



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA

“ESTUDIO DE PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS
EN LA COLUMNA DE AGUA DE ARROYO
MORENO, BOCA DEL RÍO, VERACRUZ”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A :

GEORGINA LÓPEZ DEL VALLE

DIRECTOR: DR. ÁNGEL MORÁN SILVA



Los Reyes Iztacala, Edo de México, 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Este trabajo fue realizado en el Laboratorio de Ecología Costera y Pesquerías de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala bajo la dirección del Dr. Ángel Morán Silva

“El agua es la fuerza conductora de toda naturaleza.

– Leonardo da Vinci”

Agradecimientos

Si pienso en las personas que me acompañaron desde el inicio a lo largo de este proyecto, son mi familia, agradezco a mis padres que me apoyaron en todo el proceso y siempre me alentaron a sacar la mejor versión de mí, sin su constante motivación no hubiera salido el trabajo adelante.

A mi hermana por ser una inspiración y guía, gran ejemplo de lo valiente que puede ser una persona.

A todos mis amigos que hicieron este viaje placentero y sencillo, sin sus risas, días de estudio, amor incondicional y esas experiencias en el campus, no hubiera explotado al máximo mi estancia en la facultad, son compañeros para toda la vida.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Estudios Superiores Iztacala por brindarme los elementos necesarios para mi formación y prestarme sus instalaciones durante todo el proceso, en especial a mi asesor el Doctor Ángel Morán Silva por entregar su tiempo y energía para que este proyecto alcanzara su máximo potencial y a mis asesores, el Dr. Sergio Cházaro Olvera, el Dr. Horacio Vázquez López, el Dr. Rafael Chávez López y al Maestro Edgar Peláez Rodríguez por su accesibilidad y brindarme sus consejos.

ÍNDICE

| | |
|------------------------------------|----|
| 1.0 RESUMEN | 1 |
| 2.0 INTRODUCCIÓN | 2 |
| 3.0 ANTECEDENTES | 5 |
| 4.0 OBJETIVOS | 7 |
| 5.0 METODOLOGÍA | 8 |
| 6.0 RESULTADOS | 12 |
| 7.0 DISCUSIÓN | 21 |
| 8.0 CONCLUSIÓN | 26 |
| 9.0 LITERATURA CITADA | 26 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Pescadores en Arroyo Moreno, Boca del Río, Veracruz. Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente, 2006 | 8 |
| Figura 2. Reserva Natural Estatal de Arroyo Moreno, Boca del Río, Veracruz. Se presenta la ubicación de las estaciones de muestreo. Google Earth (2023) | 9 |
| Figura 3. Registro fotográfico de (a) Boca del estuario, (b) Fraccionamiento colindante, (c) Área Natural Protegida, (d) Entrada al canal de la Zamorana y (e) Desembocadura de la termoeléctrica Dos Bocas. Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente, 2006 | 10 |
| Figura 4. Arrastre con red de zooplancton y muestra en frasco de plástico debidamente etiquetado | 11 |
| Figura 5. Filtrado con la malla metálica y observación en el microscopio | 11 |
| Figura 6. Resultados de parámetros hidrológicos de cada temporada climática | 12 |
| Figura 7. Parámetros hidrológicos promedio obtenidos por estación de muestreo para cada temporada climática | 13 |
| Figura 8. Porcentaje de microplásticos reportados por su morfología en la columna de agua del Arroyo Moreno | 14 |
| Figura 9. Porcentaje de microplásticos registrados por color en la columna de agua del Arroyo Moreno | 16 |
| Figura 10. Imágenes obtenidas en microscopio estereoscópico (40x) de microplásticos encontrados en las muestras de agua: fragmentos irregulares (a, b, c); fibras de diferentes colores (d, e, f, g); microesferas (h, i) | 17 |
| Figura 11. Abundancia de microplásticos (No. de partículas L ⁻¹) según su morfología (fibras, fragmentos, microesferas) encontrados por cada temporada climática (abril, junio, noviembre) en la columna de agua del Arroyo Moreno | 18 |
| Figura 12. Conjunto de abundancias de microplásticos (No. de partículas L ⁻¹) según su morfología (fibras, fragmentos, microesferas) encontrados por cada temporada climática (abril, junio, noviembre) en la columna de agua del Arroyo Moreno | 19 |
| Figura 13. Relación entre la salinidad (psu)/ total de microplásticos encontrados y salinidad (psu)/ total de fibras encontradas, con línea de tendencia y ecuación correspondiente | 20 |
| Figura 14. Índice de diversidad según morfología de microplásticos por temporada climática y estaciones de muestreo | 21 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Número total de tipo de microplásticos encontrados (No. de partículas L ⁻¹): Fibras (Fb), Fragmentos (Fg) y Microesferas (Me), valor promedio (Prom.) y desviación estándar (D.E.) por estación y temporada climática | 14 |
| Tabla 2. Número total de color de microplásticos encontrados (No. de partículas L ⁻¹): Fibras (Fb), Fragmentos (Fg) y Microesferas (Me), valor promedio (Prom.) y desviación estándar (D.E.) por estación y temporada climática | 15 |
| Tabla 3. Longitud promedio de microplásticos encontrados (Longitud): Fibras (Fb), Fragmentos (Fg) y Microesferas (Me), valor promedio (Prom.) y desviación estándar (D.E.) por estación y temporada climática | 16 |
| Tabla 4. Índice de Shannon de acuerdo con los colores encontrados en cada temporada climática | 20 |

