suspendidos en el agua pueden llegar a las zonas costeras a través de la marea. Estos se acumulan en las playas y provocan la contaminación de estos lugares (Anderson, et. al, 2016). La acumulación de MP en el ambiente no sólo afecta a los organismos acuáticos y terrestres, también pueden ser absorbidos por las plantas y alterar su funcionamiento (De Souza Machado, et al., 2019; Liu et al., 2020).

Se ha reportado que microorganismos, invertebrados, peces, aves y mamíferos han ingerido MP (GESAMP, 2015). Estos se pueden acumular en el tejido animal y servir como vehículo de trasporte de patógenos (World Health Organization [WHO], 2019; Sutton y

Sedlak, 2017). Harrison y sus colegas (2014), hallaron que los MP sirven como vectores para algunos tipos de bacterias que pueden colonizar las micropartículas. La presencia de MP en ciertos organismos puede causar complicaciones en su reproducción y reducir su tamaño (Sutton y Sedlak, 2017). Otras investigaciones indican que la ingestión de los MP también puede causar en los organismos estrés patológico, estrés oxidativo y bloqueo en la producción de enzimas. A su vez, los patógenos que se acumulan en los tejidos tiene el potencial de disminuir la respuesta inmune, causar cáncer y generar malformaciones en animales y humanos (Auta et al., 2016).

Aunque los efectos en la salud humana requieren de más investigación, se entiende que a través de la bioacumulación y biomagnificación en niveles tróficos los MP podrían afectar al ser humano (Anderson et al., 2016; Lloyd Smith y Immig, 2018; Rojo Nieto y Montoto, 2017). De investigaciones realizadas por Miranda y Carvalho-Souza, 2015, se encontró gránulos de resina en peces para el consumo humano, lo que puede representar un peligro para la salud pública. Otra de las formas por las cuáles los MP pueden entrar en contacto con alimentos es mediante los sistemas de maricultura. Los organismos cultivados durante su crecimiento podrían estar expuestos a los MP del agua (Cauwenberghe y Janssen, 2014). Por otro lado, los organismos cultivados, pueden ser alimentado con productos que a su vez se encuentren contaminados con MP.

Al igual que los artículos plásticos, la contaminación por su fragmentación como MP es un problema ambiental que afecta la flora, la fauna acuática y la situación económica a nivel global. Son varios los factores adversos asociados a la presencia de MP en el ambiente. Los estudios relacionados con la distribución y tipo de MP en las zonas costeras es limitado. Por esto, es importante ampliar este tipo de investigación que ayude en la

identificación y caracterización de estos fragmentos en arena. Esta investigación exhibe el estado actual de la zona costera bajo estudio, las cuales son áreas recreativas y una de ellas esta contigua a un río.

Problema de Investigación

La playa como parte de la zona costera, es un lugar importante para la recreación y cumple un rol sustancial para el desarrollo de la economía. Este recurso natural sirve de protección a los residentes que viven cerca del océano. Con la presencia de dunas, arrecifes de coral, los sistemas de manglares y las praderas de yerbas marinas ayudan a amortiguar los vientos, el mar agitado y el oleaje ocasionado por las tormentas (PMZC y Estudios Técnicos Inc., 2022; Agencia de Protección Ambiental [EPA], s.f.-c). Es un lugar donde ocurren varias actividades de carácter recreacional, comunitario, cultural, comercial e industrial. Durante el año, son miles los ciudadanos puertorriqueños y turistas que visitan las playas por motivo recreacional (DRNA, s.f.-a) Un estudio sobre la valoración de las playas de Puerto Rico con una muestra de 343 playas determinó que durante los meses de septiembre 2021 y septiembre 2022 hubo aproximadamente 21.4 millones de visitas a las playas (PMZC y Estudios Técnicos Inc., 2022)

Los residuos de plástico representan el mayor peligro al ambiente, la vida silvestre y seres humanos (Naciones Unidas, 2021). Según un estudio, realizado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, anterior a los Huracanes Irma y María, ya existía en Puerto Rico un problema crítico con el manejo de desperdicios sólidos. La mayoría de los 29 vertederos existentes sobrepasan su capacidad de uso. Casi la mitad requiere cierre de operaciones porque representan un grave peligro para el suelo y las aguas subterráneas (Grinberg et al., 2017). La situación empeoró luego del paso del Huracán

María en el año 2017, por el alto volumen de desperdicios generados a causa de la catástrofe (Crespo Feliciano, 2018).

La disposición inadecuada de desperdicios sólidos, en especial de los plásticos, ha incrementado el problema de contaminación (Hammer, et. al, 2012). Vega Albino (2019), expone que las leyes de reciclaje en Puerto Rico no se cumplen y en la isla sólo se recicla un 10 por ciento de los desperdicios sólidos, que mayormente son las botellas plásticas. En su informe, Vega Alvino 2019, puntualiza que, en comparación del pobre reciclaje en la isla, en jurisdicciones como la Unión Europea se ha maximizado el sistema de reciclaje y generan productos nuevos a partir de artículos reciclables (Vega Albino, 2019).

En las zonas urbanas se generan de toda clase de desperdicios sólidos. Estos desperdicios pueden ser trasportados, a través de las escorrentías al ecosistema acuático costero, afectando la calidad de este recurso (DRNA, 2013). Por otro lado, las plantas de tratamientos para aguas usadas no procesan ciertos MP como las microperlas de PE. Estos MP se encuentran presentes en artículos exfoliantes, fragmentos de plásticos abrasivos en agentes de limpiezas o se desprenden de la ropa en el lavado. De una pieza de ropa se puede generar 1,900 fibras de plástico que no se eliminan en la planta de tratamiento y pueden llegar a las aguas superficiales (Beaman y Bergeron, 2016). Asimismo, la basura que se traslada de los ríos a las playas puede perjudicar hábitats físicos y también puede transportar materiales peligrosos que ponen en peligro la vida acuática (EPA, s.f.-d).

Otra fuente que representa un 20 por ciento de la entrada de plásticos al océano es mediante la actividad marítima (Greenpeace, s.f.). Ya sea por la pérdida de artículos y disposición de basura, accidental o intencional en el mar (EPA, s.f.-b). La basura marina relacionada a la pesca incluye redes, trampas, cabos y cuerdas, flotadores, bolsas de cebo,

guantes y basura doméstica (GESAMP, 2016). Los artículos perdidos en el mar se estiman entre 600,000 y 800,000 toneladas en el océano. Estos artículos una vez en el mar pueden seguir afectando la vida animal (Protección Animal Mundial, s.f.) También, los buques de transporte que viajan a través del mar con una tripulación que a diario produce desechos sólidos, si no se manejan de forma correcta pueden acabar en el lecho marino (GESAMP, 2016). Estos plásticos que se encuentran en el sedimento entran directamente al agua y se degradan mediante la radiación ultravioleta. Según pasa el tiempo y por fuerzas mecánicas como el viento, las olas, las mordidas por animales y la actividad humana se fragmentan en partículas de plásticos (GESAMP, 2015).

Las playas en Puerto Rico son uno de los lugares con mayor atractivo turístico. Este recurso natural provee habitad para diferentes especies y proporciona un espacio para el anidaje de animales en peligro de extinción como lo son las tortugas marinas (DRNA, s.f.-b; González González, 2017a). La presencia de MP en el sedimento de las playas podría contribuir a la contaminación de océanos y ocasionarle efectos desfavorables a la vida silvestre (Rojo Nieto y Montoto, 2017).

El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) es la entidad gubernamental que tiene a cargo la limpieza de playas que le han sido asignadas. El DRNA en la campaña “Llévame contigo, mantener las playas limpias depende de tí” en el 2022 expuso que los visitantes en las playas no disponen correctamente de la basura en los zafacones. Este problema empeora en días festivos, cuando los zafacones se llenan y las personas dejan la basura (Ramos Baquero, 2022). En consecuencia, en ciertos lugares de las costas de Puerto Rico se puede encontrar variedad de desperdicios sólidos. El plástico es el desperdicio de mayor presencia en las playas. Durante la limpieza internacional de

Costas (LIC) realizada en el año 2020 se encontraron una variedad de artículos de origen plásticos. Entre los 15 objetos más encontrados se obtuvieron 19,324 pedazos de plásticos (<2.5 cm), 7,967 tapas de botellas, 7,268 botellas, 7,266 sorbetos, 3,772 platos y cubiertos, 2,084 bolsas de mercado y 1,716 contenedores para llevar comida (Scuba Dogs Society, 2020).

La organización Scuba Dogs y otras entidades, se han encargado de hacer monitoreos en algunas playas de Puerto Rico para compilar datos sobre los MP y determinar el grado de contaminación en estas zonas costeras. Sin embargo, falta trabajo por hacer. Por ello esta investigación encaminó sus esfuerzos en obtener información sobre el tipo y cantidad de MP en dos playas de la zona costera del norte, de Puerto Rico utilizadas para la recreación o la pesca. El estudio también evaluó si la distribución de MP en ambos lugares es igual o si existen diferencias. La posibilidad de que el tipo y cantidad de MP en ambos lugares pudiese cambiar en temporadas de lluvia y sequía también fue evaluado.

Justificación

Encontrar desechos de plásticos se ha tornado una característica común de todos los ambientes marinos. Esta basura marina se encuentra desde las bahías costeras y estuarios, hasta los grandes giros oceánicos y la zona abisal del fondo marino (Katija et al., 2017). Los estudios señalan que para el año 2050 habrá más plástico en el océano que peces en el mar (Carlini y Kleine, 2018). A raíz de la pandemia por el Coronavirus 19 hubo un aumento abrupto en la generación de desechos plásticos de un solo uso (Pérez Alvelo, et al., 2021). El aumento de desperdicios sólidos durante la pandemia aumentó en un 35 porciento, en especial por el uso de las mascarillas y guantes (Ramírez Colón, 2020a).

La presencia de MP puede incidir en daños al medio marino en todos sus niveles (Antão-Barboza, et al., 2018). Los MP forman parte de los desechos marinos que mayor afectan la sostenibilidad en los habitad sensibles a la vida silvestre, la ecología y los océanos. Afectan la salud y economía de los habitantes de las costas, comunidades ribereñas y de todo el mundo (Colón Ortiz y Febles Moreno, 2018).

El identificar la fuente original y categorizar el tipo de plásticos, contribuye en el proceso para encontrar posibles vías de reducción de MP en los ambientes marinos (Auta et al., 2016). Los experimentos y el análisis de MP proveen información acerca del nivel de contaminación, los cambios en concentraciones y su posible exposición a organismos marinos (Liu et al., 2020).

En Puerto Rico no existe un programa de monitoreo de MP de parte de las agencias gubernamentales. En cambio, existen organizaciones como “Scuba Dogs Society” las cuales llevan a cabo el monitoreo de MP en playas de Puerto Rico. Como parte de sus hallazgos de los últimos años han encontrado que ocho de cada 10 objetos recolectados son plásticos que en su mayoría son fragmentos y espumas (Trujillo, 2019). No obstante, es necesario incrementar los esfuerzos para identificar y categorizar los MP en las zonas costeras. Tomando en consideración aquellas zonas que están en contacto con cuerpos de agua dulce que son una de las fuentes que aportan micropartículas de plástico al océano.

En esta investigación se reporta la cantidad y el tipo de MP en dos zonas de la costa norte de Puerto Rico. Estos datos que se pueden utilizar para conocer el grado de contaminación de MP en la costa norte central de Puerto Rico afectada por la actividad antropogénica.

Propósito del Estudio

Los objetivos de esta investigación fueron los siguientes:

- Identificar y cuantificar MP en muestras de las playas La Poza del Obispo en Arecibo y La Boca en Barceloneta.
- Comparar la concentración de partículas de MP en las playas La Poza del Obispo y La Boca.
- Evaluar si hay variaciones en la concentración de MP en épocas de lluvia y sequía, tanto en las playas La Poza del Obispo y La Boca.
- Comparar la concentración y los tipos de plásticos en la playa La Boca donde desemboca un río versus la playa La Poza del Obispo donde no hay transporte de agua dulce.

Revisión de Literatura

Introducción

La industria del plástico desde sus inicios ha estado en crecimiento. En el año 1950 se estima que la producción de plásticos fue de 2 millones de toneladas, mientras que para el 2016, aumentó a 280 millones de toneladas (Liu, et al., 2020). Los productos fabricados a partir del plástico son ligeros y económicos por lo cual tienen una gran demanda, en especial aquellos artículos de un solo uso. Este aumento en el uso de plásticos también ha incrementado la cantidad de sus desperdicios una vez descartados. Esta situación, acompañada de programas inadecuados para su disposición termina contaminando ambientes terrestres y acuáticos.

La presencia de este material en medios acuáticos es de preocupación en todo el mundo (W.M.A.W.M. Khalik et al., 2018). Se estima que anualmente desembocan en el océano de 5 a 13 millones de toneladas de plásticos (Carlini y Kleine, 2018). Conforme Rochman y colegas (2013), a nivel global se produjo 280 millones de toneladas de plástico. Menos de la mitad terminó en rellenos sanitarios o fueron reciclados, la otra parte permanecía en uso o dispersa en suelos y océanos. Los fenómenos climáticos como los huracanes e inundaciones también contribuyen al traslado de plásticos a los sistemas acuáticos (Bogusz y Oleszczuk, 2016). Las cifras indican que entre el 40 por ciento y el 80 por ciento de los plásticos que se encuentran en el océano son de origen doméstico. Parte de los desechos son empaques, bolsas plásticas, calzados y encendedores de cigarros (Barne et al., 2009).

Una vez los plásticos entran en contacto con el ambiente, la luz ultravioleta y los cambios en la temperatura pueden ocasionar su fragmentación (Auta, et al., 2016). Este

particulado se conoce como microplásticos o MP. Estos se acumulan en la arena de playas cuando son arrastrados por la marea afectando los océanos a nivel mundial (Cabrera Dorta, 2019). Por su composición química, estas partículas pueden ser contaminantes y que afectan negativamente a la flora y a la fauna (Aslam, et al., 2020). Los MP pueden absorber y acumular componentes tóxicos y funcionar como vehículo de transporte de estas sustancias (Eljarrat, 2019). Los efectos ecotoxicológicos de los contaminantes presentes en MP se transfieren a través de toda la cadena trófica (Katija, et al., 2017). Este impacto por la presencia de desechos plásticos en el ambiente es amplio. En varios organismos representan un peligro físico y puede bloquear su sistema digestivo por la ingesta de MP (Katija, et al., 2017).

Hallazgos en Investigaciones de Plásticos y MP

La presencia de pequeñas partículas de plásticos se reportó por primera vez en los años 1970 en el plancton marino por las costas de la región de Nueva Inglaterra de América del Norte (Colón Ortiz y Febles Moreno, 2018; GESAMP et. al, 2010), y al presente los MP se encuentran a nivel global (GESAMP et. al, 2010). En las últimas cuatro décadas las concentraciones de macropartículas y micropartículas de los plásticos han incrementado en el sedimento y zonas costeras (Barne et al., 2009). Varios estudios confirman que los MP se pueden encontrar en agua dulce, en el sedimento bentónico, en el suelo, en la atmósfera, en el agua de mar, en arena de playas y en las zonas remotas como la región polar (Liu, et al., 2020).

MP en agua dulce

Varios estudios en agua dulce han demostrado la existencia de MP en estos ambientes acuáticos (Wagner, et al., 2014; Sutton y Sedlak, 2017). En continentes como

Asia, donde existe una gran población, se han encontrado que los MP están presentes en lagos, reservorios, en los estuarios y en ríos. Según Wu, et, al. (2018) en la superficie del embalse Tres Gargantas en China se reportó 13.6175 x 10^6 la mayor concentración de partículas por kilómetro cuadrado. Por otra parte, al norte del Tíbet se tomaron muestras en las costas de cuatro lagos, en los cuáles seis de los siete lugares de muestreos demostraron presencia de MP. En el lugar donde se obtuvo la mayor concentración, se le adjudicó la presencia de MP a la entrada de partículas por medio del río (Wu, et, al., 2018). En aguas dulces del interior de Wuhan, China se detectaron MP en un rango de 1,660 ± 639.1 y 8,925 ± 1,591 de partículas por metros cúbicos (Wu, et, al., 2018).

En el 2014, Lechner y sus colegas, llevaron a cabo un estudio por dos años en el segundo río más grande de Europa, el Danubio ubicado en Austria. El propósito de la investigación fue categorizar y cuantificar el trasporte de residuos plásticos. Los resultados indican que el río, a lo largo de Austria y Alemania, trasporta los desechos de la materia prima utilizados por decenas de compañías en la fabricación de plásticos. Igualmente, se adjudica la presencia de plásticos en el río por la navegación y los buques de carga que frecuentan la zona (Lechner, et al., 2014).

Investigaciones en América del Norte también han reportado la presencia de microplásticos en los cuerpos de agua dulce. Se han encontrado microperlas a lo largo de 320 km del río St. Lawrence en Canadá, en ocho de las diez localidades de muestreo (Castañeda, et al., 2014). En los grandes Lagos de Estados Unidos se prepararon 21 zonas para muestreo. En la mayoría de las muestras se encontraron MP de tipo peletizado (“pellets”) y fragmentos. El promedio de partículas de plásticos encontradas en esta investigación fue de 43,157 ± 115,519 partículas por kilómetro cuadrado (Eriksen, et al.,

2013). Otra investigación realizada por Moore y sus colegas (2011), monitorearon por 72 horas, los ríos de Los Ángeles y San Gabriel localizados en California, Estados Unidos. Los investigadores encontraron una abundancia de 2.3 billones de objetos plásticos y fragmentos en todas las muestras.

En Puerto Rico, Ocasio Malavé (2016), condujo una investigación en la Bahía del Estuario de San Juan, incluyendo las lagunas San José, Los Corozos y La Torrecilla. En las tres localidades encontró diferentes tipos de plásticos como los fragmentos, películas y plásticos peletizados ("pellets"). Utilizando un espectrofotómetro (FT-IR), identificó los tipos de polímeros encontrados; resultando el PE como el de mayor presencia (75%), seguido por el PP (24%) y PS (1%).

MP en zonas costeras

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, declara que los estadounidenses desde el 1960 al 2013 han duplicado sus desperdicios sólidos generados (EPA, s.f.-d). Tales desperdicios si no se manejan correctamente, terminan en ríos, arroyos y vías fluviales llegando finalmente a las zonas costeras. Se calcula que, de uno a dos tercios de la basura que se clasifica en las playas son de empaques de plásticos desechables de un solo uso. Los desechos más comunes son vasos, botellas, sorbetes, y otros utensilios (EPA, s.f.-d).

La acumulación de MP también ocurre en los sedimentos de zonas costeras. Éstos se han encontrado en 18 zonas de seis continentes. Una de las razones por la cual pueden acumularse los MP en las orillas, es por las descargas de agua residual de las zonas más pobladas (Browne, et al., 2011). En Dubái, se muestrearon 16 playas y todos los resultados fueron positivos a presencia de MP (Aslam, et al., 2020). Por otra parte, en Inglaterra, en

el 2009, se tomaron muestras de 20 playas y se recolectaron cientos de plásticos peletizados ("pellets") de entre la línea de marea alta y la zona de berma, donde estos plásticos eran visibles en casi todas las playas. En el análisis de las muestras se identificó al PE como el plástico de mayor presencia (Ashton, et. al, 2010).

La Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés) y el Servicio de Parques Nacionales de los Estados Unidos (NPS por sus siglas en inglés), analizaron muestras de 37 zonas costeras de 35 parques entre Alaska, medio oeste, costa oeste e islas del Pacífico. Los resultados demostraron la presencia de MP en cada una de las zonas, donde las fibras fueron el MP de mayor abundancia con un 97 por ciento. En las zonas de mayor presencia de MP se obtuvo un promedio de 70 a 225 piezas por kilogramo de arena (NOAA y NPS, 2017).

En los sedimentos de los Cayos de la Florida también se han detectado MP. La mayoría de los MP eran fibras y fragmentos (Plee, 2016). Situación similar ocurrió en 21 playas estudiadas en la península de Baja California, México. Donde el 91 por ciento de los plásticos identificados fueron fibras (Piñon Colin, et al., 2018). En las costas de cuatro playas en Perú se identificaron fragmentos de estireno, PUR y PP (Purca y Henostroza, 2017).

Para el 2013 en Puerto Rico se realizó una encuesta realizada entre los visitantes de 1,540 playas. El estudio reportó que el 74 por ciento de los visitantes han observado residuos sólidos en las playas que frecuentan. También, se calculó que siete de cada diez visitantes llevan alimentos y otras provisiones cuando visitan las playas de la isla. En ocasiones, estos suministros son abandonados en la arena. De los cuáles el 56 por ciento

son bolsas de plásticos y botellas. Mientras que un 21 por ciento son envases y neveras de espuma (Díaz & Hevia-Rivera, 2017).

En Puerto Rico, al igual que en otras localidades se ha confirmado la presencia de MP en la arena de las costas. Los investigadores Colón Ortiz y Febles Moreno (2018), realizaron un estudio en La Guancha en Ponce caracterizado por ser es una zona portuaria y lugar de turismo. El estudio se completó en cinco meses y el mismo evidenció la presencia de MP de tipo fragmento, plásticos peletizados ("pellets"), fibras y filamentos. De los cuales los plásticos peletizados ("pellets") seguidos por los fragmentos fueron las categorías de mayor presencia. También, Pérez Alvelo y sus colegas (2021), realizaron un estudio en arena de seis playas del área norte de Puerto Rico. Las playas fueron: Costal Azul en Luquillo, Herrera en Loíza, La Pocita en Loíza, Isla Verde en Carolina, La Esperanza en Cataño y Puerto Las Vacas en Barceloneta. En todas las playas se exhibió la presencia de MP los cuales fueron clasificados como plásticos peletizados ("pellets"), película, espumas, fragmentos y fibras/filamentos. De estas seis playas, La Esperanza en Cataño presentó la cantidad mayor de MP, siendo los fragmentos los de mayor abundancia con un 39 porciento.

MP en océanos

En las superficies oceánicas de todo el mundo se pueden encontrar plástico, siendo los MP los de mayor predominancia (Cózar, et al., 2014). Los giros son vórtices de corrientes marinas que se originan por la circulación de vientos entre los continentes. Existen cinco giros subtropicales en los cuáles la basura marina se ha ido acumulando (Arévalo, 2012). A los desechos de plástico acumulados en estos cinco giros se les conocen como "islas de plásticos". Estas llamadas islas de plástico se encuentran en el Pacífico

Norte, Pacífico Sur, Atlántico Norte, Atlántico Sur y Océano Índico (Anellides, 2021). Eriksen y sus colegas (2014), estimaron el total y el peso de partículas de plásticos que flotan en los océanos del mundo. El análisis fue posible utilizando las bases de datos de investigaciones previas entre los años 2007 al 2013 que incluyen a los cinco giros y otras regiones. Los resultados indican que en los océanos flotan 5.25 trillones de partículas de plásticos que en peso se traducen a 268,940 toneladas.