1.0 RESUMEN

Los estuarios son ecosistemas complejos que proveen de recursos, bienes y servicios ambientales al ser humano, sin embargo, la creciente presión que ejerce el crecimiento poblacional trae como consecuencia incremento en la contaminación, particularmente microplásticos (1 nm a 5 mm), su presencia aumenta en la costa por los escurrimientos terrestres y las partículas que vuelven a estar suspendidas en la columna de agua de los sedimentos después de las tormentas, clasificándose por sus características morfológicas: tamaño, forma (fragmentos, fibras, espumas, esferas o pellets) y color. El área natural protegida Arroyo Moreno es un estuario que se encuentra en la zona conurbada de Veracruz-Boca del Río-Medellín. El presente trabajo tuvo como objetivo general identificar presencia de microplásticos en la columna de agua a lo largo del estuario Arroyo Moreno, en tres temporadas climáticas, durante un ciclo anual, abarcando los meses de abril (secas), julio (lluvias) y noviembre (nortes) a través del uso de una red de zooplancton con malla de nylon (300 micras), con arrastres de cinco minutos a una velocidad de 1 nudo por hora. Con ayuda del microscopio estereoscópico se identificaron y clasificaron los microplásticos en función de su morfología (fibras, microesferas, fragmentos), color y longitud, y se reportó su abundancia para cada punto según su morfología (partículas L^{-1}). Se encontraron microplásticos en todas las muestras, predominando fibras (94%) y fragmentos (6%), el color predominante fue transparente (65%) y azul (27%), con longitudes de 0.2 mm a 5 mm. En la temporada de secas se presentó la mayor cantidad de microplásticos por la reducción del flujo y la influencia de la corriente marina (12642 partículas L^{-1}) mientras en las temporadas de lluvias y nortes (4631 partículas L^{-1} , 1333 partículas L^{-1}) la disminución se atribuye a la predominancia de descarga pluvial que favorece la salida de los microplásticos a la costa, además se evidenció la salida de agua de la termoeléctrica CFE Dos Bocas como una fuente de microplásticos dentro del arroyo. Las abundancias de microplásticos registradas permiten asegurar que los estuarios son un conducto importante para los plásticos terrestres hacia el mar y brinda una primera aproximación del estado actual del Arroyo Moreno.

Palabras clave: Microplásticos, Arroyo Moreno, Boca del Río, Veracruz.

2.0 INTRODUCCIÓN

El ciclo hidrológico, la geología y la configuración de los paisajes continentales les confieren a los ecosistemas acuáticos continentales un papel central en el flujo de materia y energía dentro de los ecosistemas de la tierra, estos sistemas involucran la interfase agua-tierra-atmósfera y, a menudo, los primeros a nivel territorial en mostrar síntomas de deterioro ambiental. Las aguas continentales son integradoras de los procesos terrestres y atmosféricos, porque están integralmente vinculadas con los cambios en el paisaje terrestre y están altamente conectadas a través del transporte y almacenamiento de agua, nutrientes, contaminantes y energía. Constituyen un recurso natural valioso, en términos económicos, culturales, estéticos, científicos y educativos. Además de ser el recurso más crítico para la civilización humana, el agua también es uno de los principales conductos que transportan contaminantes y patógenos a través del paisaje (Pascual *et al.*, 2022; Williamson *et al.*, 2008).

Los cuerpos de agua como los estuarios son elementos del sistema costero sobre los cuales actúan fuerzas físicas externas, como corrientes, lluvia, viento, mareas y dentro de los cuales tienen lugar ciclos biogeoquímicos que permiten la existencia de ecosistemas complejos que proveen de recursos, bienes y servicios ambientales al ser humano. Estuarios, ríos y hábitats asociados sirven como áreas de protección, reproducción y crianza de diversos recursos pesqueros estuario-dependientes. Más del 80% del total de las especies, utilizan los ecosistemas costeros en algún momento de su ciclo de vida por estrategias alimentarias, reproductivas o patrones de migración. Las interacciones en este sistema ecológico se ven fuertemente influidas por los procesos ambientales naturales, pero también por las actividades sociales y económicas de la zona costera. Todo lo “bueno” y lo “malo” que ocurre en la geografía continental del planeta, tarde o temprano llega a la costa y al mar, a través de escurrimientos terrestres –agua y sedimentos-, ríos y cuencas, alterando los ecosistemas costero-marinos y modificando la composición de la biodiversidad a nivel mundial (Azuz-Adeth, 2019; Sánchez-Gil *et al.*, 2019; Vega Cendejas, 2019).

Los procesos biogeoquímicos de las zonas litorales se han visto alterados fundamentalmente por la contaminación de origen terrestre proveniente de las partes altas de las cuencas costeras. Evidencias de los últimos 20 años, indican que los organismos marinos se encuentran en un ambiente multiestresor, causado por actividades antropogénicas, por lo tanto, se requiere llevar a cabo investigaciones que incrementen el conocimiento de estos impactos. La creciente presión que ejerce el crecimiento poblacional trae como consecuencia incremento en la contaminación del aire, suelo o, del agua, en conjunto con un mayor volumen de residuos sólidos urbanos, basura (particularmente material de plástico) todo lo cual produce importantes desequilibrios (Azuz-Adeth, 2019; Vega Cendejas, 2019).

El término “plástico”, proviene del griego y significa “moldeable”, es un material hecho de polímeros sintéticos, producidos en general a partir de la polimerización de monómeros derivados de materiales a base de carbono como petróleo, aceite, gas y carbón (Soledad, 2021; Pérez, 2014). Los plásticos son materiales relativamente nuevos que existen desde hace poco más de un siglo. Sin embargo, no fue hasta el final de la Segunda Guerra Mundial que la producción masiva de

plásticos comenzó en serio, con una producción anual de alrededor de 5 millones de toneladas en la década de 1950. Esta producción ha permitido la acumulación de plásticos en hábitats naturales e impactos adversos en la biota y la economía (Napper y Thompson, 2020). Se necesita una red a escala continental, que involucre tanto investigación observacional como experimental en aguas continentales, para comprender los impactos humanos en los ecosistemas terrestres y acuáticos y los servicios críticos que brindan (Williamson *et al.*, 2008).