En el Pacífico hay aproximadamente 1.6 kilómetros cuadrados de basura. Esta zona es mejor conocida como "la gran mancha de basura del Pacífico" donde los estudios indican que hay alrededor de 80,000 toneladas de plástico. Los ambientalistas han solicitado a la Organización de Naciones Unidas que declaren "la gran mancha de basura del Pacífico" como "las islas de la basura" por su gran extensión (National Geographic, 2018). En otros mares del Mediterráneo y Europa se acumulan entre 70,000 a 130,000 toneladas de MP y hasta 500,000 toneladas de macroplásticos. Estas llamadas "islas de basura" surgen por el reciclaje inadecuado, vertidos ilegales, contaminación de playas y ríos (Comité español de ACNUR, 2019).

En el mar Báltico de Europa se localizaron MP en el fondo marino y en el sedimento de playa. En sus hallazgos encontraron MP de 0.1 mm a 2.0 mm de longitud en forma de fibra, siendo poliéster el de mayor cantidad (Graca, et al., 2017). También en la Bahía de San Francisco, California se han detectado MP que en su mayoría son fibras sintéticas (Box, 2019).

En el mar Caribe entre el 70 y 85 por ciento de la basura contaminante se origina en tierra y son plásticos (UN Environment Programme, 2019). Al momento en Puerto Rico no se tiene un registro estadístico de la cantidad de MP que se encuentran en nuestras

costas. La organización sin fines de lucro “Scuba Dogs Society” lleva a cabo limpieza de las costas en Puerto Rico por espacio de 18 años (Scuba Dogs Society, 2020). Como parte de esta tarea, en los últimos años han cuantificado e identificado MP en el agua de 10 playas de la isla. Entre los MP encontrados están las fibras, fragmentos, filamentos y microperlas. Siendo las fibras las de mayor presencia. Estas fibras se derivan de los textiles (De los Milagros Colón, 2019; Notiséis 360, 2019).

MP en zonas remotas

En estudios a nivel global se han encontrado MP en el hielo, en las ballenas y en el excremento de focas del Ártico (Anderson, et al., 2016). En otra investigación, Lusher y sus colegas (2015), reportaron presencia de MP en zonas remotas del Ártico. El estudio informa que en el 90 por ciento de las muestras se detectó MP, de las cuáles el 95 por ciento eran fibras. El estudio concluye, que los desechos de plásticos pueden llegar a las zonas árticas por las corrientes de agua que provienen del océano Atlántico y del derretimiento del hielo polar. Este derretimiento ha provocado que las actividades marítimas y de pesca aumenta y a su vez contamina el área. Por otra parte, en un lago remoto de Mongolia llamado Hovsgol, se ha observado la presencia de MP en un rango de 997 a 44,435 partículas por kilómetros cuadrados (Wu, et al., 2018).

MP en agua potable

Hay estudios a nivel mundial que demuestran que se puede encontrar MP en el agua potable (Magee Altreuter, 2017). La Universidad Estatal de Nueva York en Fredonia, analizó 159 muestras de agua de grifo de 14 países. El 81 por ciento de las muestras se detectó partículas de plásticos, de las cuáles el 98 por ciento eran fibras (Azoulay, et al., 2019). La industria de agua embotella se ha visto afectada, pues, también, se han

encontrado MP. Este hallazgo está asociado a los procesos de embotellamiento y empaque (World Health Organization, 2019).

Leyes y reglamentos para el manejo de desperdicios sólidos de origen plástico

En países de Europa, Asia y América se han trabajado ciertas medidas y reglamentos para mitigar la contaminación por plásticos en el medio ambiente. En el año 1991 en Alemania se legisló para la reducción en el uso de bolsas de plásticos (Lugo, 2020). Luego, en 1994 se implementó un sistema de reciclaje unitario en todo el país. Dos años más tarde, se creó la Ley de Economía Circular y Residuos, que permitió el cierre de la mayoría de los vertederos; fueron reemplazados por plantas de incineración. Como resultado, Alemania se ha posicionado entre los países con el mejor sistema de reciclaje, logrando reciclar hasta el 70% de los residuos domésticos (Sternberg , 2017). Bangladesh fue uno de los primeros países en prohibir el uso de bolsas de plásticos en el 2002. La prohibición surgió porque en temporadas de lluvia las bolsas obstruían los sistemas de drenaje (Montes, 2018).

En América Latina también se han promulgado una serie de legislaciones en beneficio a la reducción del uso del plástico. Desde el 2010, en México, se prohíben las bolsas plásticas no biodegradables. A partir de esa fecha, en varios estados de México se han estado regulando los plásticos de un solo uso. En Colombia desde el año 2016 se regulan las bolsas de plástico y se cobra un impuesto como parte de las medidas para la protección del ambiente. En Chile se prohibió en el año 2017 la entrega de plásticos en 102 comunidades costeras. En mayo de 2019, en Perú se aprobó un reglamento para regular plásticos de un solo uso (CNN español, 2019).

En el Caribe también se están tomando medidas para la protección de los recursos naturales. Se han creado leyes y políticas para promover una nueva economía del plástico. En el año 2016 se prohibió en Antigua y Barbados el uso de bolsas plásticas. En Bahamas se promueve la erradicación de los plásticos para la protección del Mar Caribe, que se cataloga como el segundo más contaminado por plásticos en el mundo (ONU Programa para el ambiente, 2018). En la República Dominicana se creó la Ley General de Gestión Integral y Coprocesamiento de Residuos Sólidos, No. 225-20 para la prohibición del uso de bolsas plásticas, artículos elaborados con espumas y otros (Gobierno de la República Dominicana Medio Ambiente, 2022).

Actualmente, en 65 países se han adoptado medidas para la reducción en el uso de bolsas de plásticos (Lugo, 2020). La mayoría de las iniciativas alrededor del mundo han comenzado con la reducción o prohibición de las bolsas de plástico. Estos artículos son un problema ambiental común a nivel mundial. Igualmente, existen agencias como la EPA y otras organizaciones que han desarrollado métodos para detectar plásticos en el ambiente. Con el fin de promover la concientización social para la preservación ambiental.

Leyes para el manejo de desperdicios sólidos, reducción del uso de microplásticos y preservación ambiental en los Estados Unidos y Otros Países

En Estados Unidos existe una ley federal para el manejo de desperdicios sólidos. Esta ley se llama: Ley de Conservación y Recuperación de Recursos 42 U.S. código § 6901 del 1976 (RCRA por sus siglas en inglés). Con esta ley se regulan los desperdicios originados en tierra, y así reducir los residuos y fomentar el reciclaje (EPA, 2022). Una de las primeras leyes que se han realizado en los Estados Unidos para reducir la contaminación por MP es la ley número 114-114 del 2015 “Microbead-free Waters Act”. Esta medida se creó para prohibir la manufactura, introducción o distribución de productos que contengan

microperlas de plásticos, que se utilizan en productos de limpieza y exfoliación del cuerpo humano (Microbead- Free Water Act , 2015). Otros países como Corea del Sur, Taiwán, Nueva Zelanda y Canadá también han prohibido y regulado el uso de MP en cosméticos. (Kentin & Kaarto, 2018).

Tres años después de "Microbead-free Water Act", se crea "Save our Seas Act, 2018". Este documento enmienda la ley de desechos marinos, para promover la acción nacional y reducir los incidentes provocados por los desechos. También, para fomentar el desarrollo de estrategias para la educación. Esta ley provee ayuda para los esfuerzos de limpieza de ocurrir eventos de contaminación severa. Otro punto importante es que promueve investigaciones para la creación de sistemas y materiales que aporten a la reducción del impacto asociado a los desechos generados en tierra que puedan alcanzar el lecho marino (Congress.gov, 2018).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), tiene un rol importante en el desarrollo de programas para la preservación ambiental. Esta agencia lidera los esfuerzos de programas como la Ley de Aguas Limpias y Ley de Playas. La Ley de Aguas Limpias se creó con el propósito de regular las fuentes de descargas en las aguas y controlar la contaminación. Asimismo, la Ley de Playas surge por una enmienda a la Ley de Aguas Limpias, para proteger la salud pública. Con esta ley, se expandieron los esfuerzos para mejorar la calidad del agua en las zonas costeras y proteger la salud de los visitantes (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA], s.f.-a).

Legislación de desperdicios sólidos y plásticos en Puerto Rico

En Puerto Rico se creó la Autoridad de Desperdicios Sólidos (ADS), bajo la ley 70 del 1978. Según dicta la ley, las funciones principales de la ADS son: "planificar, financiar y operar los servicios de transbordo, procesamiento, recuperación y disposición final de desperdicios sólidos" (Ley Núm. 70 de 23 de junio de 1978). Posteriormente, en el año 1992 se enmendó la Ley 70 por la "Ley para la Reducción y el Reciclaje de Desperdicios Sólidos en Puerto Rico". En esta ocasión, dado al aumento en desperdicios sólidos generados y la reducción en la capacidad de los vertederos, se le ordenó a ADS desarrollar un plan para la reducción y reciclaje de desperdicios sólidos en Puerto Rico. En el año 2018, se creó la ley 171 para implementar el "Plan de Reorganización del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de 2018". Esta ley implica la transferencia, agrupación y consolidación de las facultades, funciones y servicios de la Junta de Calidad Ambiental (JCA), la Autoridad de Desperdicios sólidos (ADS) y el programa de Parques Naciones al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) (Estado Libre Asociado de Puerto Rico, 2018).

En Puerto Rico son millones las bolsas de plásticos que circulan y menos del uno por ciento se reciclan. En el 2015 se creó la Ley 247 para la promoción de bolsas reusables y la reglamentación de uso de bolsas plásticas en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico. Esta ley reduce el uso de bolsas plásticas estableciendo un programa de educación y orientación (Ley Núm. 247 de 29 de diciembre de 2015). Asimismo, la ley número 16 del 2021 "Ley para la Prohibición de Neveras Portátiles de Poliestireno o Foam en los Balnearios, Cuerpos de Agua y Playas del Estado Libre Asociado de Puerto Rico" prohíbe el uso de neveras de espumas en los balnearios, cuerpos de agua y playas de Puerto Rico

(Lex Juris, 2021). Por otra parte, el gobierno de Puerto Rico ha aprobado la ley número 51-2022 para la prohibición de plásticos de un solo uso en establecimientos comerciales, de ventas y distribución autorizada a realizar en negocios. Como plásticos de un solo uso la ley se refiere a los vasos, cubiertos, platos, sorbetos y otros contenedores de alimentos elaborados a partir de poliestireno expandido (Microjuris, 2022).

`Clasificación de MP

La Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEA por sus siglas en inglés), en su resolución expone que los plásticos son un creciente problema. A causa de la pobre administración y la disposición de los plásticos que finalmente se convierte en MP (Carlini y Kleine, 2018). Identificar los MP es importante porque estos pueden absorber y transportar contaminantes tóxicos que pueden afectar a la naturaleza (Cabrera Dorta, 2019). Adicional a esto, los MP se pueden encontrar en alimentos de consumo humano como lo son los mariscos (FAO, 2017). Los aditivos peligrosos que se encuentran en los MP son químicos que pueden alterar el sistema hormonal e incluso ser carcinógenos (Azoulay, et al., 2019; Break Free From Plastics, 2019; Carlini y Kleine, 2018).

Los MP se clasifican como primarios y secundarios según su origen. Estos pueden estar fabricados a partir de varios polímeros como los son el PE, el PP, el PVC, el PET y el PS. Los MP más comunes de encontrar son las fibras, fragmentos, espumas, microperlas y plásticos peletizados (“pellets”).

Fibras

Las fibras (Figura 1) mayormente están presentes en piezas de ropas y otros textiles. Estas fibras pueden llegar al ambiente luego del lavado de ropas. En los sistemas de agua

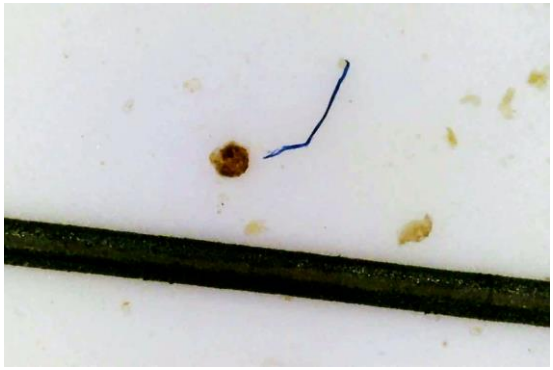
residual las fibras que mayor se observa son de poliéster (Lin, 2019). Una pieza de ropa fabricada con PET, material utilizado ampliamente en la industria del textil, tiene una duración estimada en el ambiente de 500 años (Rodríguez Miguélez , 2019).

Figura 1. MP de tipo fibra (Foto por Selimar Álvarez Vázquez, 2022).

Filamentos

Los filamentos (Figura 2) son una de las clasificaciones visuales que se le pueden atribuir a los MP (Azoulay, et al., 2019). Estos pueden ser creados para el uso en materia prima o como resultado de la degradación de plásticos tipo secundario como el hilo de pescar y otros hilos de plástico (De los Milagros-Colón, 2019; Moreno, 2019).

Figura 2. MP de tipo filamento (Foto por Selimar Álvarez Vázquez, 2022).



Fragmentos

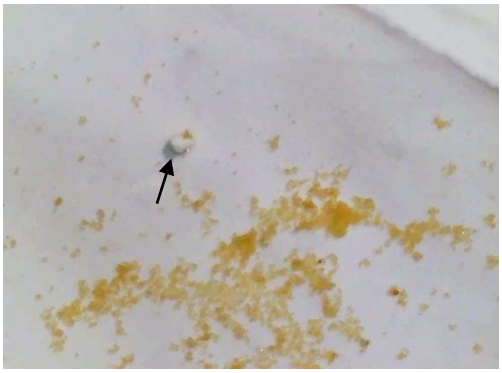
Los fragmentos (Figura 3) son piezas que se generan a partir de objetos de plásticos grandes. Estos MP proviene de objetos como cubiertos, tapas de envases y otros artículos de plásticos de un solo uso (Box, 2019; Zooming in on the Five Types of Microplastics, 2016). El plástico que a su vez se convierte en fragmentos pueden tardar en descomponerse entre 100 a 1,000 años dependiendo del tipo de polímero (Ropero Portillo, Ecología Verde, 2020a).

Figura 3. MP de tipo fragmento (Foto por Selimar Álvarez Vázquez, 2022).

Espumas

La espuma (Figura 4), comúnmente conocido como “foam”, también como poliestireno expandible, es un MP que proviene de artículos fabricados con PS. Puede estar presente en los vasos de café y otros contenedores de comida (Box, 2019; Zooming in on the Five Types of Microplastics, 2016). Las espumas pueden tardar en degradarse de forma natural entre 500 a 800 años (Ropero Portillo, Ecología Verde, 2020b).

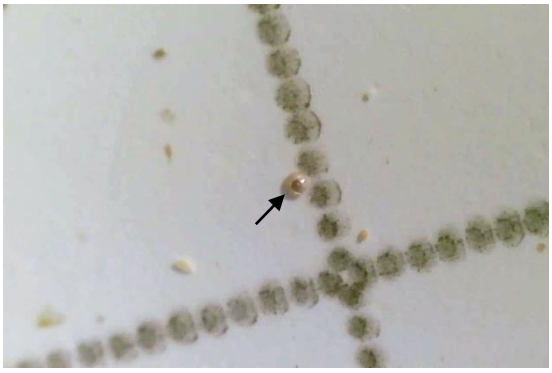
Figura 4. MP de tipo espuma (Foto por Selimar Álvarez Vázquez, 2022).



Microperlas

Los microperlas (Figura 5) son pequeñas esferas de plásticos fabricadas a partir de PE y PP para productos de aseo personal o productos de limpieza. Pueden estar presentes en la pasta dental y exfoliantes para el cuerpo (Lin, 2019; Sedlak, 2019). Las microperlas pueden tardar cientos de años en biodegradarse (Caldwell, 2019).

Figura 5. MP de tipo microperla (Foto por Selimar Álvarez Vázquez, 2022).



Plásticos peletizados (“pellets”)

Los plásticos peletizados también conocidos como “pellets” (Figura 6) se usan para la manufactura de varios productos como las botellas de plásticos, tapa de botellas, bolsas y envases. Se pueden fabricar a partir de PE y PS (Box, 2019; Takada, 2013). El periodo de duración en el ambiente dependerá del tipo de plástico con el cuál han sido preparados los productos. Por ejemplo, materiales elaborados a partir de PE pueden tardar en degradarse hasta 1,000 años y de PS hasta 400 años (Castro Elias, 2019; Vilaseró, 2016).

Figura 6. MP de tipo plásticos peletizados (Hofford, 2015).

Presencia y efectos de MP en microorganismos y animales acuáticos

Son varios los efectos negativos que pueden generar los plásticos si entran en contacto con organismos acuáticos. Muchos de estos organismos ingieren plásticos por que los confunden con alimento (Thompson, et al., 2009). La ingestión de basura marina, que incluye a los plásticos, puede ocasionar daños en el tracto digestivo, úlceras que podrían infectarse y reducir la reproductividad. En ocasiones la ingestión de plásticos puede generar sensación de saciedad y malnutrición. Además, los animales marinos se pueden enredar con los plásticos. Esto puede ocasionarles heridas, estrangulamiento, perdida de movilidad

y de caza. También, impedir el crecimiento y la circulación a las extremidades hasta ocasionar la muerte. (Mouat, et al., 2010).

Estudios de diferentes partes del mundo han confirmado que organismos marinos como el zooplancton, los invertebrados y larvas ingieren MP. Asimismo, como los peces, crustáceos y aves marinas (Anderson, et al., 2016; Cole, et al., 2011; Davison & Asch, 2011; De la Torre, 2019; National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program, 2014). En 2018, Markic y sus colegas analizaron 932 tractos intestinales de 34 especies marinas. En 33 de estas especies se encontró plásticos en sus intestinos. Unas 550 partículas de plásticos se recuperaron, de las cuáles el 95 por ciento eran MP mayormente del PES, seda artificial, PE, PP y PVC.

Se ha demostrado la presencia de MP como el PES o el acrílico que provienen de la ropa y productos de limpieza en peces e invertebrados (Rochman, et al., 2013). En peces forrajeros se ha observado la ingestión de fibras y fragmentos (Lin, 2019). Sánchez y sus colegas (2014), estudiaron el tracto digestivo de los peces *Gobio gobio*, los cuáles pasan todo su ciclo de vida en agua dulce. Encontraron, que el 12 por ciento de los peces estudiados estaban contaminados con MP. Rochman y colegas (2013), encontraron que los peces Medaka pueden experimentar estrés hepático si se exponen a plásticos.

Asimismo, se realizó un estudio con cangrejos expuestos a microesferas de PS con marcadores bioluminiscente. Durante la investigación se encontró que las microesferas ingeridas se mantuvieron en el tejido durante 14 días. Mientras, que las microesferas que se inspiraron por las branquias duraron hasta 21 días en el tejido luego de la exposición (GESAMP, 2015).

Otro punto es, que las proporciones en el área de superficie y volumen de los MP les permiten absorber sustancias tóxicas. Un ejemplo, es un estudio donde se encontró que la cantidad de bifenilos policlorados en plásticos peletizados de PS era 106 veces mayor que la concentración de bifenilos policlorados en el agua circundante. Estos componentes tóxicos pueden ser metales o halógenos que a ciertas concentraciones pueden ser dañinos a la salud de microorganismos acuáticos (De la Torre, 2019; National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program, 2014).

En el año 2012 se realizó La Convención sobre la Diversidad Biológica en Montreal, Canadá. En esta convención, se reportó que los animales han sido afectados al enredarse con plásticos y consumir MP. Esto incluye a todas las tortugas marinas, el 45% de las especies de mamíferos marinos y el 21% de las aves marinas (Rochman et al., 2013).

En Puerto Rico, también, se ha reportado la presencia de MP en especies marinas. Marín-Vargas (2023) evaluó la presencia de microplásicos en el sistema gastrointestinal de peces de arrecifes, de importancia comercial y recreativa en Puerto Rico. Como resultado encontró que en el 34% de las muestras del contenido estomacal (CG), se detectaron MP, mayormente microhilos negros. En el 58% de las muestras del tejido gastrointestinal, también, se detectaron MP en forma de microhilos y microfragmentos. Por otro lado, la investigadora propone que el tamaño de los MP parece depender de su exposición a la densidad del agua, el perfil del hábitat y las corrientes, en lugar de su ingestión como alimento.

Presencia y efectos de MP en el humano

Es viable que los MP lleguen al humano por medio de los alimentos. Dos tercios de la población mundial consume, en un 40 por ciento, de proteínas de peces que pueden

estar contaminados con MP (Lloyd Smith & Immig, 2018). Se estima que el consumo promedio anual de mariscos puede aportar hasta 11,000 piezas de MP (Magee Altreuter, 2017). En China, en la sal de mesa se han identificado MP en 15 marcas (Magee Altreuter, 2017). Asimismo, en productos como la leche, miel, refresco y cervezas producidos en Ecuador se han encontrado MP (Díaz Basantes, et al., 2020).

El uso de combustibles fósiles para la producción de plásticos ha afectado a las comunidades adyacentes a los centros de fabricación. Los químicos que se liberan de la producción ocasionan problemas respiratorios, de la piel y de los ojos. También, se han observado problemas a largo plazo en los sistemas de reproducción, digestión y neurológico (Break Free From Plastics, 2019).

La Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer provee una lista para la identificación de algunos plásticos como carcinógenos. Entre ellos se encuentra el cloruro de vinilo, el cual es un componente del PVC, el estireno y ciertos derivados de ftalatos. (Bollaín Pastor y Vicente Agulló, 2019). El PVC es un polímero que está asociado a problemas hormonales, enfermedades al corazón y que contribuye a la obesidad infantil. Tanto el PVC como el Bisfenol A (BPA), que también se encuentra en estos envases de plásticos, es un interruptor endocrino asociado con el cáncer y desórdenes metabólicos (Goldberg-Fox, 2019).

Las Naciones Unidas tienen un modelo basado en un sistema global para la clasificación de peligros de productos químicos. Según el mismo, el 50% de los ingredientes que contienen los plásticos son peligrosos. (Rochman et al., 2013). En Nueva York, Washington y San Francisco han prohibido el uso de PS en vasos de café, platos y otros utensilios porque se reconoce a este MP como un carcinógeno (Goldberg-Fox, 2019).