Hay tres grandes categorías de plásticos: termoplásticos, termoestables y elastómeros. Los termoplásticos se ablandan al calentarse y se endurecen al enfriarse (p. ej., polietileno (PE), polipropileno (PP), politetrafluoroetileno (teflón), politereftalato de etileno (PET), poliamida (PA), policloruro de vinilo (PVC) y poliestireno (PS)); mientras que los termoestables nunca se reblandecen una vez que han sido moldeados (por ejemplo, resinas epoxi, poliuretano (PU), resinas de poliéster y baquelita). Los elastómeros son polímeros de carácter elástico: el material puede volver a su forma original después de estirarse (por ejemplo, caucho y neopreno). Además de los polímeros bien establecidos (PE, PP, PS, PET, PVC, PU, PA), los polímeros plásticos están muy diversificados con alrededor de veinte grupos distintos con una amplia variedad de polímeros y copolímeros (correspondientes a una mezcla de dos o más polímeros) (Lusher *et al.*, 2017). Los polímeros plásticos muestran una degradación biológica lenta, por lo que permanecen en el ambiente durante cientos a miles de años, donde se descomponen en pedazos más pequeños debido a la radiación ultravioleta, fuerzas físicas e hidrólisis; por lo tanto, las partículas de plástico se acumulan como pequeños fragmentos y eventualmente a dimensiones actualmente indetectables (Escobar-Condor *et al.*, 2020).

Las tres categorías que normalmente se utilizan para describir el tamaño de la contaminación plástica son macrolástico (>20 mm de diámetro), mesoplástico (5–20 mm), microplástico (<5 mm) y nanoplásticos (<1000 nm) (Napper y Thompson, 2020). Especialmente los microplásticos se pueden manufacturar con ese tamaño (microplásticos primarios) usados en detergentes domésticos o productos de belleza como bloqueadores, exfoliantes, etc; o son generados por la degradación y fragmentación de elementos más grandes (microplásticos secundarios) (Auta *et al.*, 2017). Existen diferentes fuentes de microplásticos (terrestres y marinas), estos pueden encontrarse como material particulado en el aire, caer directamente al camino o de terrenos colindantes y desde allí una parte irá a las aguas superficiales, donde una porción desconocida será llevada al mar. Un ejemplo de esto son los artes de pesca que pueden perderse en el mar por accidente, abandono o eliminación deliberada en el medio marino (GESAMP, 2016).

Además, se pueden clasificar en gran medida por sus características morfológicas: tamaño, forma (fragmentos, fibras, espumas, esferas o pellets) y color. El tamaño (Cole *et al.*, 2011), junto con las propiedades fisicoquímicas (forma y densidad), influyen en el comportamiento de estos en el medio acuático, hacen que los microplásticos se dispersen de forma diversa en diferentes compartimentos del medio acuático (superficie del agua, columna de agua y sedimentos) y hacen que una amplia gama de organismos acuáticos sea potencialmente susceptible a estos contaminantes emergentes (de Sá *et al.*, 2018). Los microplásticos en el extremo superior del espectro de tamaño (1–5 mm) pueden comprometer la alimentación y la digestión. Los

microplásticos más grandes (de 2 a 5 mm) pueden tardar más en pasar desde el estómago de los organismos y podrían quedar retenidos en el sistema digestivo, lo que podría aumentar el tiempo de exposición a las toxinas adsorbidas (Lusher, 2015). La alta relación entre el área superficial y el volumen de las partículas pequeñas les da un alto potencial para la lixiviación y la absorción de productos químicos como contaminantes ambientales. Por lo tanto, la ingestión de microplásticos puede estar introduciendo toxinas en la base de la cadena alimenticia, desde donde existe el potencial de bioacumulación (Cole *et al.*, 2011; Lusher *et al.*, 2017).

Hay varias formas en que los organismos pueden acumular microplásticos. Los animales expuestos pueden incorporarlos a través de sus branquias y tracto digestivo. La ingestión puede deberse a la incapacidad de diferenciar los microplásticos de las presas o a la ingestión de organismos de niveles tróficos inferiores que contienen estas partículas (p. ej., plancton que contiene microplásticos); también pueden adherirse directamente a los organismos. Está reportado que algunos efectos por esta ingesta incluyen neurotoxicidad, efectos en el crecimiento, en la reproducción, efectos tóxicos relacionados con la respuesta inmune, el estrés oxidativo y reducción de la actividad de alimentación en algunos organismos (de Sá *et al.*, 2018). Esto debido a que partículas pequeñas de plástico pueden facilitar el transporte de contaminantes de plástico a los organismos por la ingestión. Algunos de estos compuestos se agregan a los plásticos durante la fabricación, mientras que otros se adsorben a los desechos plásticos del medio ambiente, siendo un vector de transporte para otros contaminantes. Estos productos químicos agregados incluyen monómeros, oligómeros, plastificantes (como el bisfenol-A (BPA)) y retardantes de llama (e. g. difeniléteres polibromados (PBDE)), mientras que los contaminantes absorbidos del medio ambiente incluyen metales pesados (como plata, cromo VI y níquel), bacterias, bifenilos policlorados (PCBs), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), hidrocarburos de petróleo (TPH), plaguicidas organoclorados (como DDT), algunos de estos considerados dentro del grupo de contaminantes orgánicos persistentes (POPs), que también se clasifican como sustancias persistentes bioacumulables y tóxicas (PBTs) (Thompson *et al.*, 2009; Koelmans, 2015; Selvam *et al.*, 2021).

La carga de microplásticos aumenta aún más en la costa, lo que refleja los aportes de la escorrentía terrestre y las partículas resuspendidas de los sedimentos después de las tormentas (Lusher, 2015). En la mayoría de los estuarios al encontrarse altamente poblados, convierten a estos como puntos de acceso de contaminantes por microplásticos. En los estuarios el agua del mar se mezcla con la entrada del agua fluvial, creando un gradiente ambiental, lo que genera que las partículas flotantes tienden a ser retenidas y concentradas cerca de este tipo de interfaces frontales. Esta dinámica se ve afectada por variables hidrodinámicas (mareas, caudales, salinidad, corrientes de circulación), climáticas (vientos y precipitaciones) y el tipo de ambiente deposicional (sedimento, morfología de la costa). La hidrodinámica particular de los estuarios favorece la generación de servicios ecosistémicos como el acceso a aguas costeras, agua para consumo, regulación del clima local y bienes de consumo como la pesca, ya que suelen ser zonas muy ricas y productivas biológicamente (Soledad, 2021).

Particularmente en el Golfo de México existe una explotación conjunta de 207 ecosistemas de lagunas costeras y estuarios. En México, corresponde al 45 % pesquerías de camarón, 90% producción de ostiones y 40% captura comercial de peces. Actualmente, todo el golfo aporta capturas pesqueras de más de 1 millón de toneladas por año. El Golfo de México es el Gran Ecosistema Marino (LME) número cinco de un total de más de 65 a nivel mundial denominado por el Programa de Mares Regionales de las Naciones Unidas, la NOAA y la UICN, con una batimetría, hidrografía y productividad biológica específica (Sánchez-Gil et al., 2019). El estado de Veracruz tiene una riqueza ecosistémica excepcional, su litoral a lo largo del Golfo de México es de 745 km, donde se encuentran extensas zonas inundables que albergan diferentes tipos de humedales (López-Vidal, 2014), zona emblemática para la conservación de humedales en el estado de Veracruz es el área natural protegida Arroyo Moreno (Méndez, 2013). La zona de manglares de Arroyo Moreno se encuentra ubicada en el área de influencia de la zona urbana de Boca del Río. Esta zona fue decretada como área natural protegida (ANP) bajo la categoría estatal de Zona Sujeta a Conservación Ecológica, el 25 de noviembre de 1999; con el objeto de servir como refugio a especies silvestres locales y migratorias que intervienen en el equilibrio ecológico del lugar (Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente, 2006). A pesar de que en 1999 se decretó como ANP, el manglar del Arroyo Moreno sigue sufriendo deterioro en su área de cobertura, así como en la calidad del ambiente ya que actualmente se encuentra rodeado por una zona urbana, como resultado del rápido desarrollo inmobiliario, siendo este el único pulmón arbóreo natural en una de las zonas conurbadas más importantes del estado de Veracruz, albergando gran número de especies de plantas, aves, mamíferos y crustáceos (Aké-Castillo *et al.*, 2016).

Incluso en áreas naturales protegidas y remotas, tanto de ambientes marinos como de agua dulce, se ha detectado la presencia de microplásticos, lo que hace que sus posibles efectos perniciosos sean un problema global (de Sá et al., 2018). Por ello es importante conocer a detalle la salud del ecosistema y conservación (Sánchez-Gil et al., 2019).

3.0 ANTECEDENTES

De los primeros estudios que evaluaron la presencia de microplásticos en estuarios, podemos encontrar a Phillips y Bonner (2015) quienes analizaron el contenido gastrointestinal de peces comparando entre arroyos urbanizados y no urbanizados encontrando un 8% de microplásticos y Wessel *et al.* (2016) que al analizar los sedimentos de un estuario en Texas encontraron en todos los puntos de muestreo microplásticos. Para muestras de agua, Di Mauro *et al.* (2017) estudiaron la plataforma continental de Louisiana, encontrando entre 4.8 -18.4 partículas m^{-3} , principalmente fibras.

En el 2017, Lusher *et al.* realizaron una revisión de los reportes globales de los microplásticos encontrados en ambientes de agua dulce y condiciones estuarinas, concluyendo que en Europa se han realizado la mayor cantidad de estudios (12), para Asia se encontraron 7 y en América alrededor de 11 estudios abarcando agua y sedimentos, sin embargo, solo Asia y América reportan

1 y 3 estudios enfocados en estuarios, respectivamente, donde únicamente dos de esos trabajos se enfocan en muestras de agua y son de la misma área de estudio (América, Goiana estuary).

Centrándose en estudios de campo que informen sobre la ingestión de microplásticos o sus efectos ecotoxicológicos en animales acuáticos, de Sá *et al.* (2018) revisaron 157 artículos; donde los tipos más comunes de microplásticos informados en la biota incluyen polietileno (PE) (17 %), polipropileno (PP) (14 %), poliamida (PA) (10 %) y poliestireno (PS) (9 %); la forma reportada es variada, fibras y fragmentos en el 23 y 21 % de los estudios, seguidos de esferas (11 %), película (8 %) y gránulos (4 %). Demostrando la presencia y consumo de microplásticos en diferentes ambientes.

Como se menciona anteriormente Europa es uno de los continentes con una gran cantidad de estudios sobre microplásticos, sin embargo, la investigación en los países de América Latina apenas ha comenzado y es limitada en regiones como Argentina, Brasil, Chile, Colombia y México. Kutralam-Muniasamy *et al.* (2020), han revisado 78 publicaciones mostrando que Brasil tiene la mayoría de los estudios publicados (27), seguido de México (12), Perú (10), Argentina (8), Colombia (7), Chile (4), Uruguay (3), Costa Rica (2) y Ecuador (2). La mayoría de estos trabajos están fuertemente enfocados en la contaminación en biota (46%), para ambientes marinos (31%) y para ambientes estuarinos (11%); dentro de estos, los estudios de aguas superficiales fueron mínimos en todos los ambientes en comparación con los sedimentos. Entre los estudios realizados en México, podemos encontrar estudios enfocados tanto en la biota, Borges-Ramírez *et al.* (2020) al analizar el tracto gastrointestinal en peces de la bahía de Campeche como en agua y sedimentos donde Narciso-Ortiz *et al.* (2020) analizaron muestras de agua y sedimentos en varias localidades de Veracruz, incluyendo el Río Jamapa y sedimentos de la playa en Boca del Río, encontrándose microplásticos en las muestras de agua de los ríos de entre 0.833 a 784 μm , sin embargo los estudios enfocados en estuarios siguen siendo limitados.