Heather y colegas (2022), realizaron el primer estudio para detectar partículas de plásticos en la sangre humana de 22 voluntarios. Los polímeros de mayor abundancia identificados fueron el tereftalato de polietileno, el polietileno y el estireno. La media en la concentración de partículas de plásticos en la sangre fue de 1.6 μg/ml. Con este estudio se demostró que la exposición del ser humano a plásticos puede provocar la absorción de partículas que llegan al torrente sanguíneo. En ensayos in vitro con células humanas se han observado que estas sufren estrés oxidativo en presencia de PS. Asimismo, los MP se pueden acumular en los fagocitos del tejido intestinal lo que afectaría la respuesta inmunológica (World Health Organization [WHO], 2019). Investigadores de la Universidad de Arizona estudiaron la presencia de MP en varios tejidos humanos. Analizaron 47 muestras del tejido de los pulmones, hígado, bazo y riñones luego de exponerlas a MP. En cada una de las muestras se encontró policarbonato, PET y BPA (ACS Newsroom, 2020; Goodyer, 2020).

La Universidad Medica de Viena y la Agencia Ambiental de Austria, en 2018, analizaron la materia fecal de ocho participantes de diferentes países alrededor del mundo. Todos los resultados dieron positivos a MP en las heces y se detectaron 9 tipos de resina de plástico. Por cada 10 mg de materia fecal se encontró un promedio de 20 piezas de MP (Azoulay, et al., 2019; Liebmann, et al., 2018). A pesar de los hallazgos de MP en el cuerpo humano, la evidencia de su efecto directo es escasa. (World Health Organization [WHO], 2019).

Zona costera norte de Puerto Rico

Como parte de esta investigación los muestreos se llevaron a cabo en dos zonas costeras del área norte de Puerto Rico. La zona costera norte de la isla recibe vientos

predominantes en dirección del este al noroeste. Como resultado, en la zona hay corrientes y predominan las grandes olas (Pérez Alvelo, et al., 2021). Entre los meses de noviembre y abril los frentes fríos son más comunes. Estos fenómenos generan fuertes marejadas que impactan la zona norte (PMZC y Estudios Técnicos Inc., 2022). Las muestras se tomaron de la arena y del agua en La Poza del Obispo en Arecibo y en La Boca en Barceloneta. Ambas zonas son lugares de recreación con características similares y, también, diferentes.

La Poza del Obispo, Arecibo

La Playa La Poza del Obispo se encuentra localizada en la carretera número 655 del barrio Islote en el pueblo de Arecibo (Figura 7). Cercano al lugar se encuentra un parque temático ubicado en los predios de El Faro de Arecibo. La Poza del Obispo es una de las playas más visitadas de la zona. En el lugar también se practica el deporte de "surf". Esta playa fue adoptada por un grupo de voluntarios llamado "Amigos de La Poza" por medio de un acuerdo con el DRNA (Metro PR, 2015). El lugar es de gran valor ecológico y también funciona como zona de anidaje de tortugas marinas (Agencias EFE, 2015).

Figura 7. Imagen satelital de La Poza del Obispo y sus predios en Arecibo (Google, 2022b).

La Boca, Barceloneta

La playa La Boca se encuentra en el pueblo de Barceloneta por la carretera 684 cerca de la desembocadura del Río Manatí (Figura 8). A lo largo de la playa se puede observar arena de color negro. Cerca del lugar hay un malecón y restaurantes a su alrededor. Esta playa no es para bañistas, pero si se puede observar la práctica de “surf”, actividad idónea para el oleaje que predomina en el lugar. Así como también se observa actividad de pesca recreacional (Figura 9). La playa se identifica como lugar de anidaje de tortugas marinas (Figura 10).

Figura 8. Imagen satelital de La Boca y sus predios en Barceloneta (Google, 2022a).

Figura 9. Pesca recreacional en La Boca, Barceloneta (Foto por Selimar Álvarez Vázquez, 2020).

Figura 10. Letrero de aviso en la playa La Boca (Foto por Selimar Álvarez Vázquez, 2020).

Metodología

El propósito de esta investigación fue identificar y cuantificar los MP de dos zonas costeras; Arecibo y Barceloneta. Por lo cual, la investigación tuvo varios componentes. El primero fue tomar las muestras de arena y agua en varias zonas de la playa. Posteriormente, las muestras de arena se separaron por medio de un tamiz para así descartar objetos grandes. Las muestras de arena se trabajaron por medio de un separador por densidad. Durante este proceso se separa la arena y se obtiene una muestra de agua que contiene los MP extraídos de la arena. Los dos tipos de muestra provenientes de arena y agua se filtraron. Finalmente, los MP se identificaron utilizando un microscopio de magnificación 50-1000x y resolución 2.0 MP HD (modelo: 4.3 Inch LCD Wireless Digital Microscope). Tanto la colección de muestras, separación por densidad y la identificación visual de MP se realizó siguiendo el protocolo: "Microplastics Sampling and Processing Guidebook" de la Universidad Estatal de Mississippi (Sartain, et al., 2018). Dicho protocolo está diseñado para que ciudadanos científicos colecten datos relacionados a la contaminación por MP en playas.

Muestreo

El muestreo se llevó a cabo en dos lugares diferentes: La Poza del Obispo en Arecibo (Figura 11) y La Boca en Barceloneta (Figura 12). Mensualmente se realizaron los muestreos en ambos lugares desde marzo a octubre de 2021. Para este estudio, los meses lluviosos fueron mayo, agosto, septiembre y octubre y los secos marzo, abril, junio y julio (Quiñones y Torres, 2005). La investigación coincidió con las fechas de reapertura de las playas con ciertas restricciones a causa de la pandemia del Covid-19. Las muestras de arena se tomaron estableciendo transeptos en tres zonas de ambas playas con la ayuda de un GPS.

De manera similar, las muestras de agua se tomaron en tres, pero de una sola línea en ambos lugares bajo estudio.

Lugar de muestreo

Para delimitar la zona de muestreo de arena se midieron 100 metros de un extremo a otro en la pleamar (marea alta) de ambas playas (Figuras 11 y 12) (Sartain, et al., 2018). Esta medida se tomó paralela al borde del agua donde a un extremo se le denominó 0 y al otro 100 (Sartain, et al., 2018). De igual forma se delimitaron dos líneas ambas separadas por 5 metros al norte y otra al sur de la pleamar (Tubens Rivera, 2022). Luego, se estableció tres transeptos por línea en forma de cuadrados de 0.25 metros cuadrados (Sartain, et al., 2018). Ubicados en los extremos y centro de las líneas norte, pleamar y sur (Sartain, et al., 2018; Tubens Rivera, 2022). Cada cuadrado se identificó como: 1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C, 3A, 3B y 3C. Las muestras de agua se obtuvieron en tres puntos diferentes (W1, W2 y W3) en ambas playas. Estas muestras se tomaron en la playa La Poza en la zona donde mayormente se encuentran los bañistas y en la playa La Boca en el área por donde desemboca el río.

Figura 11. Diagrama de muestreos de La Poza del Obispo. (A) se muestran las posiciones de los cuadrantes para las muestras de arena. (B) se presentan los puntos de muestreos de agua.

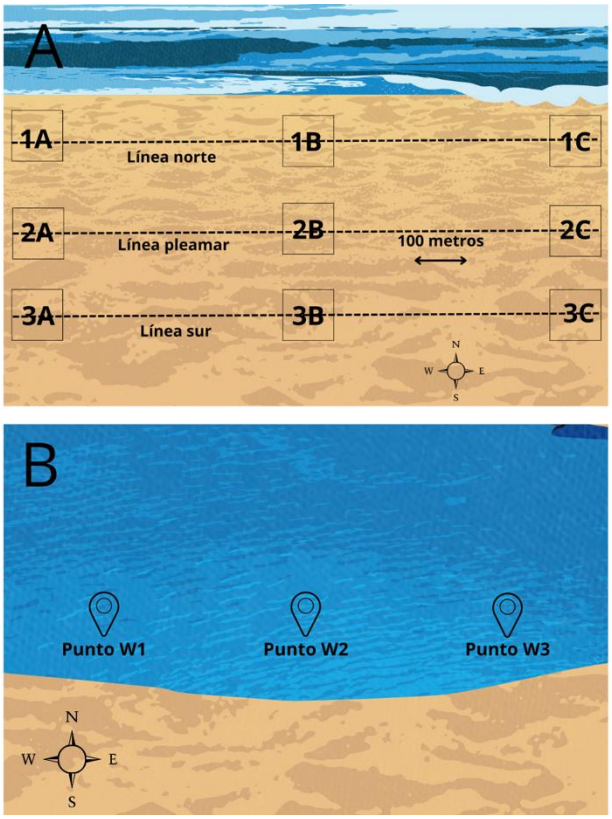
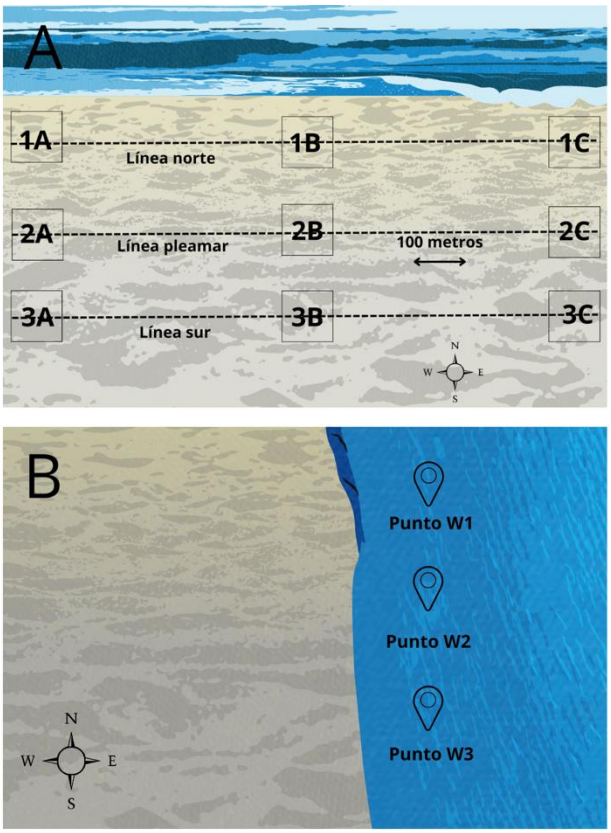


Figura 12. Diagrama de muestreos de La Boca. (A) se muestran las posiciones de los cuadrantes para las muestras de arena. (B) se presentan los puntos de muestreos de agua.



Colección de las muestras

Una vez establecidos los transeptos, se colocaron los cuadrantes de 0.25 m^2 en la zona pleamar, específicamente donde los residuos son visibles. Para la colección de muestras, se removieron las piezas visibles (algas, madera y basura) de cada cuadro (5 Gyres, 2019; Sartain, et al., 2018). Con una espátula se removió de cada cuadrante 3 centímetros de arena. Esta arena se movió a un tamiz de 5 mm de poro ubicado sobre una cubeta de 5 galones. Se descartó todo lo que no pasó a través del tamiz. Por otra parte, una vez culminado el proceso de cernir, se colocó la arena en una bolsa transparente con cierre hermético de tamaño de un 3.78 litros. Cada bolsa fue identificada con el número de cuadrante, las coordenadas, fecha y hora (Sartain, et al.,2018). Las muestras se secaron a

temperatura ambiente y luego se pesaron. Las muestras en el agua se tomaron en la superficie con botellas de agua de 0.473 litros a una profundidad de 0.610 metros (Sartain, et al., 2018). Después, las botellas se identificaron con el número de cuadrante, coordenadas, fecha y hora.

Separación de MP del sedimento

Para separar los MP del sedimento se utilizó un separador por densidad (Figura 13). El mismo consiste en un tubo de 4 pies de altura con una malla de 0.45 μm. Este tubo se ajustó a un cubo con contenido de agua salada. La salinidad del agua fue 34 partes por mil. Esto fue posible diluyendo 680 gramos de sal de mesa por cada 20 litros de agua. El sistema de bombeo permitió mezclar el agua salada con la muestra de arena. La baja densidad de los MP ocasionó que estos flotaran y fueran trasladados en el agua hacia la parte superior del tubo.

Figura 13. Separador por densidad (Sartain, et al., 2018).

El equipo se conectó a una bomba que se sumergió en el reservorio de agua salada para transportarla del cubo hacia el tubo. A su vez dentro del tubo se insertó un aireador que ayudó a mantener la arena en movimiento, para que no se asentara en el fondo. Para comenzar, se abrió la válvula que permite el paso del agua y se encendió la bomba. Se procedió a llenar el separador con agua hasta la mitad y se cerró nuevamente la válvula. La muestra de arena se añadió cuidadosamente por la parte superior del tubo. Luego de esperar que la arena se asentara en el fondo, se conectó el aireador hasta que las burbujas se mostraron uniformes. Durante todo el proceso de separación por la salida del agua se colocó un tamiz de 0.45 μm en donde se recolectaban los MP.

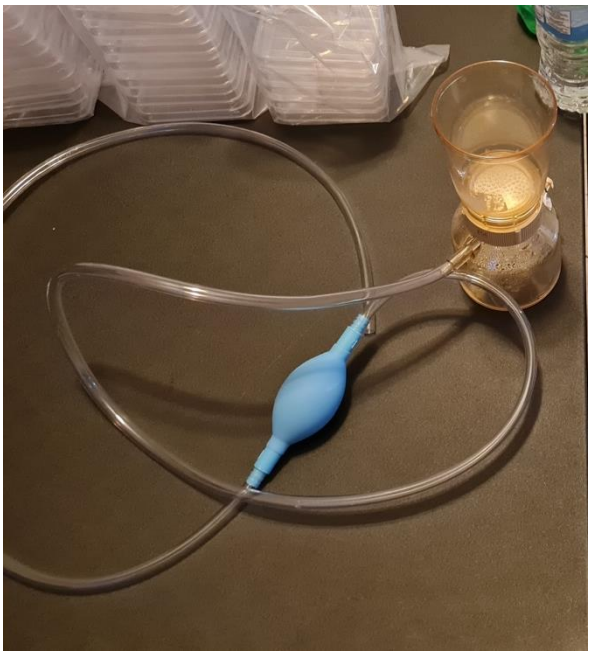
El flujo se ajustó para que el agua pasara a través del tamiz. Mientras la bomba estaba en función a los 7 minutos se apagó la bomba de aire por 10 segundos y se encendió nuevamente. En el minuto 9 se apagó la bomba de agua por 10 segundos y se prendió otra vez. Durante el minuto 10 se apagó el aireador por 10 segundos y se conectó de nuevo. El proceso completo duró 26 minutos. Este procedimiento se repitió para cada muestra. Las piezas recogidas en el tamiz se transfirieron a un envase usando agua destilada para luego ser filtradas. El tamaño del poro de los filtros fue de 0.45 μm.

Filtrado de las Muestras Acuosas

Los MP se recuperaron de todas las muestras acuosas mediante filtración al vacío (Figura 14). Este sistema se compone por un embudo, el soporte y un sistema de bombeo. Se ubicó el papel de filtro en el soporte del embudo con una pinza de metal. El embudo se fue llenando con la muestra de agua. Con la ayuda de una bomba manual se completó la filtración. Utilizando de una pinza se colocó el filtro en una placa Petri. Cada una de las

placas Petri se sellaron con cinta adhesiva y fueron etiquetadas con la fecha del muestreo y filtrado, número de muestra y tipo de muestra (arena o agua).

Figura 14. Equipo para filtración de muestras acuosa (Foto tomada por Selimar Álvarez Vázquez, 2022).



Identificación Visual

Las piezas de MP se observaron bajo un microscopio con magnificación de 50X a 1,000X, modelo: 4.3 Inch LCD Wireless Digital Microscope. Se utilizó un papel de filtro con cuadrantes para observar las muestras en el microscopio. Los MP se clasificaron como fibras, filamentos, fragmentos, microperlas y espumas siguiendo las características según las categorías de MP. Todos los hallazgos se documentaron con fotos.

Concentración de MP por m^2 y L

La abundancia de MP se calculó en unidades de partículas por metro cuadrado para las muestras de arena y litros para las de agua. Para obtener la concentración de MP en el área de muestreo de arena se dividió el total de piezas del cuadrante entre la medida del

cuadrante de 0.25 metros cuadrados (Pérez Alvelo, et al., 2021). Para las muestras de agua se utilizó un método similar en donde se dividió el total de piezas entre el volumen del recipiente de recolección (0.473L).

Análisis Estadístico

Un análisis descriptivo se utilizó para comparar la cantidad y características de los MP en las dos zonas estudiadas. Esta información también se comparó con los datos obtenidos de otras investigaciones llevados a cabo en lugares cercanos al lugar bajo estudio. Para evaluar las diferencias entre las muestras de ambas playas se utilizó un modelo lineal generalizado mixto, con distribución binomial negativa. Se analizaron utilizando el análisis de varianza (ANOVA por sus siglas en inglés). También se utilizó un modelo lineal generalizado, con distribución normal con tablas de contingencia para las muestras de agua con pocos MP en la base de datos. Todas las diferencias estadísticas se determinaron usando el intervalo de confianza al 95%. Se utilizaron los programas de estadística SAS estudio versión estudiantil y para las tablas de contingencia INFOSTAT versión estudiantil 2022.

Resultados

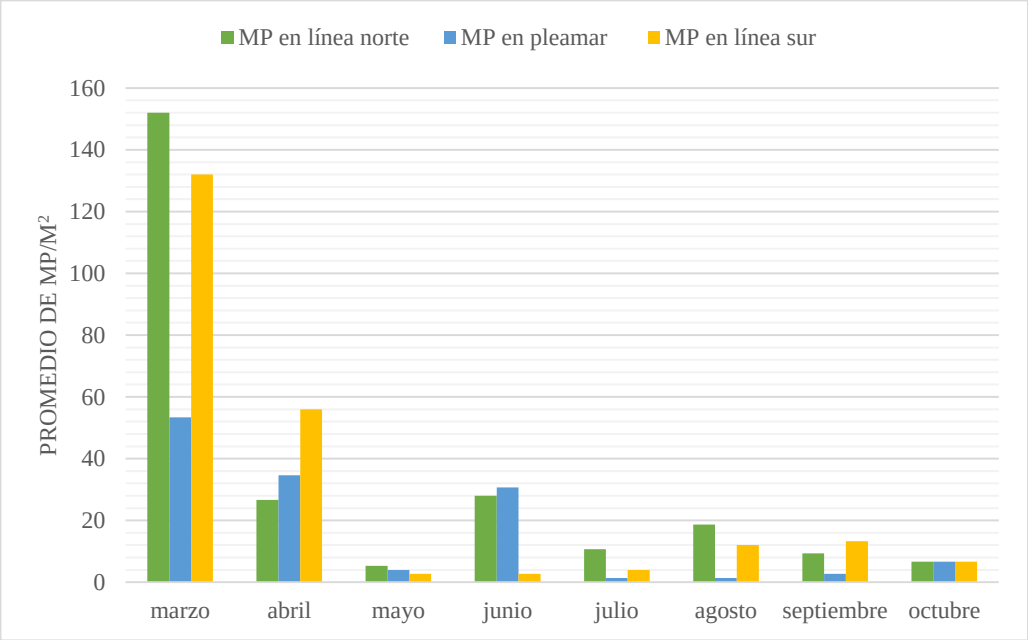
Para identificar MP en arena y agua de dos playas al norte de Puerto Rico se llevó a cabo un muestreo mensual, por un periodo de ocho meses. Por cada lugar de muestreo se recolectaron 96 muestras para un total de 192 muestras provenientes de ambas localidades. En cada playa se tomó muestras de arena en tres líneas identificadas como: línea norte, línea pleamar y línea sur con el propósito de conocer la distribución de MP en la playa. También se recolectaron muestras de agua en tres puntos establecidos.

A continuación, se presentan los datos en cuanto a la cantidad y los tipos de MP obtenidos, además de la posible variación de partículas en diferentes épocas (sequía y lluvia) en ambas playas. Los datos colectados también, se utilizan para comparar las condiciones entre la playa donde desemboca un río con la playa sin conexión a una fuente fluvial.

Concentración de MP en La Poza del Obispo y en La Boca

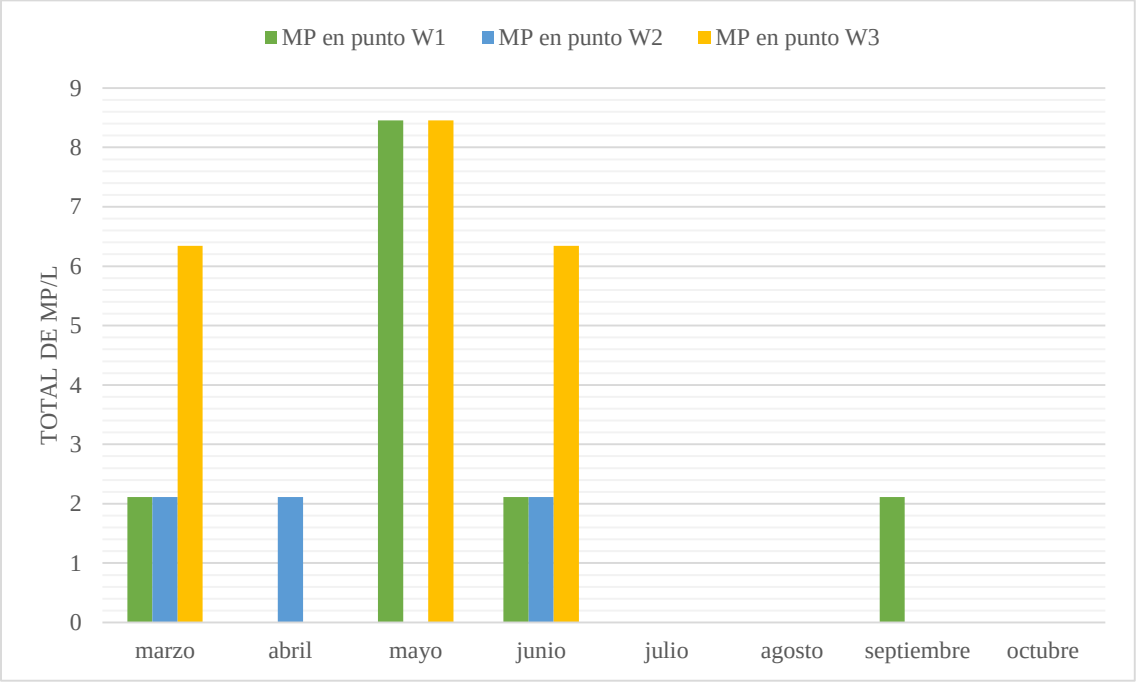
En la playa La Poza del Obispo en Arecibo se encontró en la arena un total de 1,864 MP por metro cuadrado durante los ocho meses de muestreo. La mayor cantidad de MP se observó en el mes de marzo en la línea norte (Figura 15). Mientras, que la menor concentración de MP se identificó en los meses de julio y agosto en la línea pleamar. La línea donde mayor concentración de MP se observó durante la investigación fue en la línea norte.

Figura 15. Concentración del promedio de microplásticos por m^2 en la arena de La Poza del Obispo según la zona de muestreo.