Para el caso del Golfo de México se han revisado las metodologías y resumido la distribución, acumulación, fuentes y composición de los microplásticos en estudios que cubren países como los EE. UU. (10) y México (4), sin embargo, aunque la concentración de microplásticos en el Golfo se encuentra entre las más altas encontradas en todo el mundo, la determinación de la contaminación por microplásticos sigue siendo un campo de investigación en crecimiento y las discrepancias metodológicas limitan en gran medida la posibilidad de establecer una información de referencia sobre la abundancia de microplásticos en el Golfo de México (Shruti *et al.*, 2021). Entre los estudios más integrales para estuarios que incluyen muestras de agua, sedimentos y tracto gastrointestinal de peces comerciales se encuentra el realizado por Sánchez-Hernández *et al.* (2021), reportando la presencia de microplásticos en tres diferentes temporadas climáticas (nortes, lluvias y secas) de un estuario en Tecolutla, Veracruz, dominando los microplásticos de color negro y azul, siendo todos fibras y según la temporada climática tanto en el agua como en los sedimentos la presencia de microplásticos fue alta durante los nortes asociado a los fuertes vientos.

La capacidad de los estuarios para atrapar grandes cantidades de desechos microplásticos fue demostrada por Biltcliff-Ward *et al.* (2022) al identificar 288 artículos que abarcan estudios de la

superficie, columna de agua y sedimentos, donde las categorías de fibras y fragmentos son las formas dominantes en la mayoría de los estudios, de los colores reportados, la mayoría fueron las fibras blancas, transparentes, negras y azules. Los polímeros identificados se alinean con los más comunes en uso, incluidos el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el tereftalato de polietileno (PET) y el cloruro de polivinilo (PVC). Los polímeros de baja y alta densidad se encontraron tanto en sedimentos como en aguas superficiales, sin embargo, los microplásticos eran significativamente mayor en los sedimentos que en el agua.

Específicamente para el estado de Veracruz, se han realizado muestreos de sedimentos en tres playas en Tuxpan (Franco y Macías, 2022) y en algunas lagunas como Mandinga, Tampamachoco, Alvarado y Laguna Verde (Núñez, 2022), y dentro de las más recientes se encuentra una de sedimentos en una playa de Tampico (Flores-Ocampo y Armstrong-Altrin, 2023), encontrándose predominancia de fibras para todos los casos.

4.0 OBJETIVOS

Objetivos Generales

- Evaluar la frecuencia y abundancia de microplásticos en las temporadas climáticas de secas, frentes fríos y lluvias a través de la comuna de agua del estuario Arroyo Moreno, municipio de Boca del Río, Veracruz.

Objetivos Particulares

- Describir la dinámica de los principales parámetros hidrológicos (salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales) a lo largo de las estaciones de muestreo y en las tres temporadas climáticas.
- Identificar el tipo de microplásticos en la columna de agua del Arroyo Moreno.
- Analizar la frecuencia y abundancia de cada tipo de microplástico tanto espacial como temporalmente.

5.0 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Área de estudio

El Arroyo Moreno se localiza en la llanura costera central del estado de Veracruz, atravesando los municipios de Medellín de Bravo y Boca del Río, en la cuenca del río Jamapa, que nace en la Sierra Madre Oriental, en las vertientes del Pico de Orizaba, esta área natural protegida posee una superficie decretada de 287-09-50 hectáreas, de las 400 que originalmente tenía, entre los 19° 05' y 19° 08' de latitud norte y los 96° 06' y 96° 09' de longitud oeste (Figura 2) (Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente, 2006). El clima de esta región es cálido subhúmedo Aw² (91.5%) con lluvias en verano, temperatura media anual mayor de 22°C y mínima de 18°C, la precipitación anual es de 1,500 a 2,000 mm, las lluvias más abundantes se presentan en junio y la época de nortes de septiembre a abril (García-Villar *et al.*, 2019; López-Portillo *et al.*, 2009). Las principales actividades socioeconómicas son el turismo, pesca (Figura 1), industria y ganadería, los tipos de vegetación que se pueden encontrar son popal (comúnmente por especies de *Heliconia* sp. y *Calathea* sp), selva baja caducifolia, vegetación de dunas costeras y vegetación halófila, las especies de mangle que se presentan son *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Avicennia germinans* (mangle negro), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo); dentro de la fauna representativa se encuentra *Bufo marinus* (sapo marino), *Lectodactylus melanonotos*, *Physalemus pustulosos*, *Centrolenella fleischmanni* (ranas), *Staurotypus triporcatus* (tortuga tres lomos), *Claudius angustatus* (tortuga chopontil), *Kinosternon leucostomum* (chachahua), *Crocodylus moreleti* (cocodrilo de pantano), *Leptophis ahaetulla* (culebra bejuquillo), *Pelecanus erythrorhynchos* (pelicano blanco), *Egretta alba* (garza blanca), *Pandion haliaetus* (águila pescadora), *Cardisoma guanhumi* (cangrejo azul) y *Phalacrocorax olivaceus* (pato buzo) (López-Portillo *et al.*, 2009).