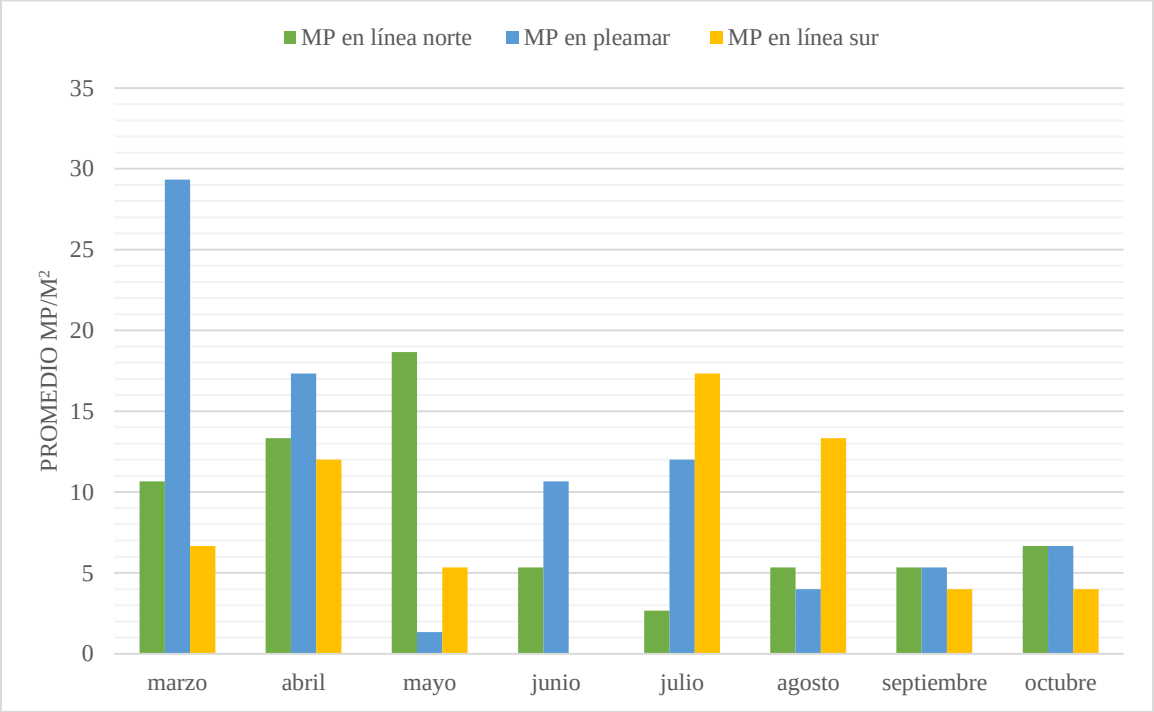
En los tres puntos del agua de la playa La Poza del Obispo en Arecibo se encontró MP. El total de MP observados fue de 42 MP por litro de agua durante los ocho meses de muestreo. La mayor concentración de MP se observó en el mes de mayo en las muestras de los puntos W1 y W3. Por otro lado, en los puntos de muestreo W1 y W2 durante los meses de marzo, abril, junio y septiembre se obtuvo la menor cantidad de MP. En la figura 16 se muestra que en los meses de julio, agosto y octubre no se identificó MP.

Figura 16. Concentración total de microplásticos por litro en el agua de La Poza del Obispo según la zona de muestreo.



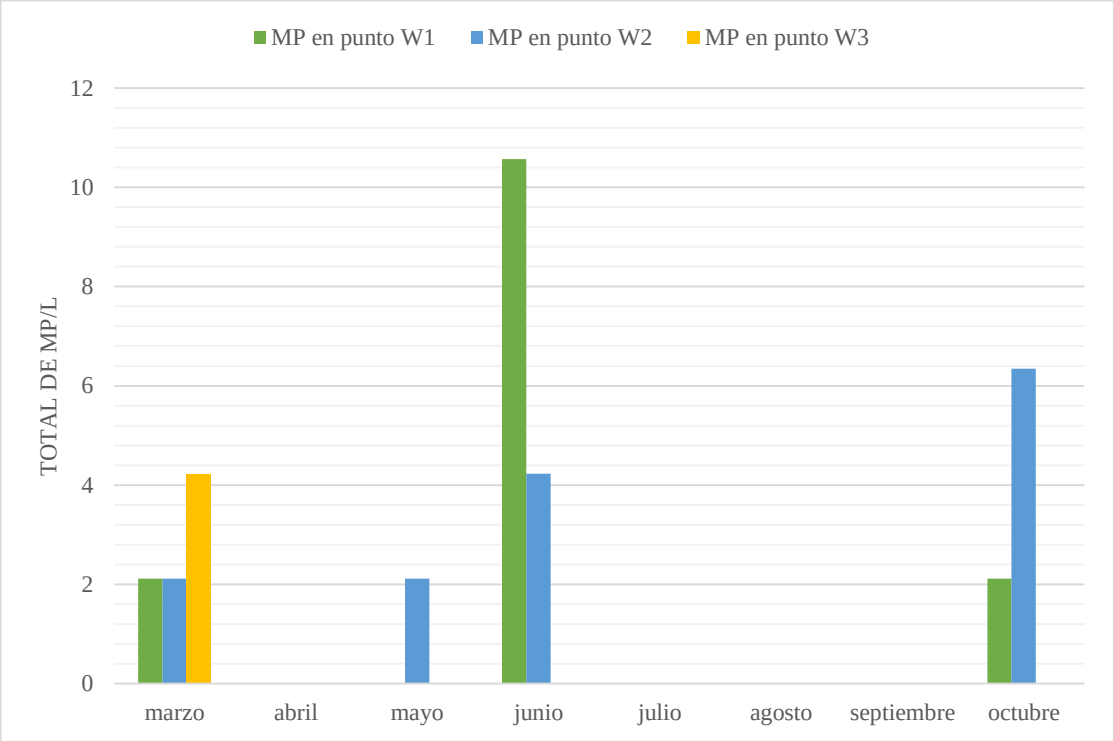
En la playa La Boca en Barceloneta también se realizó un muestreo durante ocho meses para identificar MP en arena. En este periodo se detectó 652 MP por metro cuadrado en todos los muestreos. En la línea pleamar del mes de marzo se identificó la mayor concentración de MP (Figura 17). Para el mes de mayo se notó la menor concentración de MP en arena de la línea pleamar. Durante la investigación la mayor concentración de MP se encontró en la línea de pleamar. En la figura 17 se observa que en la línea sur durante el mes de junio no se identificaron MP.

Figura 17. Concentración del promedio de microplásticos por m^2 en la arena de La Boca según la zona de muestreo.



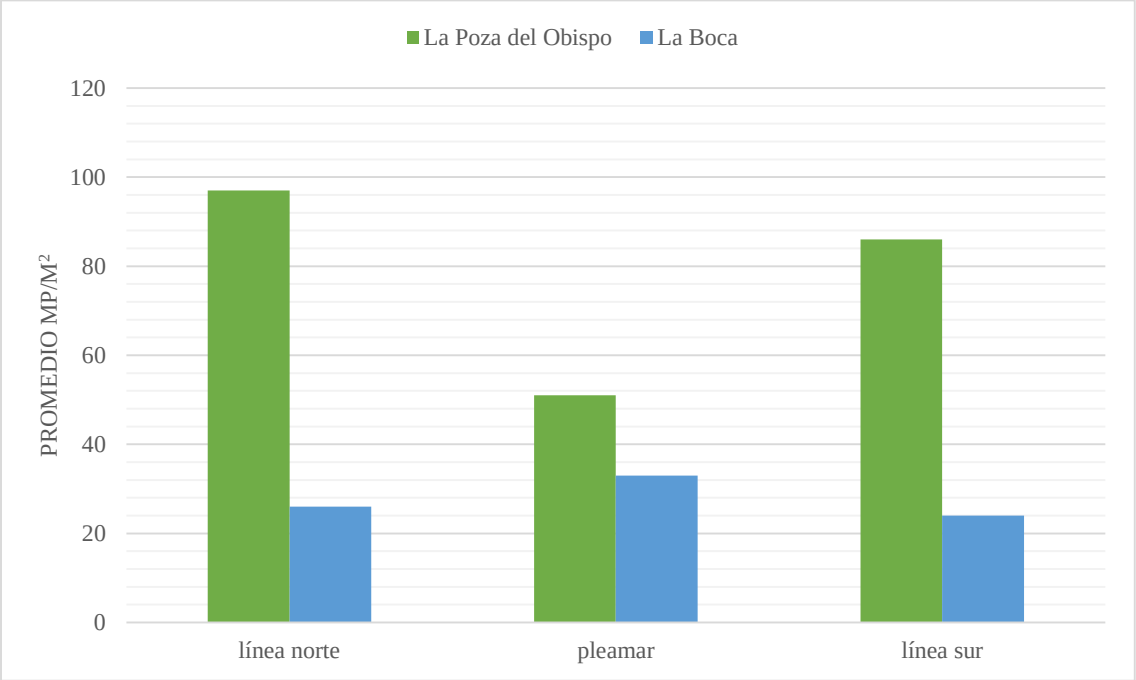
En el agua de La Boca se seleccionaron tres puntos para realizar muestreos durante ocho meses. En la figura 18 se presentan los cuatro meses donde se identificaron los MP. El número de MP observados fue 34 MP por litro de agua. La mayor concentración de MP se encontró durante junio en el punto W1. Por otra parte, en los puntos W1 (marzo y octubre) y W2 (marzo y mayo) se obtuvo la menor cantidad de partículas de MP por litro.

Figura 18. Concentración total de microplásticos por litro en el agua de La Boca según la zona de muestreo.



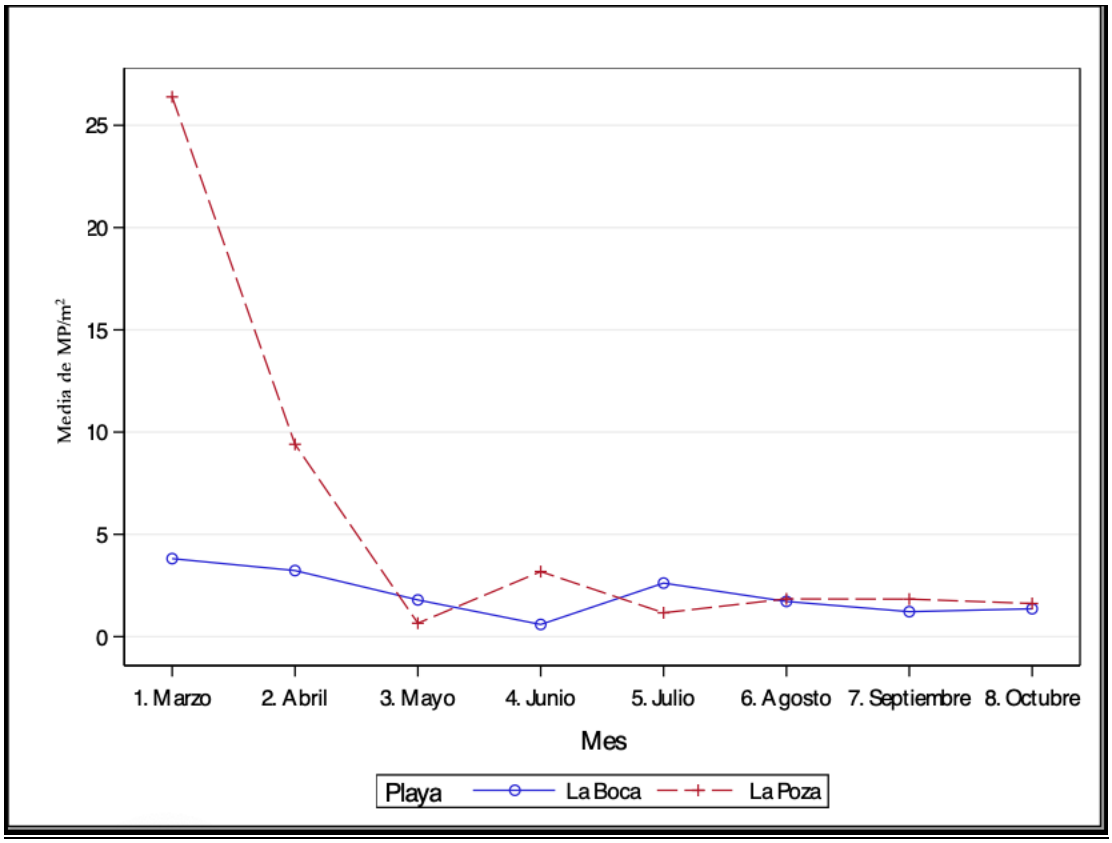
En la figura 19 se observa el promedio de MP por metro cuadrado de las tres líneas estudiadas en ambas playas. En la investigación la mayor concentración de MP se obtuvo en la línea norte de los cuadrantes de La Poza del Obispo. Por el contrario, la cantidad menor de MP se encontró en los cuadrantes de la línea sur de la playa La Boca. De las dos zonas estudiadas donde se exhibió la mayor concentración del total de MP en las tres líneas fue en La Poza del Obispo. No obstante, en la playa La Boca se obtuvo la concentración menor del total de partículas en las tres líneas.

Figura 19. Comparación del promedio de MP por m^2 de las tres líneas de muestreo en La Poza del Obispo y La Boca.



Se comparó la concentración total de partículas de MP entre las playas La Poza del Obispo y La Boca mediante análisis de varianza (ANOVA por sus siglas en inglés). En las muestras de arena se analizó la interacción de las dos playas y la posición de cada línea (norte, pleamar y sur). Al comparar se determinó que no existe una diferencia estadísticamente significativa (p=0.053). En cambio, al analizar los resultados por mes (Figura 20) se observa que entre La Poza del Obispo y La Boca la cantidad total de MP es diferente en marzo (p=0.0001), abril (p=0.0199) y junio (p=0.0008).

Figura 20. Interacción entre las medias de las muestras de arena de las playas La Poza del Obispo y La Boca según el mes.

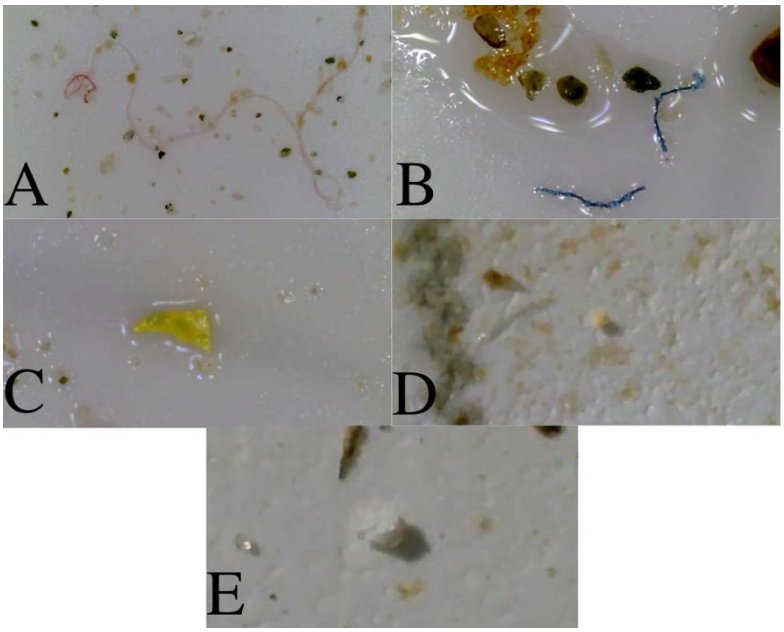


Tipos de MP en La Poza del Obispo y en La Boca

Los MP se pueden clasificar visualmente según su forma como fibra, filamento, fragmento, espuma (“foam”), microperlas y plásticos peletizados (“pellets”). En esta investigación se identificaron fibras, filamentos, fragmentos, espumas (“foam”) y microperlas (Figura 21). En ninguna de las playas se observaron plásticos peletizados (“pellets”)**.**

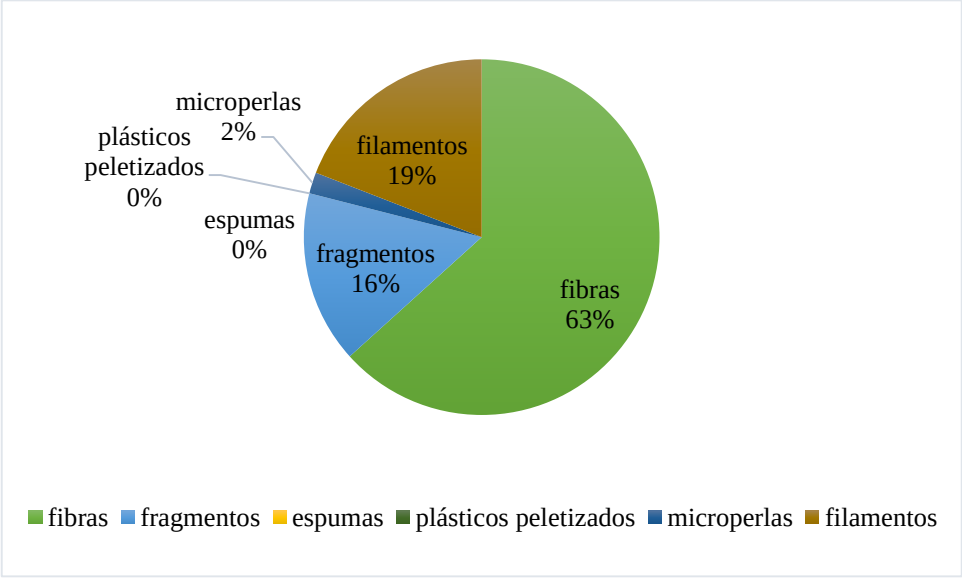
En las muestras de la arena en La Poza del Obispo se encontraron cuatro tipos de MP. Estos son las fibras, los filamentos, los fragmentos y las microperlas. De éstos, los de mayor abundancia fueron las fibras con un 63 por ciento de los hallazgos (figura 22). El MP de menor abundancia fueron las microperlas con un dos por ciento.

Figura 21. Fotografías de MP tomados durante la observación en microscopio.



Nota. Clasificaciones: 21 A fibra, 21 B filamento, 21 C fragmento, 21 D microperla y 21 E espuma (“foam”). Imágenes tomadas por Selimar Álvarez Vázquez, 2022.

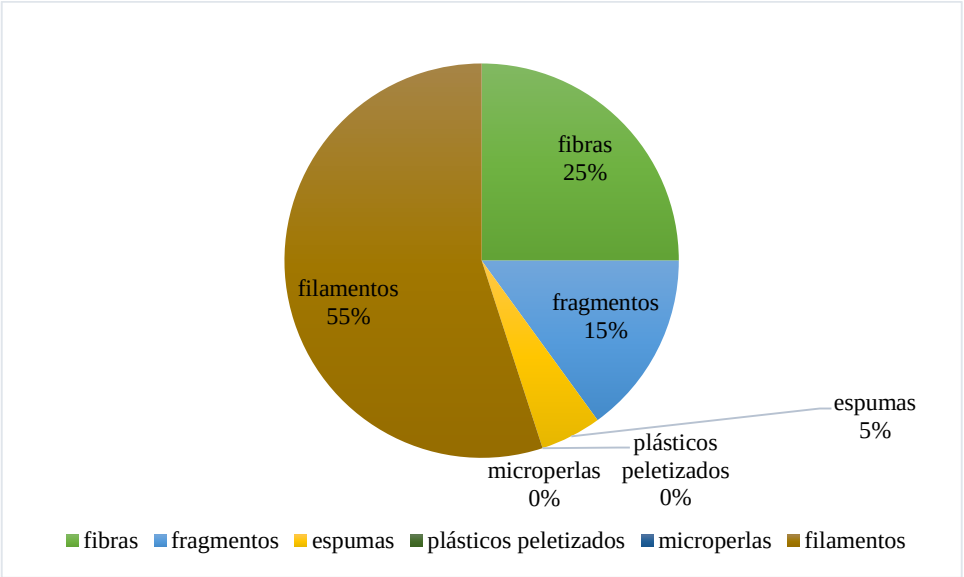
Figura 22. Proporción de los hallazgos de MP en la arena de La Poza del Obispo.



En el agua de la playa La Poza del Obispo se observaron diferentes tipos de MP. El tipo de MP presente en las muestras de agua fueron los filamentos, las fibras, los fragmentos y las espumas (“foam”) (figura 23). Los filamentos representan la

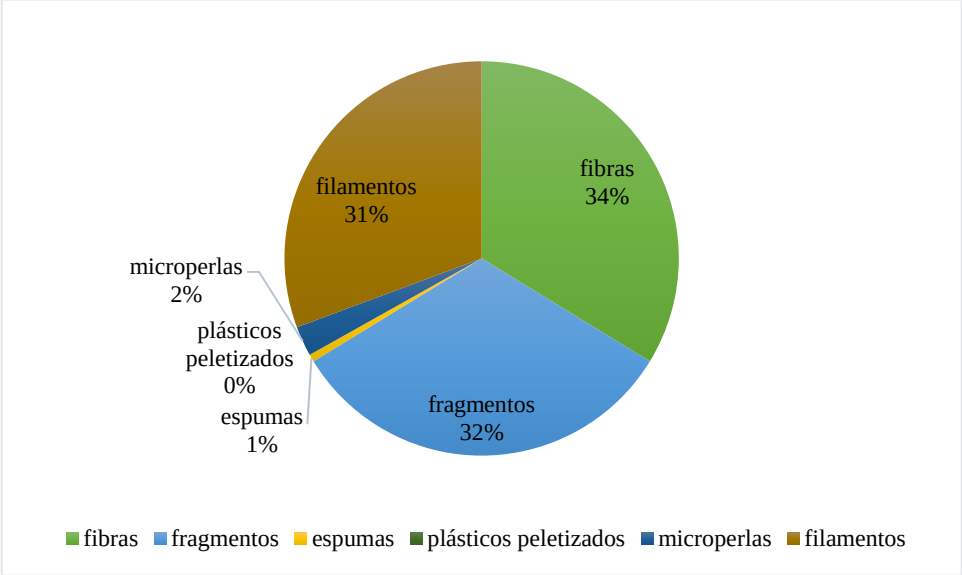
concentración más alta con un 55 por ciento. La concentración menor de MP fue la espuma (“foam”) con sólo un cinco por ciento.

Figura 23. Proporción de los hallazgos de MP en el agua de La Poza del Obispo.



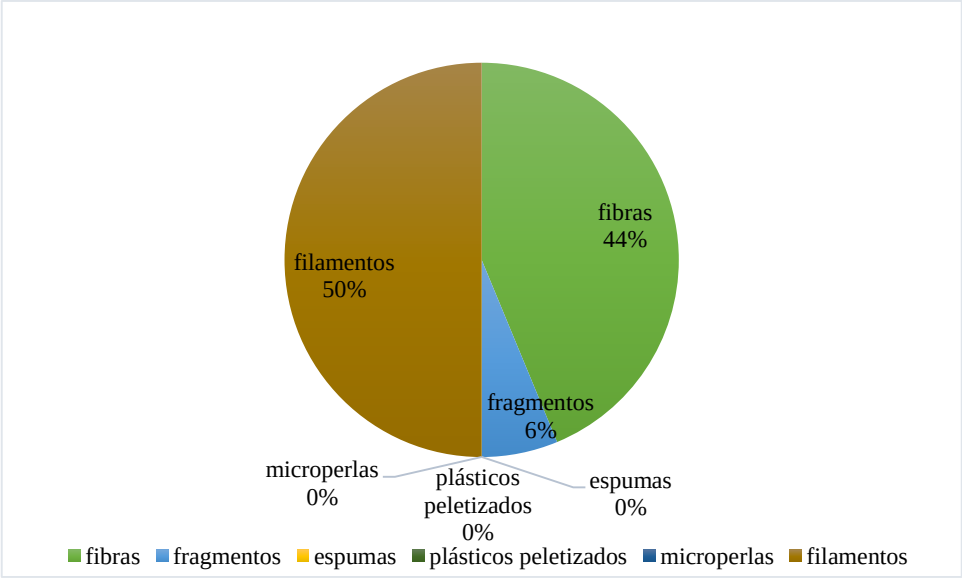
Durante los muestreos en la arena de La Boca se identificaron cinco tipos de MP (Figura 24). Estos MP fueron las fibras, los fragmentos, los filamentos, las microperlas y la espuma (“foam”). Los MP de mayor presencia en los muestreos fueron las fibras con un 34 por ciento. Por otra parte, la espuma (“foam”) fue el MP de menor presencia con un porcentaje de uno.

Figura 24. Proporción de los hallazgos de MP en la arena de La Boca.



Los tipos de MP encontrados en las muestras de agua de la playa La Boca fueron filamentos, fibras y fragmentos. En la figura 25 se muestra que el tipo de MP de mayor abundancia fue el filamento. Sin embargo, el tipo de MP con una concentración menor fue el fragmento.

Figura 25. Proporción de los hallazgos de MP en el agua de La Boca.

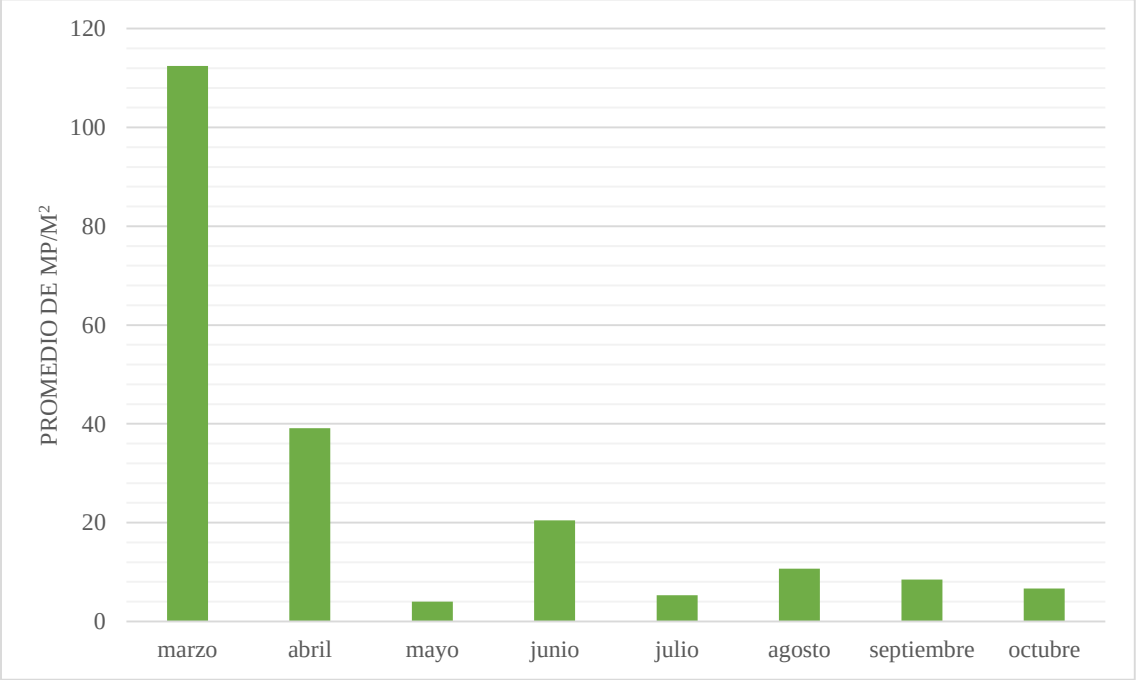


Variaciones en la concentración de MP en temporadas de lluvia y sequía

Para propósitos de este estudio, marzo, abril, junio y julio se consideraron como los meses de sequía. Mientras que para la temporada lluviosa se consideraron los meses de mayo, agosto, septiembre y octubre. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) por separado para cada playa utilizando las medias estimadas de MP en cada época.

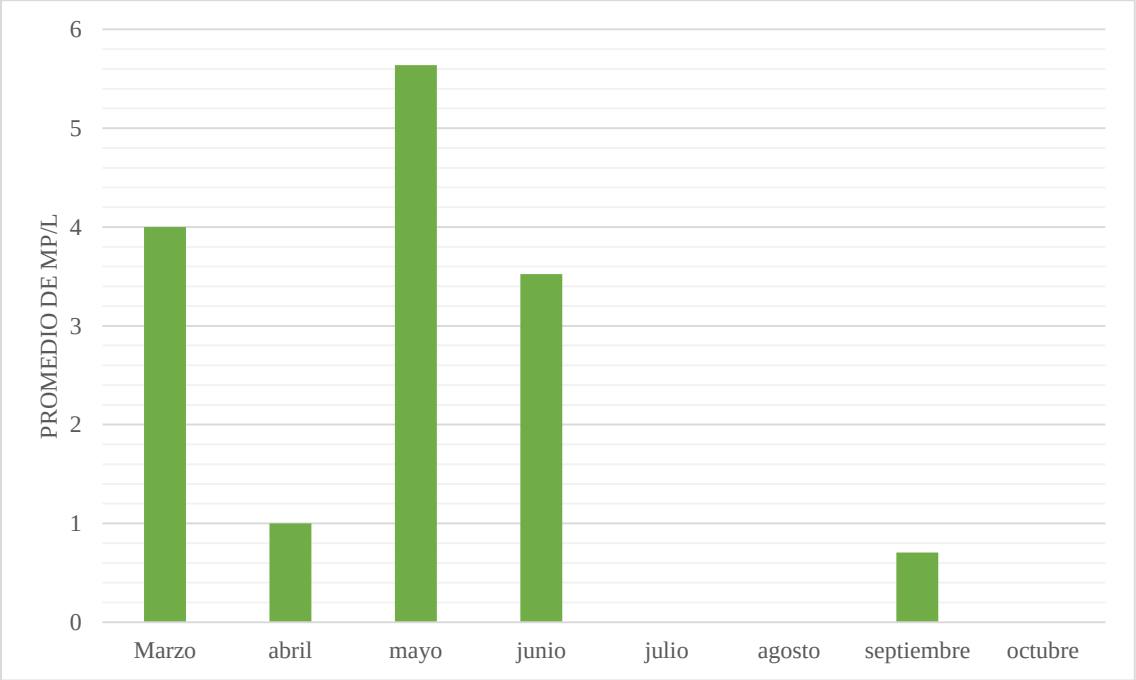
En la figura 26 se presenta el promedio de MP en arena por metro cuadrado según los meses de estudio en la playa La Poza del Obispo. Se observa que en marzo fue donde mayor concentración de MP se obtuvo. Mientras que la menor concentración de MP se tuvo en mayo. Se encontró diferencia significativa (p=<0.0001) al comparar ambas temporadas.

Figura 26. Promedio de MP/m^2 en las muestras de la arena de La Poza del Obispo durante las temporadas de lluvia y sequía.



La figura 27 muestra los resultados del promedio de MP por litro en el agua de la playa La Poza del Obispo. En esta gráfica se observa la recuperación de MP en cinco de los ocho meses bajo investigación, siendo mayo el de mayor concentración con 17 MP/L y promedio aproximado de 6 MP/L. Por otra parte, la concentración menor se observó en abril y septiembre ambos con 2 MP/L y promedio de 1 MP/L. En las muestras de julio, agosto y octubre no se encontraron partículas de MP. Al comparar los datos obtenidos, tanto en época de lluvia como de sequía, no hay una diferencia estadísticamente significativa entre ambas temporadas (p=0.8022).

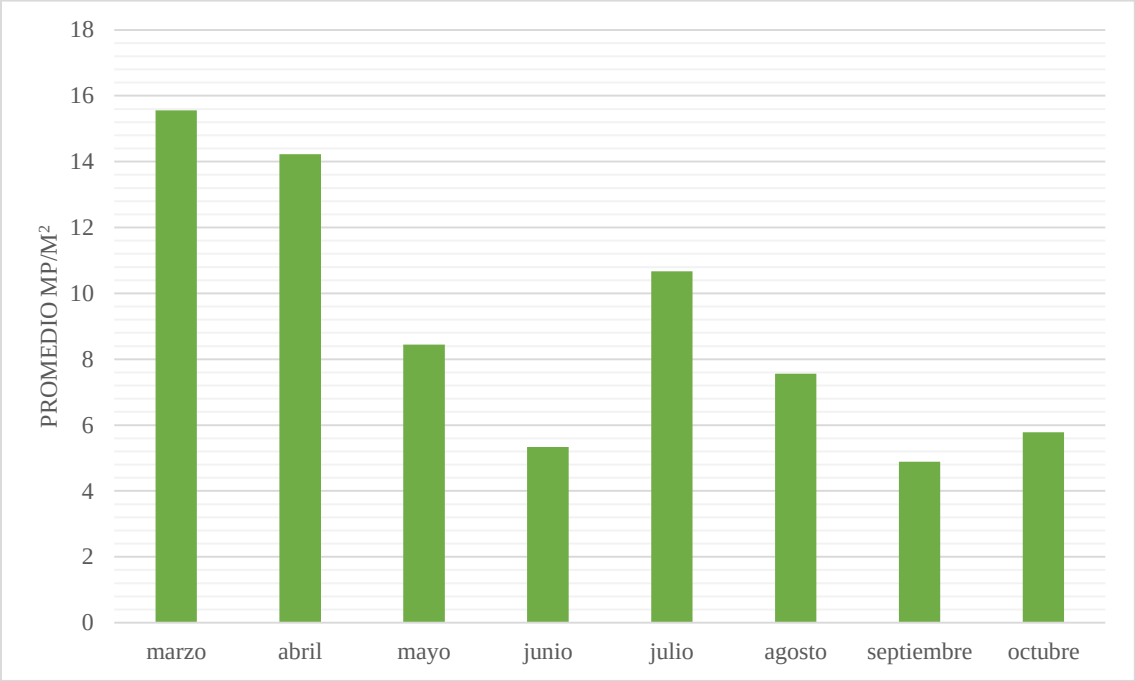
Figura 27. Promedio de MP/L en las muestras del agua de La Poza del Obispo durante las temporadas de lluvia y sequía.



Las variaciones en la concentración de partículas de MP/m^2 en las muestras de la arena de La Boca se observan en la figura 28. El mes de mayor concentración de MP fue en marzo. Por otra parte, en septiembre se reportó la menor concentración de MP. El

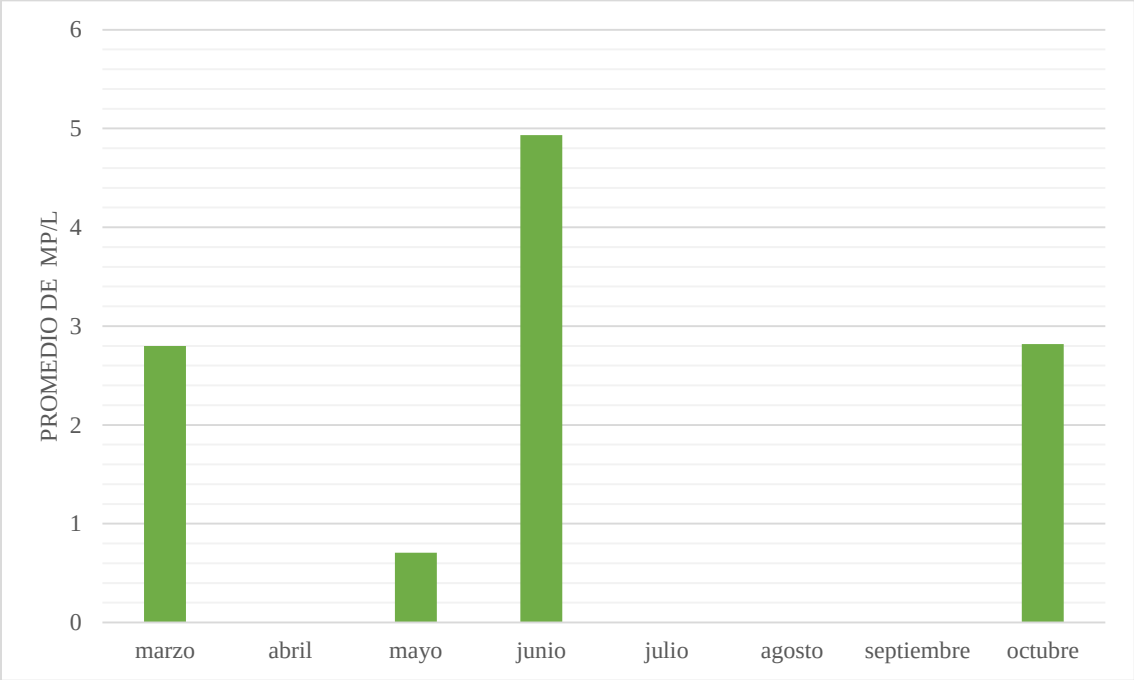
resultado del análisis estadístico indica que hay una diferencia significativa en las muestras de la arena en La Boca fue (p=0.0399) colectadas en los meses lluviosos y los secos.

Figura 28. Promedio de MP/m^2 en las muestras de la arena de La Boca durante las temporadas de lluvia y sequía.



Los resultados de los MP encontrados en las muestras del agua de La Boca se presentan en la figura 29. Durante esta investigación se cuantificaron partículas de MP en marzo, mayo, junio y octubre. La concentración mayor de partículas en las muestras se observó en junio con 15 MP/L y promedio aproximado de 5 MP/L. En cambio, mayo se identificó como el mes con la más baja concentración de partículas con 2 MP/L y promedio de 1 MP/L aproximadamente. No se encontraron partículas de MP en las muestras de agua colectadas abril, julio, agosto y septiembre. Al igual que en La Poza del Obispo, en la playa La Boca no hay una diferencia significativa en las muestras de agua colectadas en los meses lluviosos y los secos (p=0.4005).

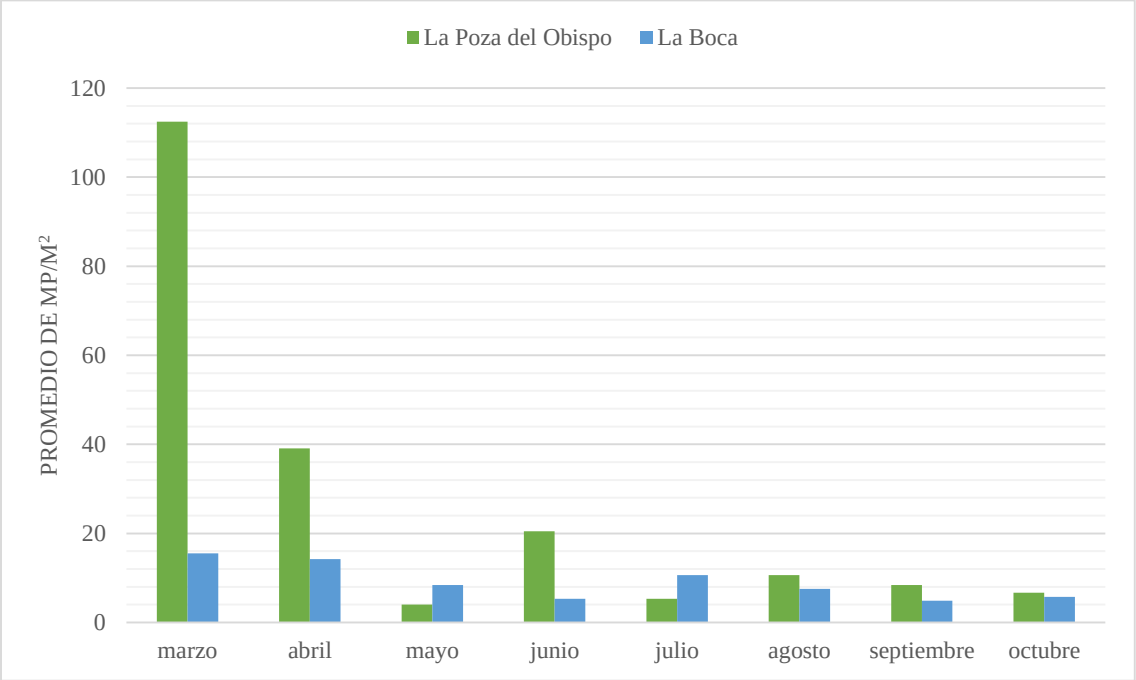
Figura 29. Promedio de MP/L en las muestras del agua de La Boca durante las temporadas de lluvia y sequía.



Comparación de MP/m cuadrado de las muestras de arena de las playas La Poza del Obispo y La Boca

La gráfica de la figura 30 resume el promedio de las partículas de MP por metro cuadrado de las muestras de arena tomadas en ambas playas, durante los ocho meses de la investigación. En ambas playas la mayor concentración de MP/m^2 se observó en marzo. Por el contrario, la concentración más baja de partículas se observó en La Poza del Obispo en mayo y en La Boca en septiembre.

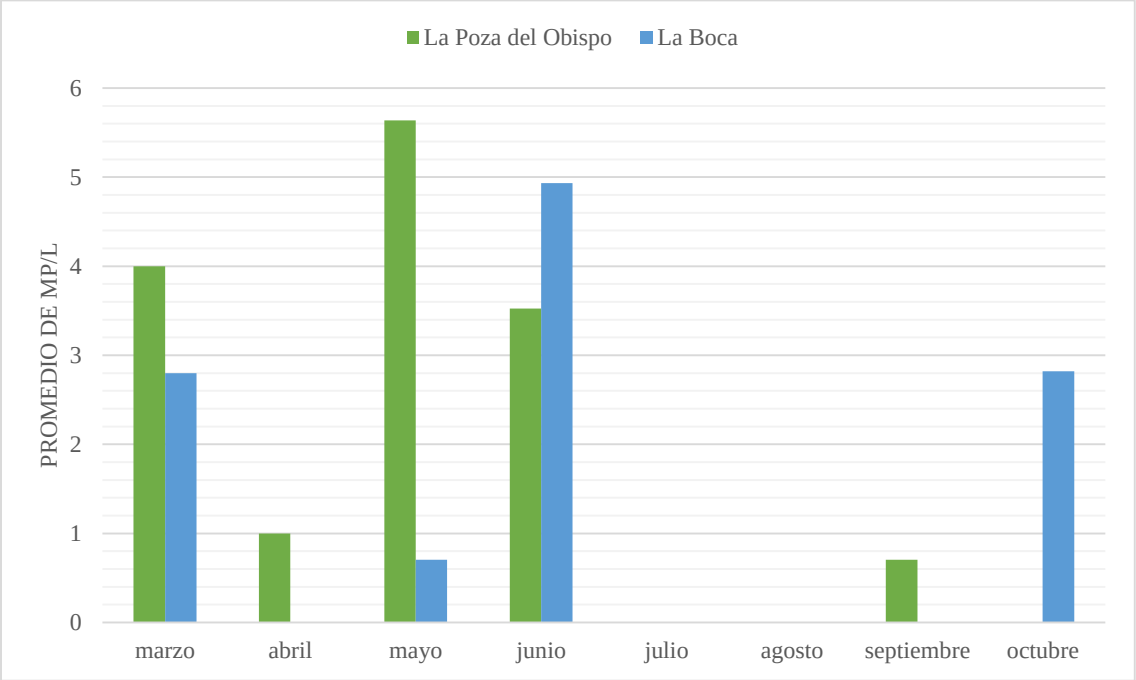
Figura 30. Promedio de MP de las muestras de la arena por m^2 de La Poza del Obispo y La Boca en los ocho meses de la investigación



Comparación de MP/L de las muestras de agua de las playas La Poza del Obispo y La Boca

La concentración mayor del promedio de MP/L de agua en La Poza del Obispo se observó durante mayo mientras que en La Boca fue en junio (Figura 31). El promedio de la cantidad menor de MP/L en el agua de La Poza del Obispo ocurrió en abril y septiembre; mientras, que en la playa La Boca se observó en mayo. Al comparar las tres muestras de agua de ambas playas no hay una diferencia significativa (p=0.9953) por la cantidad de MP encontrados.

Figura 31. Promedio de MP/L en las muestras del agua de La Poza del Obispo y La Boca en los ocho meses bajo estudio.



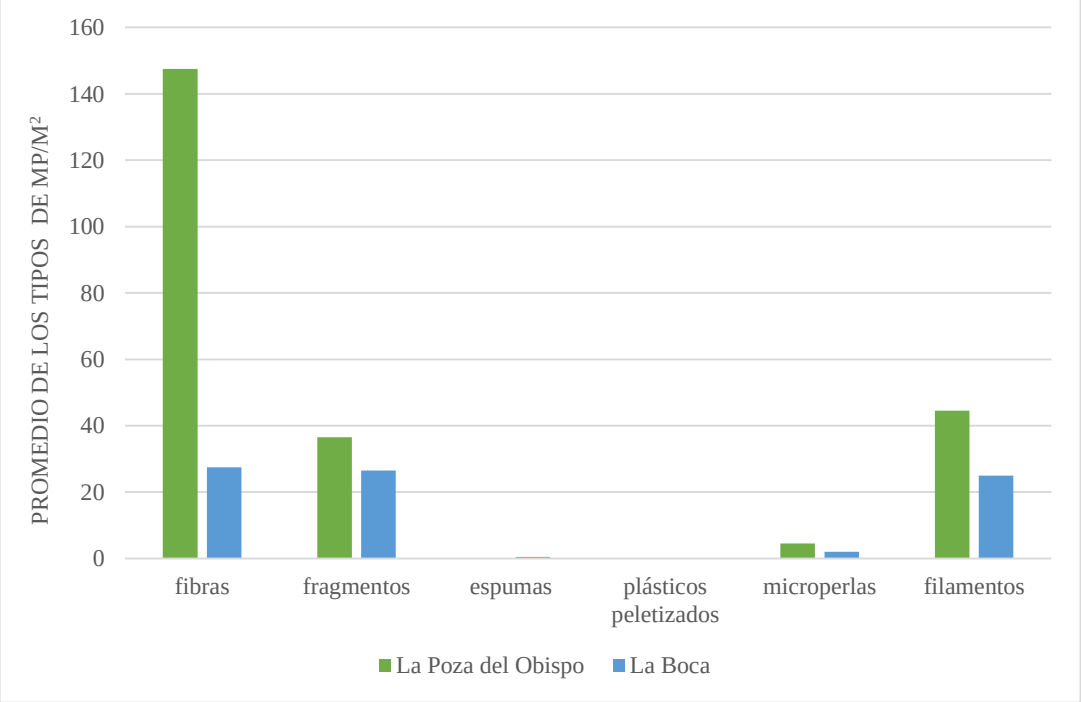
Comparación de los tipos de MP y su distribución presente en las muestras de arena en la playa La Boca y la playa La Poza del Obispo

Para esta investigación se tomó en consideración dos playas con algunas características diferentes. La Boca es una playa donde desemboca el Río Grande de Manatí y es utilizada, principalmente, para la pesca y por los amantes del "surfing". Este río aporta una corriente fuerte de agua dulce hacia la costa. Por el contrario, La Poza del Obispo es una playa que no recibe la descarga de un cuerpo de agua dulce, por lo que las posibles fuentes de contaminación con MP provienen de los visitantes o por el oleaje y corrientes marinas.