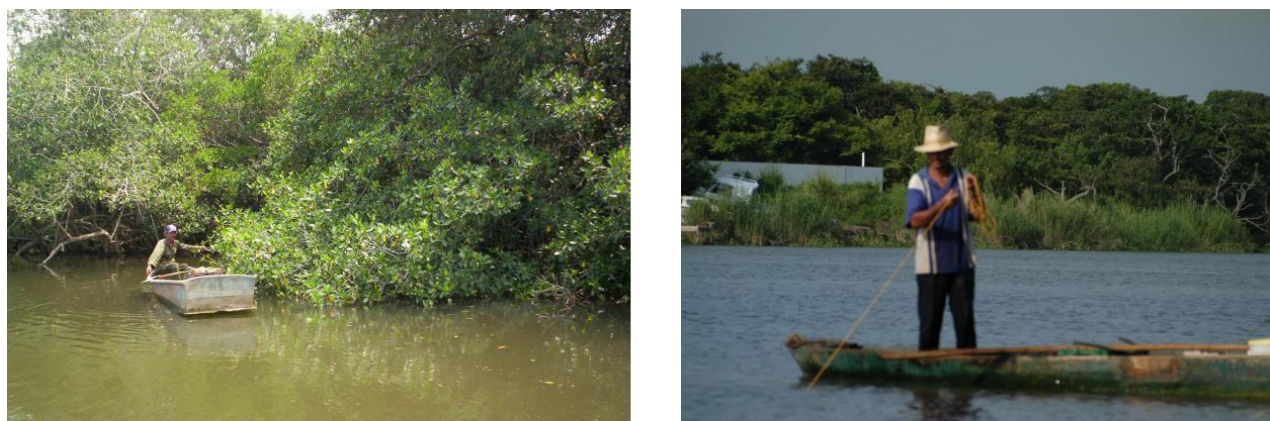


Figura 1. Pescadores en Arroyo Moreno, Boca del Río, Veracruz. Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente, 2006.



Figura 2. Reserva Natural Estatal de Arroyo Moreno, Boca del Río, Veracruz. Se presenta la ubicación de las estaciones de muestreo. Google Earth (2023).

5.2 Muestreo

Se realizaron tres muestreos a lo largo de un año, correspondiendo un muestreo para cada temporada climática, de acuerdo con Salas-Monreal *et al.* (2020), en el mes de Abril (secas), Junio (lluvias) y Noviembre (nortes); a lo largo del Arroyo Moreno desde su desembocadura con el río Jamapa hasta su intersección con el canal de la Zamorana, estableciéndose seis estaciones de muestreo, (E1) la boca del estuario, (E2) junto a la zona urbana, (E3) en medio de la zona protegida, (E4) en la intersección con el canal de la Zamorana, (E5) después y antes de la salida de agua de la termoeléctrica CFE Dos Bocas (E6) (Figura 2 y 3). En cada estación de muestreo se obtuvieron los parámetros hidrológicos de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad (UPS), pH y oxígeno disuelto (% saturación) con ayuda de un multiparámetro marca Hanna modelo HI9298194.

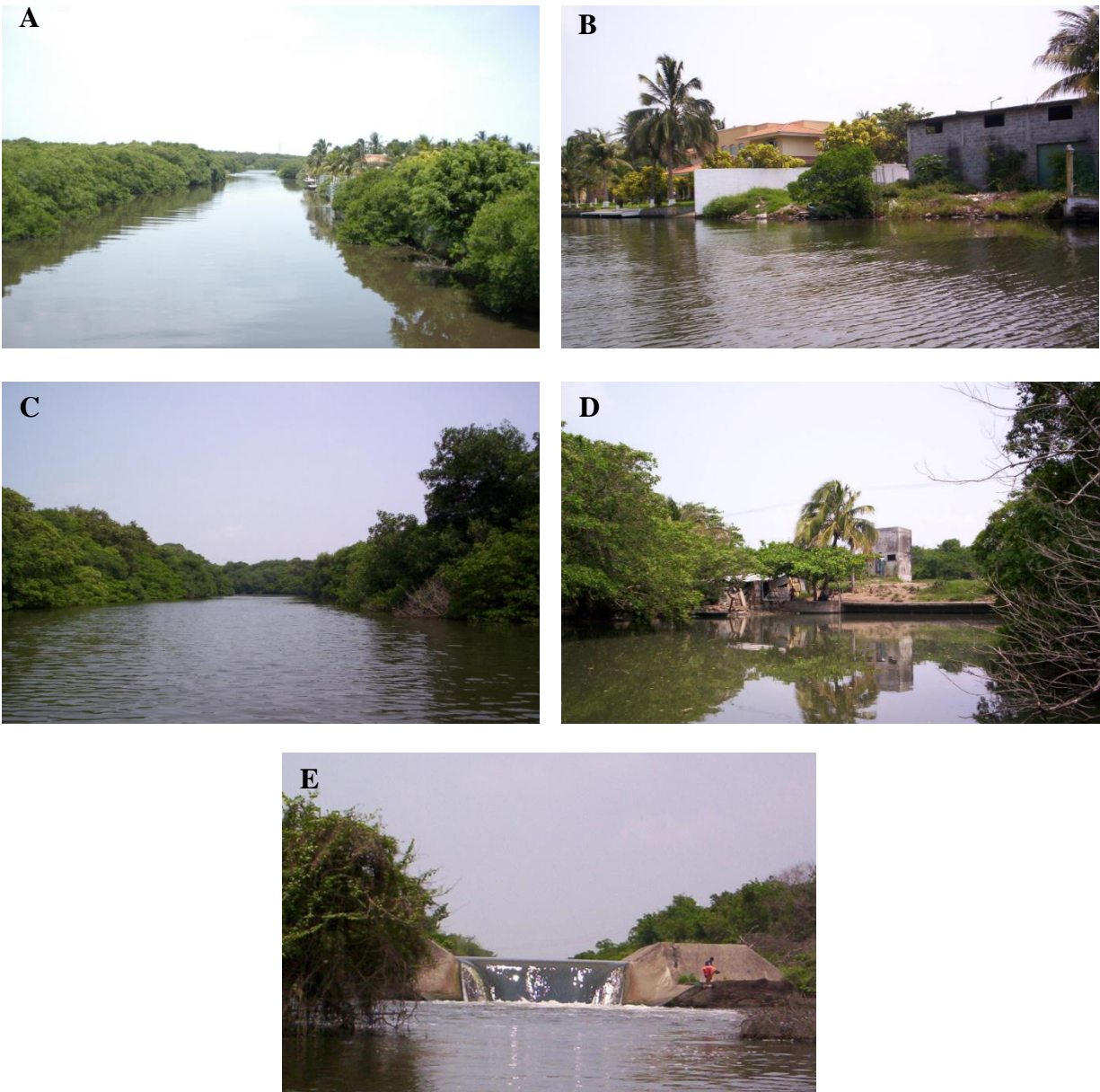


Figura 3. Registro fotográfico de (a) Boca del estuario, (b) Fraccionamiento colindante, (c) Área Natural Protegida, (d) Entrada al canal de la Zamorana y (e) Desembocadura de la termoeléctrica Dos Bocas. Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente, 2006.

La obtención de microplásticos de la columna de agua se realizó a través del uso de una red de zooplancton con malla de nylon de 300 micras de abertura de poro, aro de acero inoxidable de 50 cm de diámetro en la boca, 250 cm de largo y copo de PVC, con arrastres de cinco minutos a una velocidad de 1 nudo por hora, obteniéndose así una muestra de 500 litros por estación de muestreo. Las muestras se depositaron en frascos de plástico debidamente etiquetados, a los cuales se les agregó 20 ml de alcohol al 20% y se conservaron en refrigeración a 4 °C para su traslado al laboratorio (Figura 4) (Lima *et al.*, 2015; Löder y Gerdtts, 2015).



Figura 4. Arrastre con red de zooplancton y muestra en frasco de plástico debidamente etiquetado

5.3 Procedimiento de laboratorio

Para evitar fuentes de contaminación por microplásticos adicionales, se utilizó bata de laboratorio de algodón y material de vidrio, asimismo se limpió el área de trabajo durante el examen en el microscópico. De las muestras se tomaron alícuotas de 20 ml, se pasaron por una malla metálica de 380 micras para limpiar la muestra de materia orgánica, además de agregarle 1 ml de agua oxigenada (H_2O_2) al 30%, posteriormente se observaron en el microscopio estereoscópico marca ZEISS a un aumento de 40X y se separaron manualmente los microplásticos (Figura 5). Con ayuda del microscopio se identificaron y clasificaron manualmente los microplásticos en función de su morfología (fibras, microesferas, fragmentos), color y longitud, usando papel milimétrico como apoyo (Löder y Gerdt, 2015; Frias *et al.*, 2019) y se reportó la abundancia de los microplásticos para cada punto según su morfología (partículas L^{-1}).



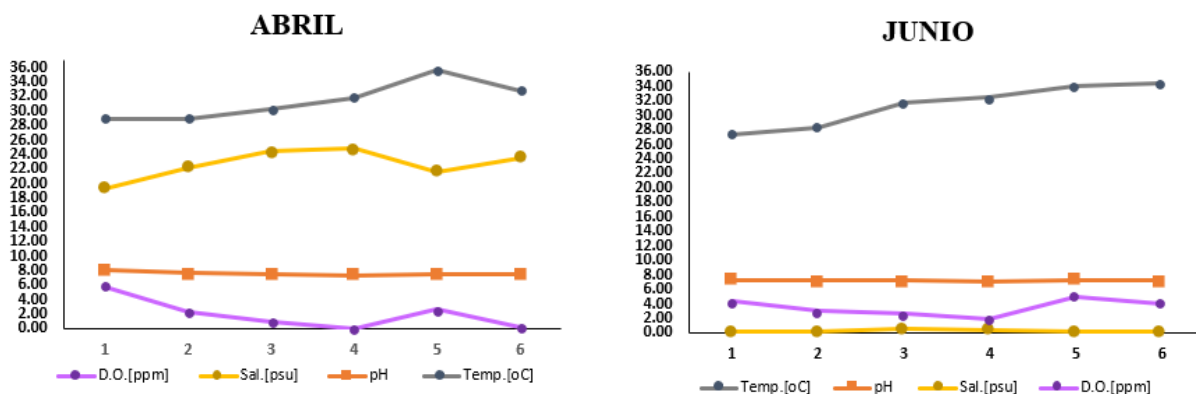
Figura 5. Filtrado con la malla metálica y observación en el microscopio

5.4 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de cada una de las muestras procesadas se obtuvieron tres lecturas (repeticiones) por cada una de las muestras, una vez obtenida la concentración de microplásticos por cada repetición, se ingresaron los datos al programa PAST para aplicarles la prueba de normalidad Shapiro-Wilks (Flores-Tapia y Flores-Cevallos, 2021). Aunado a lo anterior, se aplicó una prueba de ANOVA de dos factores entre las temporadas climáticas y las estaciones de muestreo para establecer si hay diferencias significativas, seguido por una prueba de Tukey con el fin de identificar entre que medias existen estas diferencias y finalmente prueba de regresión para analizar la relación de las condiciones hidrológicas con la presencia de microplásticos (Zar, 2010; García-Villalpando *et al.*, 2001; Spiegel, 1992). Por último, se obtuvo el índice de diversidad de Shannon tomando en cuenta el tipo de microplásticos y colores registrados por cada temporada climática y por estación de muestreo, ya que, al expresar la uniformidad de los valores, nos puede brindar información sobre la predominancia de los microplásticos según la característica estudiada (Moreno, 2001).

6.0 RESULTADOS

Se observan cambios en los parámetros hidrológicos entre los diferentes meses de muestreo confirmando las tres temporadas climáticas establecidas (Figura 6), durante el periodo de secas la salinidad varió entre 19.3-24.8 psu manteniéndose relativamente constante durante los puntos de muestreo y descendió drásticamente para la temporada de lluvias y nortes, siendo predominantemente agua dulce de entre 0.14-5.6 psu similar al comportamiento del pH con altos valores en el mes de abril, debido a temperaturas elevadas durante la temporada de secas y lluvias se puede observar una disminución de oxígeno disuelto mientras se aleja de la zona costera y aumenta al acercarse a la desembocadura de la termoeléctrica CFE Dos Bocas que oxigena el agua al salir (Figura 7), mostrando la dinámica hidrológica del Arroyo Moreno.