En la Figura 32 se detalla el promedio de la distribución de los tipos de MP obtenidos en las muestras de arena de ambas playas durante los ocho meses del estudio. Luego de procesar todas las muestras de la arena, sólo se encontraron cinco de los tipos de MP, ésos son: fibras, filamentos, fragmentos, microperlas y espuma. La mayor cantidad y

diversidad de los tipos de MP se observó en la arena de la playa La Poza del Obispo (figura 32). En esta playa, las fibras y las microperlas son los tipos de MP de mayor y menor abundancia, respectivamente. Sin embargo, no se encontraron partículas de espuma ("foam") en las muestras obtenidas en La Poza del Obispo. Al igual que en La Poza del Obispo, las muestras de arena colectadas en La Boca identifican a las fibras como el tipo de MP de mayor presencia; mientras que la espuma ("foam") de menor cantidad. Por otro lado, la menor representación de MP se obtuvo de la playa La Boca.

Figura 32. Distribución del promedio de los tipos de MP en la arena de La Poza del Obispo y La Boca.



Presencia de los tipos de MP y su distribución en las muestras de arena durante el periodo de lluvia y sequía en la playa La Boca y la playa La Poza del Obispo

Para analizar el posible impacto de la época de lluvia y sequía en la cantidad y distribución de los tipos de MP, se utilizaron los valores obtenidos de las fibras, los filamentos y los fragmentos por ser las partículas que con mayor frecuencia se encontraron. Se observó la media de las muestras de arena de las dos playas según las temporadas de lluvia y sequía. En la figura 33 se demuestra que, al comparar la cantidad de fibras encontradas en la playa La Poza del Obispo y en La Boca, la media en época de sequía es significativamente diferente a la media en época de lluvia ($p=<0.0001$).

De manera tal que la playa La Poza del Obispo exhibe una mayor concentración de fibras con una diferencia significativa ($p=0.0038$). Se realizó un análisis similar para los fragmentos y filamentos en las muestras de arena para el periodo de lluvia y sequía. No se observó una diferencia estadísticamente significativa de la cantidad de fragmentos en ambas playas ($p=0.8942$). Sin embargo, si existe diferencia significativa ($p=<0.0001$) según la época. Donde la media de los fragmentos en La Poza del Obispo es mayor en época de sequía que en la temporada de lluvia (Figura 34). En el caso de los filamentos no se observaron diferencias significativas en la concentración de las medias de ambas playas ($p=0.0506$) ni en la temporada de lluvia ni en sequía ($p=0.4317$).

Figura 33. Comparación de las medias de las fibras en la arena en época de lluvia y sequía en las playas La Poza del Obispo y La Boca.

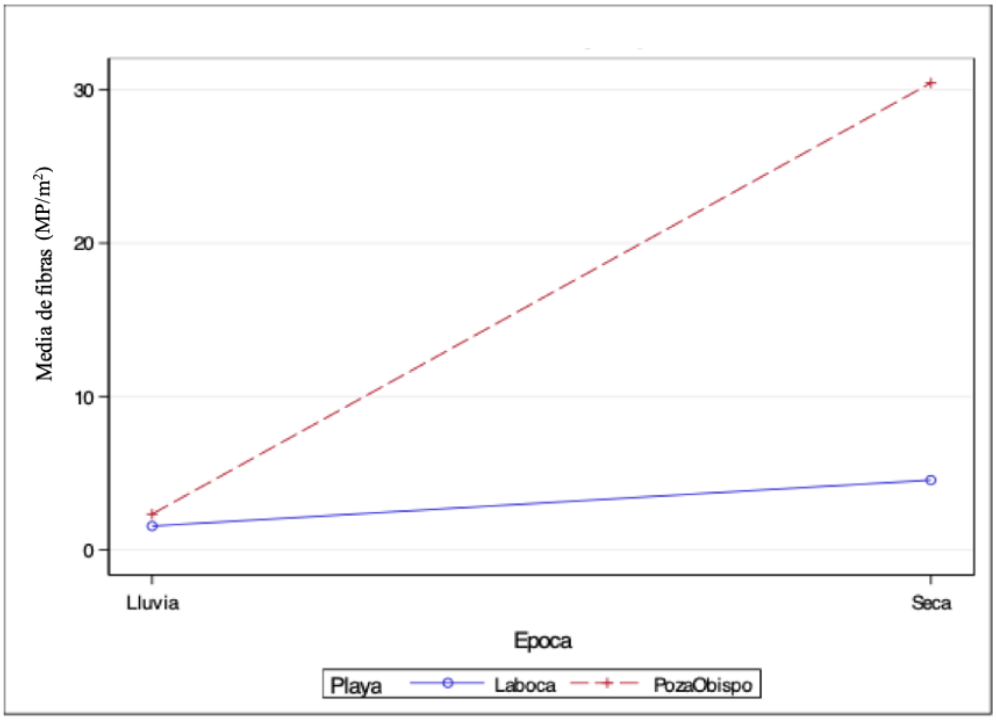
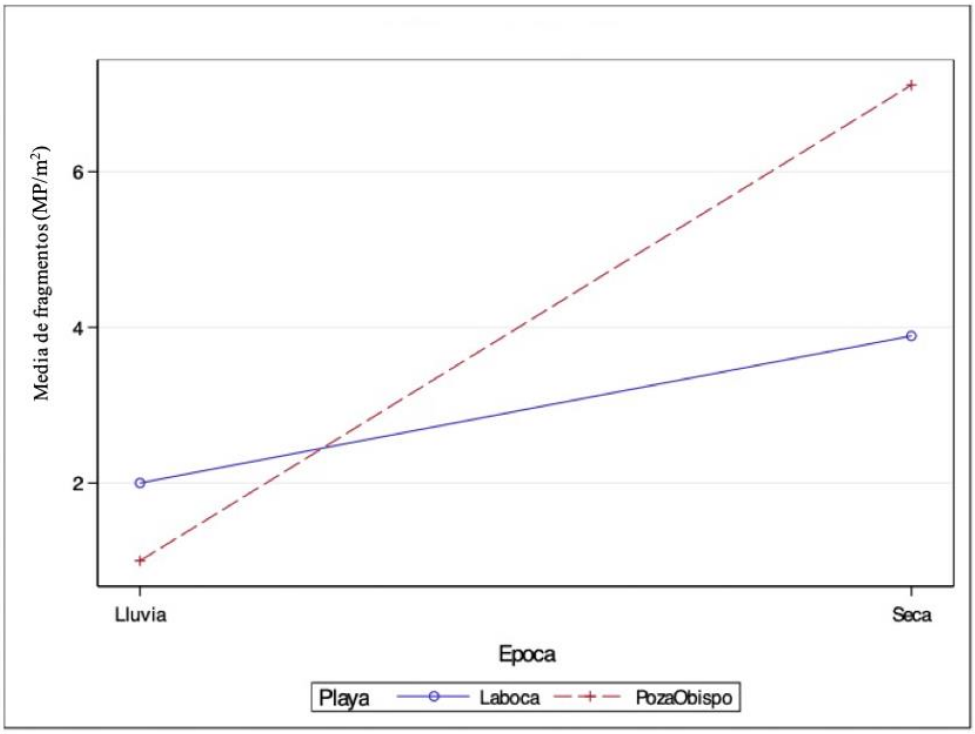


Figura 34. Comparación de las medias de los fragmentos en la arena en época de lluvia y sequía en las playas La Poza del Obispo y La Boca.

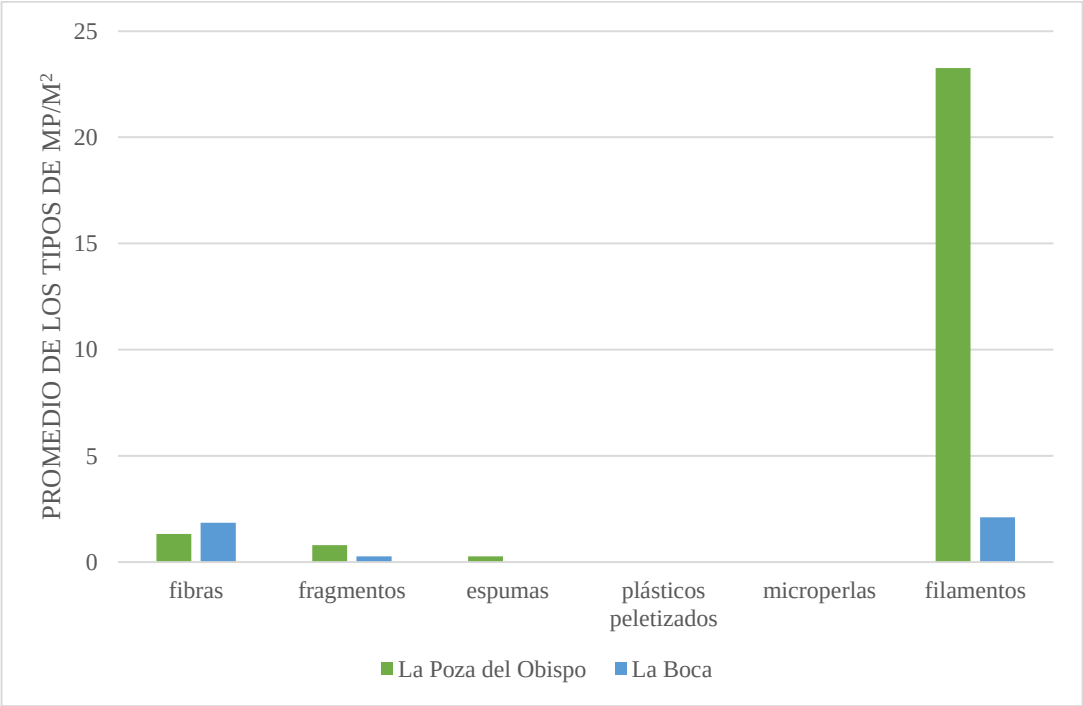


Presencia de los tipos de MP y su distribución en las muestras de agua durante el periodo de lluvia y sequía en la playa La Boca y la playa La Poza del Obispo.

El promedio de la distribución de los tipos de MP en las muestras del agua de La Poza del Obispo y La Boca se presenta en la figura 35. En el agua de la playa La Poza del Obispo se obtuvo mayor cantidad de MP que en La Boca. El tipo de MP más abundante en La Poza del Obispo fue el filamento y el MP de concentración menor fue la espuma. En el caso de La Boca, el filamento fue el tipo de MP con mayor presencia y el de menor cantidad fue el fragmento.

En ambas playas los tipos de MP más comunes de encontrar fueron las fibras y filamentos. Por ello, se comparó las muestras de agua de ambas playas para evaluar la posible relación de la cantidad de estos tipos de MP con la época de lluvia y sequía. Como se obtuvo poco particulado de MP en las muestras de agua en ambas playas, se realizó el análisis recurriendo a las tablas de contingencia para ver si la proporción de las variables (fibras y filamentos) son independientes del mes y la playa. Con el resultado de la chi-cuadrada para fibras ($p=0.0565$) se determinó que la proporción de fibras es igual en cada playa independiente de que sean meses de lluvia o sequía. Por lo que a nivel estadístico no hay diferencias significativas. En cambio, para los filamentos el resultado de la chi-cuadrada ($p=0.0010$) estableció una diferencia significativa según el mes.

Figura 35. Distribución del promedio de los tipos de MP en las muestras del agua de La Poza del Obispo y La Boca.



Análisis de los Resultados

Las playas que se estudiaron se encuentran en el área norte de Puerto Rico y son de libre acceso. En ambas zonas predominan las corrientes fuertes y las olas grandes. La Poza del Obispo en Arecibo es un área protegida por el DRNA, utilizada mayormente por bañistas y para otros usos recreativos. Cuenta con un programa de limpieza de la playa en colaboración con la organización sin fines de lucro, Amigos de La Poza del Obispo. La playa La Boca de Barceloneta mayormente es utilizada por surfistas y pescadores. En esta playa desemboca el Río Grande de Manatí y está identificada como zona de anidaje de tortugas marinas.

Los muestreos se realizaron una vez al mes de marzo a octubre del 2021 durante la pandemia del Covid-19. A principio de año la orden ejecutiva OE-2021-010 permitió el uso limitado de las playas. Esta orden prohibía la aglomeración y estipulaba el distanciamiento de 10 pies entre bañista que no fueran del mismo núcleo familiar. (Gobierno de Puerto Rico, 2021a). El 1 de julio de 2021 se emitió la orden ejecutiva OE-2021-054. Esta ley derogó las ordenes ejecutivas anteriores y las limitaciones para el uso recreativo de las playas (Gobierno de Puerto Rico, 2021b). A medida que las restricciones por la pandemia se fueron reduciendo se observó un aumento entre los visitantes a las playas.

Concentración de MP en La Poza del Obispo y en La Boca

La playa que presentó la mayor concentración de partículas de MP tanto en la arena como en el agua fue La Poza del Obispo. El total de MP recolectados en arena durante este estudio fue 1,864 partículas por m^2 y en el agua 42 partículas por L de agua. En la playa La Boca se obtuvo la menor concentración de MP en arena y agua. El total de MP recuperados

en arena fue de 652 partículas por m^2 y en el agua 34 partículas por L de agua. La playa La Poza del Obispo según la Policía de Puerto Rico es una de las más frecuentadas en la región de Arecibo (Estudios Tecnicos Inc., 2014). Tomando en consideración esto, se recomienda un estudio que evalué si la concentración de MP/m^2 está relacionada con el volumen de visitantes de las playas.

Se esperaba que la mayor concentración de MP se encontrara en la línea pleamar de ambas playas porque es ahí donde más escombros se acumulan y sucesivamente se fragmentan a MP (Hanvey, et al., 2016; Sartain et al., 2018). Sin embargo, en La Poza del Obispo se observó gran cantidad de MP en la línea norte. Una posible explicación a esta situación es que los MP al ser de baja densidad se distribuyen de forma no homogénea por factores como las corrientes de deriva y el viento (Iannacone, et al., 2019).

En La Boca, la concentración más alta del promedio de partículas de MP por m^2 se encontró en la línea pleamar (33 MP/m^2). Pérez Alvelo y colegas (2021) estudiaron una vez la línea pleamar de seis playas de Puerto Rico en el año 2019. De este estudio se comparó los resultados de la línea pleamar de la playa La Boca con la playa Puerto Las Vacas en Barceloneta. Esta última se ubica a dos kilómetros de la desembocadura del Río Grande de Manatí. El resultado de MP para la playa Las Vacas fue aproximadamente 181 ± 224 partículas de MP por m^2. Al contrastar ambos resultados se observa que los datos obtenidos en esta investigación son menores a los de Pérez Alvelo y colegas (2021).

Por otro lado, Tubens Rivera (2022) estudió El Balneario Pico Piedra en Aguada, lugar de fácil acceso y cercano a la desembocadura de un río. El estudio de seis meses exhibió un promedio de 146 MP/m^2 en las tres líneas de estudio, que a diferencia del promedio de las tres líneas de La Boca (82 MP/m^2) durante los ocho meses de investigación

fue mayor. Se esperaba que en La Boca donde desemboca el río tuviera una concentración mayor de MP, ya que los cuerpos de agua dulce como los ríos pueden transportar MP hacia el océano; pero en este estudio ese no fue el caso (Bogusz & Oleszczuk, 2016). Una posibilidad es que algunos MP se encuentran atrapados en el sedimento del río y/o también pueden ser consumidos por los organismos acuáticos.

Una investigación reciente indica que los MP al ser depositados en el lecho del río pueden ser movilizados a través de la columna de agua, degradados químicamente, fragmentados a pedazos más pequeños, ingeridos por la fauna bentónica e hiporreica (lugar de convergencia entre las aguas de origen superficial y subterráneo) o enterrados y almacenados en el fondo del río por un largo periodo de tiempo. El agua de los ríos al arremolinarse en la zona hiporreica provoca que los MP livianos se depositen en el lecho de estos cuerpos de agua. El modelo estudiado demostró que entre la fuente de MP y la interfaz marino-dulce el 50% de los MP se retienen en el sedimento antes de llegar al océano (Drummond, et al., 2022).

Tipos de MP en La Poza del Obispo y en La Boca

La degradación de plásticos a MP ocurre por la exposición a los rayos ultravioleta y la radiación solar (Auta et al., 2016). También, ocurre por la abrasión de los plásticos en arena y por las propiedades hidrolíticas del agua de mar (Clunies-Ross et al.,2016). Durante esta investigación las fibras y los filamentos fueron los tipos de MP con mayor abundancia en las muestras de arena en ambas playas. En La Poza del Obispo se colectaron sólo cuatro tipos de MP; fibras (63%), filamentos (19%), fragmentos (16%) y microperlas (2%). En las muestras de agua de esta playa, se observaron filamentos (55%), fibras (25%), fragmentos (15%) y espumas (“foam”) (5%). En las muestras de arena de La Boca se

encontraron fibras (34%), fragmentos (32%), filamentos (31%), microperlas (2%) y espumas (“foam”) (1%). Asimismo, en las muestras de agua se recuperaron filamentos (50%), fibras (44%) y fragmentos (6%).

Las fibras y los filamentos son MP que provienen principalmente de textiles sintéticos y también de las redes e hilos de pescar (Box, 2019). Probablemente estos plásticos se originaron de la actividad antropogénica en las playas estudiadas y es posible que se encontraran en el sedimento desde antes del aislamiento por pandemia. Estas partículas se pueden desprender de la ropa de los bañistas (Pérez-Alvelo, et al., 2021), y es el tipo de MP que más contamina los cuerpos de agua (González González, 2017b). Iannacone y colegas (2019) exponen que a nivel mundial existen varias investigaciones que concuerdan en que los filamentos son el tipo de MP de mayor frecuencia en las playas arenosas. Indican que tal vez esto ocurre porque los filamentos, al ser MP más ligeros, se mantienen en las capas superficiales del sedimento.

Los fragmentos son MP secundarios que provienen de otros plásticos. Esto ocurre por factores ambientales como la fotodegradación, el impacto físico y otros (Colón Ortiz y Febles Moreno, 2018). Durante los muestreos en ambas playas se observó artículos de material plástico en la arena. Algunos de ellos fueron vasos de diferentes tamaños, sorbetos y cubiertos. La Boca fue la playa donde mayor contaminación de macroplásticos se observó. En el sedimento se podían encontrar variedad de plásticos y otros desperdicios (Figura 36).

Figura 36. Desperdicios sólidos de plástico en sedimento de la playa La Boca (Foto tomada por Selimar Álvarez Vázquez, 2021).

Los MP de escasa presencia en ambas playas fueron las microperlas y las espumas. Las microperlas son MP primarios que se utilizan para la elaboración de productos de limpieza y de aseo personal como los exfoliantes y las pastas dentales. La prohibición en el uso de este MP puede ser el factor por el cual se identificaron pocas microperlas en esta investigación. En el 2015 se creó la ley "Free-Waters Act" la cual vedó el uso de este MP por ser considerado un contaminante que afecta el medio ambiente (FDA, 2022). Esta es una ley que también aplica para Puerto Rico.

La espuma es ampliamente utilizada en los contenedores de alimentos como los vasos de café y neveras. En el año 2021 se firmó la Ley 16 de 2021 que prohíbe el uso de neveras de espuma portátiles en las playas de Puerto Rico (Microjuris.com, 2021). Es posible que la baja presencia de este material en los resultados sea por una mejor disposición de este material o también por el tiempo que pueden tomar estos artículos en

fragmentarse. A su vez, la limpieza de playas como en la Poza del Obispo disminuye el nivel de contaminación en la costa.

Durante esta investigación no se encontraron MP de tipo peletizados. Estos MP primarios se emplean en la manufactura de productos plásticos como las tapas de botellas y otros envases (Box, 2019; Takada, 2013). Sin embargo, en un estudio llevado a cabo en la costa al sur de Puerto Rico, Colón Ortíz y Flebles Moreno (2018), encontraron MP en su mayoría plásticos peletizados. Este tipo de MP es común en playas que se encentran cerca de fábricas de plásticos y muelles de carga, como las estudiadas por estos autores (Colón Ortiz y Febles Moreno, 2018). Las playas examinadas en este proyecto no cumplen con estas características.

Los resultados en los tipos de MP de esta investigación son comparables con los reportados por Pérez Alvelo y colegas (2021) en un monitoreo efectuado a seis playas al norte de Puerto Rico. Donde la mayoría de los MP fueron fibras/filamentos (40%) y fragmentos (28%). También, se comparan a los hallazgos de Tubens Rivera (2022) en tres playas al oeste de Puerto Rico donde se reportó que el 90% de los resultados fueron fibras y 9% fragmentos. En efecto, el estudio de Pérez Alvelo y colegas (2021) fue realizado antes de la pandemia del Covid-19. Mientras que el estudio de Tubens Rivera (2022) se realizó a partir de junio 2021 luego de que las restricciones para visitar las playas comenzaran a eliminarse.

En términos generales, al comparar la concentración de MP de otras investigaciones en Puerto Rico con esta investigación, se identificó una tendencia similar en cuanto al porcentaje de los tipos de MP. Las fibras, filamentos y fragmentos son los MP de mayor persistencia en algunas playas del norte y noroeste de Puerto Rico.

Variaciones en la concentración de MP en temporadas de lluvia y sequía

Factores climatológicos como la lluvia y el oleaje pueden contribuir al incremento de MP (Bogusz y Oleszczuk, 2016). La concentración de MP, también, puede variar según la estación del año (Iannacone, et al., 2019). Por tal razón, en esta investigación se evaluó la posible correlación entre la concentración de MP durante la temporada de lluvia y sequía. Conforme datos de Quiñones y Torres (2005) se seleccionaron los meses de sequía a marzo, abril, junio y julio; mientras mayo, agosto, septiembre y octubre representaron la época lluviosa.

Basado en los resultados de los datos obtenidos, se concluye que la mayor concentración de MP en las muestras de arena para ambas playas ocurrió en la época de sequía (marzo) y la menor concentración se notó en meses de lluvia (mayo para La Poza del Obispo y septiembre para La Boca). Este resultado puede deberse a que los MP son arrastrados al océano desde la costa por el fuerte oleaje y las lluvias. Cuando hay una merma de estos factores, gran parte de las partículas se mantienen en el sedimento. Dado a la reducida o cero cantidades de partículas de MP, en las muestras de agua de ambas playas no se pudo establecer un patrón que permitiera identificar si ocurre alguna variación o relación entre las dos épocas climáticas y la concentración de los MP.

Comparación de la cantidad y los tipos de MP en la playa La Poza del Obispo en Arecibo y La Boca en Barceloneta

En esta investigación se evaluó las posibles diferencias en cuanto a la cantidad y tipos de MP entre ambas playas, a pesar de pertenecer al mismo sistema costero. En este caso, el Rio Grande de Manatí desemboca en la playa La Boca, sin embargo, La Poza del Obispo no recibe de forma continua ningún cuerpo de agua dulce. Es reconocido que los ríos pueden transportar MP al ecosistema marino (Auta et al., 2016). Se anticipaba que el

río aportaría mayor concentración de MP a La Boca al compararse con los datos de La Poza del Obispo. En cambio, los resultados indican que la presencia del río no afectó la concentración de MP en las muestras de arena y de agua de La Boca, incluso, la playa con mayor concentración de MP fue La Poza del Obispo.

En ambas playas predominaron los MP de tipo fibras, filamentos y fragmentos. Al comparar la concentración de fibras y fragmentos de las dos playas se encontró una cantidad mayor de partículas en la playa La Poza del Obispo en época de sequía que en la temporada lluviosa. Esto concuerda con lo antes establecido, como se presenta en las figuras 33 y 34, de que en la temporada de baja precipitación durante este estudio se observó un incremento de MP en las muestras de arena. Al comparar los resultados del agua de ambas playas se identificó que la concentración de filamentos no fue igual en cada mes por playa.

El promedio de MP durante los ochos meses de investigación fue de 315 MP/m^2 (82 MP/m^2 en La Boca y 233 MP/m^2 en La Poza del Obispo). Este promedio fue comparable con otros estudios en base a la concentración de partículas (MP/m^2). Rey y sus colegas (2021) encontraron un promedio de 1,000 partículas por m^2 en seis playas de la isla Oahu de Hawái. En un análisis de cuatro playas de Perú se encontraron MP desde 4.67 partículas por m^2 hasta 522 partículas por m^2 (Purca y Henostroza, 2017).

Los resultados de este estudio también se compararon con otras investigaciones realizadas en Puerto Rico. En 2019, Pérez Alvelo y colegas (2021) monitorearon 6 zonas costeras en el norte de la isla donde se obtuvo de 52 a 432 partículas de MP por m^2. Estas playas están expuestas a diferentes fuentes de contaminación como lo son las actividades recreativas, planta de tratamiento de agua residual, desembocadura del río, puertos y rutas

de envío. Adicionalmente, se comparó con el estudio a tres playas de la zona oeste de Puerto Rico de uso recreacional, donde se encontró un promedio de 422 partículas de MP/m^2 en los seis meses de investigación (Tubens Rivera, 2022).

Conclusiones

La alta demanda de artículos y envases plásticos y una inadecuada disposición de sus desechos sólidos ha propiciado la acumulación de este material en sedimentos y cuerpos de agua en todo el mundo (Auta et al., 2016; Barne, et al., 2009; Rojo Nieto y Montoto, 2017). Cuando estos objetos entran en contacto con el ambiente experimentan cambios por causa de diversos factores que, a lo largo del tiempo, los van fragmentando a piezas más pequeñas conocidas como microplásticos (MP).

La presencia de MP en el medio ambiente ha sido ampliamente reportada en diferentes zonas del mundo. Se han identificado en agua dulce, zonas costeras, océanos y en áreas remotas como el Ártico (Barne et al., 2009; Cózar, et al., 2014; Lusher et al.,2015; Sutton y Sedlak, 2017; Wagner, et al., 2014). Partículas de MP también, se han encontrado en el agua potable y en productos comestibles (Díaz Basantes, et al, 2020; Magee Altreuter, 2017). Estudios han revelado que algunos microorganismos como el zooplancton han ingerido MP (Alessi y Di Carlo, 2018). En otros casos, la presencia de este material en el cuerpo de ciertos animales puede provocar problemas de reproducción y desarrollo, estrés patológico y bloqueo en la producción de enzimas (Auta et al., 2016; Sutton y Sedlak, 2017). Otras investigaciones señalan que los MP pueden llegar al cuerpo humano por medio de alimentos como el pescado (Lloyd Smith & Immig, 2018).

Para este estudio se tomaron muestras de la arena y el agua de dos playas al norte de Puerto Rico por un periodo de ocho meses. La Poza del Obispo está ubicada en Arecibo. Esta playa es de libre acceso, cercana a la vía principal y comúnmente visitada por bañistas. La playa La Boca se encuentra en Barceloneta y es de libre acceso, no apta para bañistas,

pero es ideal para la pesca y el deporte del “surfing”. Esta playa colinda con la desembocadura del Río Grande de Manatí.

Esta investigación comprobó la presencia de MP en las muestras de la arena y el agua de ambas localidades. En las muestras de arena se hallaron MP en los nueve cuadrantes ubicados en las tres líneas de las playas bajo observación. En La Poza del Obispo se contabilizó un total de 1,864 partículas por m^2 y en La Boca se identificaron 652 de partículas por m^2. Al comparar la concentración de las dos playas se demostró que la distribución de MP en las tres líneas de ambas localidades fue similar. Sin embargo, al comparar los resultados por mes, se identificó una diferencia significativa entre los resultados de ambas playas en marzo, abril y junio. En las muestras del agua, tanto en La Poza del Obispo, como en La Boca se observaron un total de 42 partículas por L y 34 partículas por L de agua, respectivamente. No obstante, no se identificaron partículas MP ni en julio ni agosto en ambas playas. Se compararon los hallazgos de las muestras de agua de ambas playas y se comprobó que no existe diferencia significativa en la concentración de MP en el agua, excepto para los resultados de los filamentos.

La mayoría de los MP encontrados fueron de tipo secundario. El tipo de MP que comúnmente se observó en las muestras de la arena y del agua de las dos playas fueron las fibras, los filamentos y los fragmentos. Estos MP también se han destacado en los hallazgos de otras investigaciones en la isla (Pérez Alvelo, et al, 2021; Tubens Rivera, 2022). Con los datos de la investigación se identificó una relación entre el aumento en las partículas de MP en las muestras de arena con la época de sequía. Este incremento de MP en temporada seca puede estar relacionada a la disminución de las escorrentías y del fuerte oleaje asociado a las lluvias. Esto propicia una acumulación mayor de partículas en el sedimento.

En cambio, para las muestras de agua, en ambas playas, no se observaron una relación entre la concentración de MP con la época de lluvia o de sequía. Para este estudio no se demostró que la presencia de un río aumentara la concentración de MP en los resultados de La Boca, al compararlos con la concentración de MP de La Poza del Obispo.

Nuestra investigación demostró la presencia de MP en dos playas al norte de Puerto Rico, evidenciando por primera vez este problema en esta área. La zona costera, también es el lugar donde habitan diferentes especies importantes para mantener saludables los ecosistemas marinos. Como es el caso de las playas estudiadas reconocidas como zonas para el anidaje de las tortugas marinas. Es importante tomar acción y proteger a nuestras playas que son recursos naturales de gran valor. Conocer la cantidad y tipos de MP en zonas costeras permiten determinar cuáles son los plásticos que provocan la contaminación y tomar acción para reducir o eliminar a estos contaminantes.

Recomendaciones

1. Ubicar puntos de muestreos a lo largo del río para evaluar presencia de MP y su posible efecto en la cantidad de partículas en la playa La Boca.
2. Utilizar otras técnicas que permitan identificar el tipo de material con el cual en plástico fue fabricado. Entiéndase PE (Polietileno), PP (Polipropileno), PVC (Policloruro de vinilo), PET (Tereftalato de polietileno), PUR (Poliuretano) y PS (Poliestireno).
3. Efectuar un estudio para evaluar si hay una correlación entre el volumen de visitantes a las playas y la concentración de MP.
4. Estudiar cómo los factores de la pendiente de la playa, granulometría del sedimento, el oleaje y el viento afectan la distribución de MP.
5. Realizar investigaciones en diferentes zonas costeras de Puerto Rico para confirmar la correlación entre la abundancia de MP según la época de lluvia o sequía.
6. Compilar los datos de los hallazgos de MP de otras investigaciones en la isla.
7. Evaluar el efecto de las leyes que restringen el uso de neveras de espuma en la cantidad de este tipo de MP en las playas de Puerto Rico.
8. Realizar un plan educativo para la concienciación comunitaria acerca de los microplásticos.

References

5 Gyres. (2019). Plastic Beach: A Citizen Science Protocol for Microplastic Pollution. 5 Gyres Science to solutions, 1-22.

ACS Newsroom. (2020, agosto 17). ACS Chemistry for life. Recuperado de Micro- and nanoplastics detectable in human tissues: https://www.acs.org/content/acs/en/pressroom/newsreleases/2020/august/micro-and-nanoplastics-detectable-in-human-tissues.html

Acueductos PR. (s.f.). Acueductos PR. Recuperado de Sistema de Alcantarillado: https://acueductospr.com/sistema-de-alcantarillado

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [EPA]. (s.f.-b). EPA.gov. Recuperado de Amenazas toxicológicas del plástico: https://espanol.epa.gov/espanol/amenazas-toxicologicas-del-plastico

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [EPA]. (s.f.-c). EPA.gov. Recuperado de La importancia de la protección de las playas: https://espanol.epa.gov/espanol/la-importancia-de-la-proteccion-de-las-playas

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA]. (s.f.-a). EPA.gov. Recuperado de Aguas Libres de Basura: https://espanol.epa.gov/espanol/la-importancia-de-la-proteccion-de-las-playas

Agencia Federal para el Manejo de Emergencias [FEMA] y Agencia de Protección Ambiental [EPA]. (2021, septiembre 2). EPA.gov. Retrieved abril 2023, from Municipios mitigando HOY para futuros desastres: https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-09/gfx-es-solid-waste-management-in-puerto-rico.pdf

Agencias EFE. (2015, febrero 8). Primera Hora. Recuperado de Grupo comunitario adopta la Poza del Obispo: https://www.primerahora.com/noticias/puerto-rico/notas/grupo-comunitario-adopta-la-poza-del-obispo/

Alessi , E., & Di Carlo, G. (2018). Una trampa de plásticos liberando de plásticos el mediterraneo. World Wildlife Fund.

Anderson, J. C., Park, B. J., & Palace, V. P. (2016). Microplastics in aquatic environments: Implications for canadian ecosystems. Environmental Pollution, 269-280.

Anellides. (2021, agosto 17). Recuperado de Islas de plásticos: https://anellides.com/es/blog/islas-de-plastico/

Antão-Barboza, L. G., Dick-Vethaak, A., Lavorante, B. R., Lundebye, A.-K., & Guilhermino, L. (2018). Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. Marine Pollution Bulletin, 336-348.

Arévalo, E. (2012, mayo 31). Natural Resources Defense Council. Recuperado de Los giros oceánicos y los desechos plásticos: https://www.nrdc.org/es/experts/evelyn-arevalo/giros-oceanicos-desechos-plasticos

Ashton, K., Holmes, L., & Turner, A. (2010). Association of metals with plastic production pellets in the marine environment. Marine Pollution Bulletin, 2050-2055.

Aslam, H., Ali, T., Mortula, M., & attaelmanan, A. G. (2020). Evaluation of microplastics in beach sediments along the coast of Dubai, T UAE. Marine Pollution Bulletin.

Auta, H. S., Emenike, C. U., & Fauziah, S. H. (2016). Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, efffects, and potential solutions. ELSEVIER, 165-176.

Azoulay, D., Villa, P., Arellano, Y., Gordon, M., Miller, K., & Thompson, K. (2019). Plastic & Health the Hidden Cost of a Plastic Plantet.

Barne, D. K., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. Philosophical transactions of the royal society, 1-14.

Beaman, J., & Bergeron, C. (2016). A Summary of Literature on the Chemical Toxicity of Plastics Pollution to Aquatic Life and Aquatic-Dependent Wildlife. U.S. Environmental Protection Agency.

Bernhardt, C., & Schaeffer, E. (2019). Plastic & climate the hidden costs of a plastic planet. CIEL, 21-42.

Black, L. (2016, septiembre 9). Lake Ontario Waterkeeper. Recuperado de Microfibres: The microplastic causing macro-problems in global waters: http://www.waterkeeper.ca/blog/2016/9/8/microfibres-the-microplastic-causing-macro-problems-in-global-waters

Bogusz, A., & Oleszczuk, P. (2016). Microplastics in the environment: characteristic, identification and potential risk. Annales University Mariae Curie-Sklodowska, 97-114.

Bollaín Pastor, C., & Vicente Agulló, D. (2019). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. Rev Esp Salud Pública, 1-10.

Box, C. (2019). Microparticles and Microplastics in Surface Water in San Francisco Bay and Adjacent National Marine Sanctuaries. Understanding Microplastic Levels, Pathways, and Transport in the San Francisco Bay Region, 108-166.

Break Free from Plastics. (2019). Branded Vol. II Identifying the World's Top Corporate Plastic Polluters. Manila: Greenpeace Philippines.

Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E. L., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. C. (2011). Accumulations of microplastics on shorelines worldwide: sources and sinks. Environmental Science & Technology, 1-17.

Cabrera Dorta, D. (2019, abril 18). Determinación de la presencia de microplásticos en playas de Tenerife. Trabajo fin de grado, Universidad de La Laguna, Departamento de Química. Recuperado de Repositorio institucional de la Universidad de La Laguna: https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/8703

Caldwell, N. (2019, mayo 24). Greenmatters. Recuperado de Biodegradable Microbeads Could Change The Way Our Cosmetics Impact The Planet: https://www.greenmatters.com/news/2017/06/15/2axjJl/these-biodegradable-microbreads-could-change-the-way-our-cosmetics-impact-the-planet#:~:text=Microbeads%20absorb%20toxins%20present%20in,toxic%20evidence%20of%20our%20pollution.

Carlini, G., & Kleine, K. (2018). Advancing the international regulation of plastic pollution beyond the United Nations Environment Assembly resolution on marine litter and microplastic. Reciel, 234-244.

Castañeda, R. A., Avlijas, S., Simard, M., & Ricciardi, A. (2014). Microplastic pollution in St. Lawrence River sediments. NRC Research Press, 1767–1771.

Castro Elias, M. R. (2019, febrero 1). Dirección general de responsabilidad social. Retrieved abril 2023, from ¿Sabe cuantos años demora el plástico en degradarse?: https://dgrs.unmsm.edu.pe/2019/02/01/sabe-cuantos-anos-demora-el-plastico-en-degradarse/#:~:text=No%20es%20poco%20tiempo%2C%20el,tardar%201.000%20a%C3%B1os%20en%20desaparecer.

Cauwenberghe, L. V., & Janssen, C. R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption. Environmental Pollution, 65-70.

Clunies-Rossa, P., Smithc, G., Gordonc, K., & Gaw, S. (2016). Synthetic shorelines in New Zealand? Quantification and characterization of microplastic pollution on Canterbury's coastlines. New Zeland Journal of Marine and Freshwater Research, 317–325.

CNN español. (2019, julio 19). CNN español. Recuperado de ¿Qué países latinoamericanos han tomado medidas para reducir el plástico? : https://cnnespanol.cnn.com/2019/07/19/que-paises-latinoamericanos-han-tomado-medidas-para-reducir-el-plastico/

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. Marine Pollution Bulletin, 2588-2597.

Colón Ortiz, A. J., & Febles Moreno, K. (2018). Description of microplastics on the coast of La Guancha in Ponce, Puerto Rico. Ecorfan Journal-Bolivia, 24-32.

Colón, M. d. (2019, abril 25). Metro PR. Recuperado de Se recicla poco y la mitad vuelve al vertedero: https://www.metro.pr/pr/noticias/2019/04/25/se-recicla-poco-y-la-mitad-vuelve-al-vertedero.html

Comité español de ACNUR. (2019, agosto). La Agencia de la ONU para los refugiados comité en español. Recuperado de Isla de plástico: ¿qué es y cómo nos afecta?: https://eacnur.org/blog/isla-de-plastico-que-es-tc_alt45664n_o_pstn_o_pst/

Congress.gov. (2018, octubre 11). Recuperado de S.3508 - Save Our Seas Act of 2018: https://www.congress.gov/bill/115th-congress/senate-bill/3508/text

Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J. I., Irigoien, X., Úbeda, B., Hernández-León, S., Duarte, C. M. (2014). Plastic debris in the open ocean. PNAS, 10239-10244.

Crespo Feliciano, M. (2018, marzo 29). Accuweather en Español. Recuperado de Una isla entre la basura: Cómo María destacó la mala gestión de desperdicios en Puerto Rico: https://www.accuweather.com/en/weather-news/una-isla-entre-la-basura-como-maria-destaco-la-mala-gestion-de-desperdicios-en-puerto-rico/17890

Davison, P., & Asch, R. G. (2011). Plastic ingestion by mesopelagic fishes in the North Pacific Subtropical Gyre. Marine Ecology Progress Series, 173-180.

de A. Miranda , D., & Freire de Carva, G. (2015). Are we eating plastic-ingesting fish? Marine Pollution Bulletin.

De la Torre, G. E. (2019). Microplásticos en el medio marino: una problemática que abordar. Revista Ciencia y tecnología, 27-37.

De los Milagros Colón, M. (2019, junio 6). Microplásticos ahogan las playas boricuas. Recuperado de Metro PR: https://www.metro.pr/pr/noticias/2019/06/06/microplasticos-ahogan-las-playas-boricuas.html

De Souza Machado, A. A., Lau, C. W., Kloas, W., Bergmann, J., Bachelier, J. B., Faltin, E., Rillig, M. C. (2019). Microplastics Can Change Soil Properties and Affect Plant Performance. Environmental Science & Technology, 6044-6052.

Departamento de Recursos naturales [DRNA]. (s.f.-a, nov 21). Departamento de Recursos Naturales de Puerto Rico. Recuperado de Acceso público a las costas: http://www.drna.pr.gov/programas-y-proyectos/zona-costanera/acceso-publico/

Departamento de Recurosos Naturales [DRNA]. (s.f.-b). Tortugas Marinas. Recuperado de Departamento de Recursos Naturales: http://drna.pr.gov/wp-content/uploads/2016/03/Tortugas_Marinas.pdf

Departamento de Recursos Naturales [DRNA]. (2013). La problemática de la contaminación por fuentes dispersas en Puerto Rico, causas y recomendaciones. Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.

Departamento de Recursos Naturales [DRNA]. (2019, Septiembre 17). Departamento de Recursos Naturales. Recuperado de Manejo de Residuos: http://www.drna.pr.gov/programas-y-proyectos/manejo-residuos/manejo-de-residuos/

Díaz Basantes, M. F., Conesa, J. A., & Fullana, A. (2020). Microplastics in Honey, Beer, Milk and Refreshments in Ecuador as Emerging Contaminants. Sustaiinability, 2-17.

Díaz, E. L., & Hevia-Rivera, K. M. (2017). El estado de las costas de Puerto Rico. DRNA: Programa de Manejo de la Zona Costanera.

Drummond, J. D., Schneidewind, U., Li, A., Hoellein, T. J., Krause, S., & Packman, A. I. (2022, enero 12). Microplastic accumulation in riverbed sediment via hyporheic exchange from headwaters to mainstems. Recuperado de Science Advances: https://www.science.org/doi/epdf/10.1126/sciadv.abi9305

Dyachenko, A., Mitchell, J., & Arsem, N. (2017). Extraction and identification of microplastic particles from secondary wastewater treatment plant (WWTP) effluent. Analytical Methods, 1412-1418.

Eljarrat, E. (2019, septiembre 5). La contaminación química del plástico, una amenaza silenciosa. Recuperado de iresiduo: https://iresiduo.com/blogs/ethel-eljarrat/contaminacion-quimica-plastico-amenaza-silenciosa

Environmental Protection Agency [EPA]. (2016). State of the Science White Paper A Summary of Literature on the Chemical Toxicity of Plastics Pollution to Aquatic Life and Aquatic-Dependent Wildlife. Retrieved octubre 3, 2022, from https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-12/documents/plastics-aquatic-life-report.pdf

Eriksen, M., Lebreton, L. C., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borrero, J. C., Reisser, J. (2014). Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. PLOS ONE, 1-15.

Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Amato, S. (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. Marine Pollution Bulletin, 177-182.

Estado Libre Asociado de Puerto Rico. (2018, septiembre 20). PR.gov. Retrieved abril 16, 2023, from Ley para Implementar el "Plan de Reorganización del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de 2018": https://bvirtualogp.pr.gov/ogp/Bvirtual/leyesreferencia/PDF/171-2018.pdf

Estudios Tecnicos Inc. (2014). DRNA.gov. Retrieved marzo 2023, from Plan maestro de acceso público a las costas de Puerto Rico: https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2016/03/Plan-Maestro-de-Acceso-P%C3%BAblico-a-las-Costas-de-Puerto-Rico.pdf

Evironmental Protection Agency [EPA]. (2022, junio 29). EPA.gov. Retrieved abril 16, 2023, from Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) Overview: https://www.epa.gov/rcra/resource-conservation-and-recovery-act-rcra-overview

Excelsior. (2018, febrero 16). Excelsior. Recuperado de Esta es la cantidad de basura que genera un mexicano al año: https://www.excelsior.com.mx/nacional/2018/02/16/1220819

FDA. (2022, febrero 25). US Food & Drug Administration. Recuperado de The Microbead-Free Waters Act: FAQs: https://www.fda.gov/cosmetics/cosmetics-laws-regulations/microbead-free-waters-act-faqs#:~:text=The%20Microbead%2DFree%20Waters%20Act%20of%202015%20prohibits%20the%20manufacturing,)%20drugs%2C%20such%20as%20toothpastes.

GESAMP, Bowmer, T., & Kershaw, P. (2010). Proceedings of the GESAMP International Workshop on plastic particles as a vector in transporting persistent, bio-accumulating and toxi substances in the oceans. GESAMP Rep. Stud. No. 82, 68pp.

GESAMP; Kershaw, Peter J.; Rochman, Chelsea M. (2016). Source, fate and effects of microplastics in the marine environment: Part two of a global assessment. GESAMP.

GESAMP. (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection.

Gobierno de la República Dominicana Medio Ambiente. (2022, noviembre 7). Ambiente.gob.do. Retrieved abril 16, 2023, from Reglamento de Aplicación de la Ley General de Gestión Integral y Coprocesamiento de Residuos Sólidos, No. 225-

20, G.O. No.10990.: https://transparencia.ambiente.gob.do/wpfd_file/proyecto-reglamento-no-ley-225-20/

Gobierno de Puerto Rico. (2021a, enero 8). Lexjuris. Recuperado de Boletín Administrativo Número: OE-2021-010: https://www.lexjuris.com/ordenes/OE-2021-010.pdf

Gobierno de Puerto Rico. (2021b, julio 1). LexJuris. Recuperado de Boletín Administrativo Número: OE-2021-054: https://www.lexjuris.com/ordenes/OE-2021-054.pdf

Goldberg-Fox, E. (2019, mayo 18). The Guardian. Recuperado de Food packaging is full of toxic chemicals – here's how it could affect your health: https://www.theguardian.com/us-news/2019/may/28/plastics-toxic-america-chemicals-packaging

González Saldía, F. E. (2019). Distribución y abundancia de microplásticos en cuencas Mediterráneas. Barcelona: Departamento de Biología Evolutiva, Ecología y Ciencias Ambientales (Sección Ecología), Universidad de Barcelona.

González-González, M. (2017a). El manejo de basura en las playas. Marejada, 17-19.

González-González, M. (2017b). ¿Qué son los microplásticos? Marejada, 6-10.

González, B. (s.f.). Investigación para todos USAC. Recuperado de Los desechos sólidos en la Ciudad de Guatemala: http://investigacionparatodos.usac.edu.gt/art%C3%ADculos-principales/item/25-desechos-s%C3%B3lidos

Goodyer, J. (2020, agosto 17). Science Focus. Recuperado de Researchers find every human tissue tested can absorb microplastics: https://www.sciencefocus.com/news/researchers-find-microplastics-in-every-human-tissue-studied/

Google Maps. (2022, noviembre 12a). Google Maps. Recuperado de https://www.google.com/maps/dir/FFJ4%2B28X+PAS+Barceloneta,+Barceloneta,+00617/La+Boca,+Barceloneta,+00617/@18.4819224,-66.5455018,1788m/data=!3m2!1e3!4b1!4m13!4m12!1m5!1m1!1s0x8c031ec1ba8623c9:0xabefda3d9061c9c0!2m2!1d-66.5441296!2d18.4801169!1m5!1m1!1s0

Google Maps. (2022, noviembre 12b). Google Maps. Recuperado de https://www.google.com/maps/dir/PAS+Arecibo,+F8JC%2B55H,+Arecibo,+00612/Poza+del+Obispo,+F8J3%2BM8J,+Arecibo,+00612/@18.4808454,-66.6893213,1948m/data=!3m1!1e3!4m13!4m12!1m5!1m1!1s0x8c02e1b2681aeb59:0x89a403ec7845750e!2m2!1d-66.6795039!2d18.4804371!1m5!1m

Graca, B., Szewc, K., Zakrzewska, D., Dołęga, A., & Szczerbowska-Boruchowska, M. (2017). Sources and fate of microplastics in marine and beach sediments of the Southern Baltic Sea—a preliminary study. Environmental Science and Pollution Research, 7650-7661.

Greenpeace. (n.d.). Greenpeace. Recuperado de ¿Cómo llega el plástico a los océanos y qué sucede entonces?: https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/como-llega-el-plastico-a-los-oceanos-y-que-sucede-entonces/

Grinberg, E., Sandoval, P., & Tran, L. (2017, octubre 23). CNN latinoamérica. Recuperado de Basuras ponen en jaque la salud y el medio ambiente de Puerto Rico: https://cnnespanol.cnn.com/2017/10/23/finalmente-comienza-la-limpieza-en-puerto-rico-y-los-vertederos-de-basura-podrian-desbordarse/

Hammer, J., Kraak, M. H., & Parsons, J. R. (2012). The plastics in the marine environment: The dark side of a modern gift. In D. M. Whitacre, Reviews of Environmental Contamination and Toxicology (pp. 1-44). Springer.

Hanvey, J. S., Lewis, P. J., Lavers, J. L., Crosbie, N. D., Pozo, K., & Clarke, B. O. (2016). A review of analytical techniques for quantifying microplastics in sediments. Royal Society of Chemistry, 1369–1383.

Harrison, J. P., Schratzberger, M., Sapp, M., & Osborn, A. M. (2014). Rapid bacterial colonization of low-density polyethylene microplastics in coastal sediment microcosms. BMC Microbiology, 1471-2180.

Heather, L. A., van Velzen, M. J., Sicco, B. H., Vethaak, D. A., Garcial-Vallejo, J. J., & Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. Environmental International, 1-8.

Hernández, J. R. (2017, julio 2). Presencia tu regional del noreste. Recuperado de CCOREM hace llamado urgente a alcaldes atender desastre de desperdicios sólidos: http://www.presenciapr.com/ccorem-hace-llamado-urgente-a-alcaldes-atender-desastre-de-desperdicios-solidos/

Hofford, A. (2015, abril 29). UN scientists call for action on marine microplastics. Recuperado de The Guardian: https://www.theguardian.com/environment/2015/apr/29/un-scientists-call-for-action-on-marine-microplastics

Iannacone, J., Huyhua, A., Alvariño, L., Valencia, F., Principe, F., Minaya, D., . . . Castañeda, L. (2019). Microplásticos en la zona de marea alta y supralitoral de una playa arenosa del litoral costero del Perú. The Biologists, 335-346.

Investigación y Desarrollo. (2019, octubre 12). Degradación en el medio ambiente de los plásticos y bolsas de papel. Recuperado de INVDES.COM.MX: https://invdes.com.mx/infografias/degradacion-en-el-medio-ambiente-de-los-plasticos-y-bolsas-de-papel/

IPUR. (2018, octubre 16). Preguntas frecuentes sobre el poliuretano y sus aplicaciones. Recuperado de Asociacíon de la Industria de Poliuretano Rígido: https://aislaconpoliuretano.com/preguntas-frecuentes-sobre-el-poliuretano-y-sus-aplicaciones/

Katija, K., Choy, C. A., Sherlock, R. E., Sherman, A. D., & Robison, B. H. (2017). From the surface to the seafloor: How giant larvaceans transport microplastics into the deep sea. Science Advances, 1-5.

Kentin, E., & Kaarto, H. (2018). An EU ban on microplastics in cosmetic products and the right to regulate. Review of European, Comparative & International Environmental Law, 254-266.

Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Michael, T., Schludermann, E. (2014). The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. Environmental Pollution, 1-5.

Lex Juris. (2021, julio 29). Recuperado de Ley Núm. 16 del año 2021: https://www.lexjuris.com/lexlex/Leyes2021/lexl2021016.htm#:~:text=Art%C3%ADculo%203.,Libre%20Asociado%20de%20Puerto%20Rico.

Ley Núm. 247 de 29 de diciembre de 2015. (2015, diciembre 29). Recuperado de LexJuris Puerto Rico: http://www.lexjuris.com/lexlex/Leyes2015/lexl2015247.htm

Ley Núm. 70 de 18 de Septiembre de 1992. (1992, septiembre 18). Recuperado de Oficina de Gerencia y Presupuesto Gobierno de Puerto Rico: www.ogp.pr.gov

Ley Núm. 70 de 23 de junio de 1978. (1978, junio 23). Recuperado de Oficina de Gerencia y Presupuesto Gobierno de Puerto Rico: www.ogp.pr.gov

Liebmann, Bettina; Köppel, Sebastian; Königshofer, Philipp; Bucsics, Theresa; Reiberger, Thomas; Schwabl, Philipp (2018, octubre 28-31) *Assessment of Microplastic Concentration in Human Stool Final Results of a Prospective Study*. Póster presentado al Conference on Nano and microplastics in technical and freshwater systems. Monte Verità, Ascona, Switzerland. Recuperado de Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/328702413_ASSESSMENT_OF_MICROPLASTIC_CONCENTRATIONS_IN_HUMAN_STOOL_-_FINAL_RESULTS_OF_A_PROSPECTIVE_STUDY.

Lin, D. (2019). Microparticles and Microplastics in small prey fish. Understanding Microplastic Levels, Pathways, and Transport in the San Francisco Bay Region, 200-239.

Lindwall , C. (2020, enero 9). NRDC.org. Retrieved marzo 31, 2023, from Plásticos de un solo uso 101: https://www.nrdc.org/es/stories/plasticos-solo-uso-101#what

Liu, M., Lu, S., Chen, Y., Cao, C., Bigalke, M., & He, D. (2020). Analytical Methods for Microplastics in Environments: Current Advances and Challenges. In B. H. Springer, The Handbook of Environmental Chemistry. Springer.

Lloyd Smith, M., & Immig, J. (2018). Ocean pollutants guide toxic threats to Human health and marine life. The National Toxics Network (NTN).

Lugo, L. (2020). Desperdicios sólidos a microplásticos: Legislaciones y oportunidades. Programa del Estuario de la Bahía de San Juan.

Lusher, A. L., Tirelli, V., O'Connor, I., & Officer, R. (2015). Microplastics in Artic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface sample. Scientific Reports, 1-9.

Magee Altreuter, R. (2017). Microfibers, Macro problems A resource guide and toolkit for understanding and tackling the problem of plastic microfiber pollution in our communities.

Marín-Vargas, Y. 2023. Evaluación de Presencia de Microplásicos en el Sistema Digestivo en Peces de Arrecife de Importancia Comercial y Recreativa en Puerto Rico. Tesis como requisito parcial para completar el grado de Maestría en Ciencias en Ciencias Ambientales. Recinto de San Germán Universidad Interamericana de Puerto Rico. 206pp. No publicada.

Markic, A., Niemand, C., Bridson, J. H., Mazouni-Gaertner, N., Gaertner, J.-C., Eriksen, M., & Bowen, M. (2018). Double trouble in the South Pacific subtropical gyre: Increased plastic T ingestion by fish in the oceanic accumulation zone. Marine Pollution Bulletin, 547–564.

Metro PR. (2015, febrero 8). Metro PR. Recuperado de Grupo comunitario adopta la playa Poza del Obispo en Arecibo: https://www.metro.pr/pr/noticias/2015/02/08/grupo-comunitario-adopta-la-playa-poza-del-obispo-en-arecibo.html

Microbead- Free Water Act (Senate and House of Representatives of the United States of America in Congress enero 6, 2015).

Microjuris. (2022, julio 2). microjuris.com. Retrieved abril 16, 2023, from Gobernador firma ley que prohibe plásticos de un solo uso en un plazo de 2 años:

https://aldia.microjuris.com/2022/07/02/gobernador-firma-ley-que-prohibe-plasticos-de-un-solo-uso-en-un-plazo-de-2-anos/

Microjuris.com. (2021, julio 29). Recuperado de Prohibidas las neveras de «foam» en las playas: https://aldia.microjuris.com/2021/07/29/prohibidas-las-neveras-de-foam-en-las-playas/

Miranda, D., & Carvalho-Souza, G. F. (2015). Are we eating plastic-ingesting fish? Marine Pollution Bulletin.

Montes, S. (2018, julio 5). La República. Recuperado de Al menos 14 países ya han prohibido la utilización de bolsas plásticas en el mundo: https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/al-menos-14-paises-ya-han-prohibido-la-utilizacion-de-bolsas-plasticas-en-el-mundo-2745896

Moore, C. J., Lattin, G. L., & Zellers, A. F. (2011). Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California. Journal of Integrated Coastal Zone Management, 65-73.

Moreno, S. (2019, julio 5). El País. Recuperado de El Ebro vierte 2.200 millones de microplásticos al año en el Mediterráneo: https://elpais.com/elpais/2019/07/04/ciencia/1562242520_480821.html

Mouat, J., López-Lozano , R., & Bateson, H. (2010). Economic Impacts of Marine Litter. KIMO International.

Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., & Quinn, B. (2016). Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment. Environmental Science & Technology, 5,800-5,808.

Naciones Unidas. (2021, octubre 22). Noticias ONU. Recuperado de El plástico, que ya ha atragantado nuestros océanos, terminará por asfixiarnos a todos si no actuamos rápidamente: https://news.un.org/es/story/2021/10/1498752

Naowee. (2019, abril 11). Objetivos de desarrollo sostenible Universidad de la Costa. Retrieved abril 16, 2023, from Planeta plástico: https://ods.cuc.edu.co/here-are-some-of-the-benefits-of-service-for-your-business-4/

Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibers from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. Marine Pollution Bulletin, 39-45.

National Geographic España . (2019, octubre 9). Recuperado de Encuentran una tortuga marina con más de 100 piezas de plástico en el estómago: https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/encuentran-tortuga-marina-mas-100-piezas-plastico-estomago_14787

National Geographic. (2018, octubre 8). National Geographic en español. Recuperado de La "isla de basura" es una amenaza para la vida marina en el Pacífico.: https://www.ngenespanol.com/el-mundo/la-isla-de-basura-amenaza-vida-marina-pacifico/

National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program. (2014). 014 Report on the Occurrence and Health Effects of Anthropogenic Debris Ingested by Marine Organisms. Maryland: Silver Spring.

NOAA & NPS. (2017). Quantification of Microplastics on National Park Beaches. Marine Debris Program.

Notiséis 360. (2019, mayo 6). En Puerto Rico la organización Scuba Dogs a realizado limpiezas de playas en las cuales se han econtrado MP en las aguas. Entre los MP encontrados se encuentran las fribras, fragmentos, “films” y “microbeads”. Recuperado de WIPR: https://wipr.pr/confirman-la-presencia-de-microplasticos-en-playas/

Ocasio Malavé, C. (2016). Preliminary Assessment of Microplastic Pollution in the Surface Waters of the San Juan Bay Estuary, Puerto Rico. San Germán: Universidad Interamericana de Puerto Rico .

ONU Programa para el ambiente. (2018, junio 6). Recuperado de América Latina y el Caribe, a la vanguardia en la lucha contra el plástico: https://www.unenvironment.org/es/noticias-y-reportajes/editorial/america-latina-y-el-caribe-la-vanguardia-en-la-lucha-contra-los

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO]. (2017).
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Retrieved febrero 2021, from Los microplásticos en los sectores de pesca y agricultura: http://www.fao.org/3/a-i7677e.pdf

Peguero, R. (2020, junio 13). Listín Diario . Recuperado de Vertederos de basura dominicanos: masiva calamidad pública: https://listindiario.com/la-republica/2020/06/13/621718/vertederos-de-basura-dominicanos-masiva-calamidad-publica

Pérez Alvelo, K. M., Llegus, E. M., Forestier-Babilonia, J. M., Elías-Arroyo, C. V., Pagán-Malavé, K. N., Bird-Rivera, G. J., & Rodríguez-Sierra, C. J. (2021). Microplastics pollution on sandy beaches of Puerto Rico. Marine Pollution Bulletin, 1-9.

Piñon Colin, T., Rodriguez-Jimenez, R., Pastrana-Corral, M. A., Rogel-Hernandez, E., & Toyohiko Wakida, F. (2018). Microplastics on sandy beaches of the Baja California Peninsula, Mexico. Marine Pollution Bulletin, 63-71.

Plastics Europe Association of Plastics Manufacturers. (2017). Plastics-The Facts 2017 An analysis of European plastics production, demand and waste data. Retrieved septiembre 23, 2020, from https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2017-2/

Plee, T. A. (2016). Microplastics in sandy environments in the Florida Keys and the panhandle of Florida and ingestion by sea cucumber and sand dollars. ProQuest.

PMZC y Estudios Técnicos Inc. (2022, septiembre 30). Departamento de Recursos Naturales. Recuperado de Estudio sobre la valorización de las playas de Puerto Rico: https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2022/10/Informe-Final-Valorizacion-de-Playas-30-SEPT-2022.pdf

Protección Animal Mundial. (s.f.). Campaña "Redes de pesca fantasma": la lucha contra el equipo de pesca abandonado. Recuperado de Protección Animal Mundial: https://www.worldanimalprotection.cr/nuestro-trabajo-0/animales-silvestres/campana-cambio-marino-abordando-las-redes-de-pesca-fantasma

Purca, S., & Henostroza, A. (2017). Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú. Revista Peruana de Biología, 101-106.

Quiñones, F., & Torres , S. (2005). Recursos de Agua. Recuperado de El Clima de Puerto Rico:
https://www.recursosaguapuertorico.com/Clima_PR_for_Web_Page_2005_rev_Jan2012.pdf

Ramírez Colón, C. (2020a). Caracterización de microplásticos en arena [Webinar]. Programa del Estuario de la bahía de San Juan.

Ramírez Colón, C. (2020b). Desperdicios sólidos a microplásticos: Legislaciones y oportunidades [Webinar]. Webinar: Programa del Estuario de la bahía de San Juan.

Ramos Baquero, A. M. (2022, junio 19). Departamento de Recursos Naturales. Recuperado de DRNA exhorta a los bañistas en la noche de San Juan a no arrojar la basura en las playas: http://www.drna.pr.gov/noticias/drna-exhorta-a-los-banistas-en-la-noche-de-san-juan-a-no-arrojar-la-basura-en-las-playas/

Rey, S. F., Franklin, J., & Rey, S. J. (2021). Microplastic pollution on island beaches, Oahu, Hawai‘i. PLOS ONE, 1-12.

Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B., & Hentschel, B. T. (2013). Classify plastic waste as hazardous. Nature, 169-171.

Rodríguez Miguélez , C. (2019, noviembre 28). El Norte de Castilla. Recuperado de Descubre cuánto tarda en biodegradarse esa camiseta que tiraste:

https://www.elnortedecastilla.es/va-de-moda/ropa-contamina-materiales-20191128135808-nt.html

Rojo Nieto, E., & Montoto, T. (2017). Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global. Ecologistas en Acción.

Ropero Portillo , S. (2020b, julio 20). Ecología Verde. Recuperado de Cuánto tarda en degradarse el unicel: https://www.ecologiaverde.com/cuanto-tarda-en-degradarse-el-unicel-2833.html

Ropero Portillo, S. (2020a, abril 15). Ecología Verde. Recuperado de Cuanto tarda en degradarse el plástico: https://www.ecologiaverde.com/cuanto-tarda-en-degradarse-el-plastico-2693.html

Sánchez, W., Bender, C., & Porcher, J. M. (2014). Wild gudgeons (Gobio gobio) from Frech rivers are contaminated by microplastics: Preliminary study and first evidence. Environmental Research, Elsevier, 98-100.

Sartain, M., Wessel, C., & Sparks, E. (2018). Microplastics Sampling and Processing Guidebook. Mississippi State University, Dauphin Island Sea Lab Alabama, NOAA, Sea Grant Mississippi-Alabama.

Scuba Dogs Society. (2020). Scuba Dogs Society. Recuperado de Limpieza Internacional de Costas durante la pandemia. Datos y resultados.: https://scubadogssociety.org/wp-content/uploads/2022/03/2020_ICC-report_SDS_UV-LOW.pdf

Sedlak, M. (2019). Microparticles and Microplastics in Bay Area Wastewater. Understanding Microplastic Levels, Pathways, and Transport in the San Francisco Bay Region, 65-107.

Senado de Puerto Rico. (2019, marzo 27). Resolución del Senado 1027. Retrieved septiembre 23, 2020

Sternberg , J. (2017, junio 7). Diario sustentable. Recuperado de Una ley para la separación de residuos.: https://www.diariosustentable.com/2017/06/una-ley-la-separacion-residuos-johanna-sternberg-camchal/#:~:text=Ya%20en%201991%2C%20Alemania%20promulg%C3%B3,entr%C3%B3%20en%20vigor%20en%201996.

Sutton, R., & Sedlak, M. (2017). Microplastic Monitoring and Science Strategy. Microplastic Monitoring and Science Strategy for San Francisco Bay (pp. 1-34). San Francisco: San Francisco Estuary Institute.

Tagg, A. S., Sapp, M., Harrison, J. P., & Ojeda, J. J. (2015). Identification and quantification of microplastics in wastewater using focal plane Array-based Reflectance Micro-FT-IR Imaging. ACS publications, 6032-6040.

Takada, H. (2013, mayo 10). Ocean Health Index. Recuperado de Microplastics and the threat to our seafood: http://www.oceanhealthindex.org/news/Microplastics

Thompson, R. C., Moore, C. J., vom Saal, F. S., & Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. The Royal Society Publishing, 1-15.

Toledo Martínez, Á. (2019). Tesis de maestría, Revisión bibliográfica de los métodos de análisis de micro(nano)plásticos en el medioambiente y en la biota marina. Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Trujillo, A. (2019). Los microplásticos: gigante amenaza puesta en evidencia. Revista Ambiental Marejada, 43-44.

Tubens Rivera, L. L. (2022). Presencia de microplásticos en tres playas arenosas del área oeste de Puerto Rico. Tesis de maestría, Universidad Interamericana de Puerto Rico, Departamento de Ciencias y Tecnología, San Germán.

UN Environment Programme. (2019, junio 19). UN Environment Programme. Recuperado de The Caribbean addresses the scourge of plastic pollution: https://www.unenvironment.org/news-and-stories/story/caribbean-addresses-scourge-plastic-pollution#:~:text=%E2%80%9COur%20world%20is%20swamped%20by,outnumber%20stars%20in%20our%20galaxy.&text=Seventy%20to%20eighty%2Dfive%20per,of%20it%20consists%20of%20pl

Vega Albino, O. A. (2019). El reciclaje en Puerto Rico: Ley en letra muerta. Revista de Derecho de Puerto Rico, 313-336.

Vilaseró, M. (2016, agosto 25). Los microplásticos ingeridos por peces y mariscos amenazan la salud humana. Recuperado de El periódico: https://www.elperiodico.com/es/sociedad/20160825/nuevo-peligro-alimentario-microplasticos-ingeridos-por-pescados-y-mariscos-5343198

W.M.A.W.M., K., Yusof Shuaib, I., Sabiqah, T., Sharumathiy, G., & Nor Fadilah, B. (2018). Microplastics analysis in Malaysian marine waters: A field study of Kuala Nerus and Kuantan. Marine Pollution Bulletin, 451-457.

Wagner, M., Scherer, C., Álvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., Winther-Niel. (2014). Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. Environmental Sciences Europe, 1-9.

World Health Organization [WHO]. (2019). Microplastics in drinking-water. Geneva.

Wu, C., Zhang, K., & Xiong, X. (2018). Microplastic Pollution in Inland Waters Focusing on Asia. In The Handbook of Environmental Chemistry: Freshwater Microplastics Emerging Environmental Contaminants? (pp. 85-99). Springer Open.

Ziajahromi, S., Neale, P. A., Rintoul, L., & Leusch, F. D. (2017). Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: Development of a new approach to sample wastewater-based microplastics. Water Research, 93-99.

Zooming in on the Five Types of Microplastics. (2016, noviembre 16). Recuperado de Lake Ontario Waterkeeper: http://www.waterkeeper.ca/blog/2016/11/15/zooming-in-on-the-five-types-of-microplastics