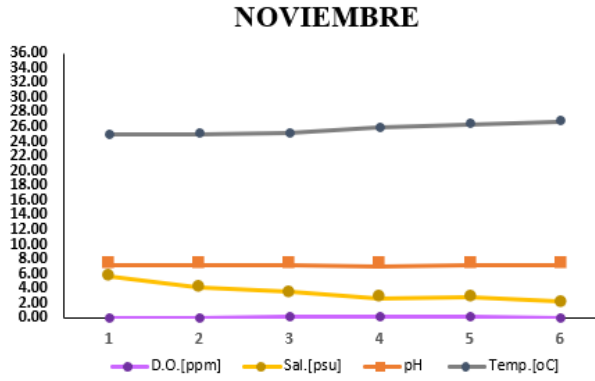


Figura 6. Resultados de parámetros hidrológicos de cada temporada climática

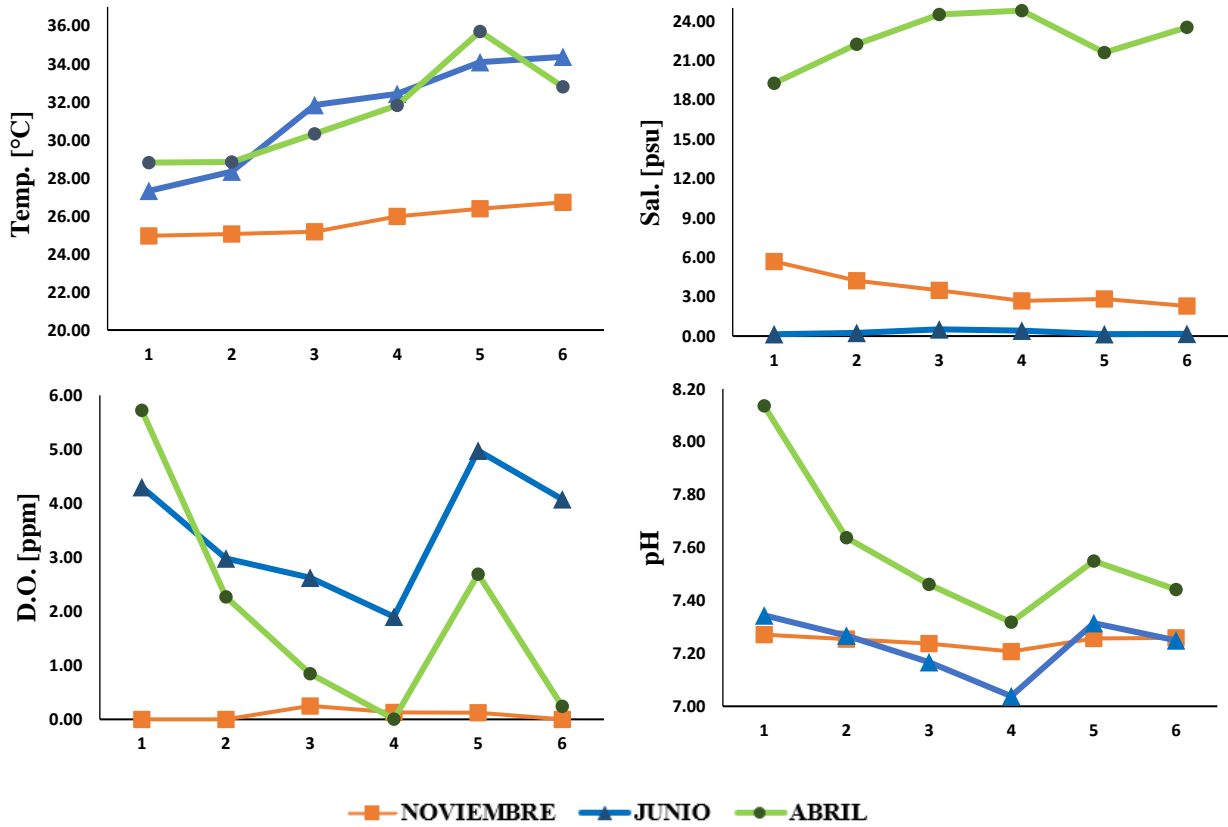


Figura 7. Parámetros hidrológicos promedio obtenidos por estación de muestreo para cada temporada climática.

En todas las muestras analizadas se encontraron microplásticos (Tabla1), predominando las fibras en un 94%, los fragmentos un 6 % y las microesferas se encontraron solo en 4 estaciones de muestreo (Figura 8 y 10), mayormente en el mes de junio (lluvias) y alrededor de la zona urbana, por lo que se consideraron apariciones incidentales resultado de la mezcla en la columna de agua propia de la temporada.

Tabla 1. Número total de tipo de microplásticos encontrados (No. de partículas L⁻¹): Fibras (Fb), Fragmentos (Fg) y Microesferas (Me), valor promedio (Prom.) y desviación estándar (D.E.) por estación y temporada climática.

| Mes/Temporada | Estación | No. partículas L ⁻¹ | | | Prom. | D.E. |
|-----------------------|----------|--------------------------------|-------|----|--------|--------|
| | | Fb | Fg | Me | | |
| Abril (secas) | 1 | 25217 | 383 | 0 | 12800 | 17560 |
| | 2 | 13583 | 1367 | 17 | 4989 | 7474 |
| | 3 | 15250 | 933 | 0 | 8092 | 10123 |
| | 4 | 7467 | 233 | 0 | 3850 | 5115 |
| | 5 | 7883 | 150 | 0 | 4017 | 5468 |
| | 6 | 3333 | 33 | 0 | 1683 | 2333 |
| Junio (lluvias) | 1 | 5283 | 600 | 17 | 1967 | 2887 |
| | 2 | 3167 | 350 | 17 | 1178 | 1730 |
| | 3 | 4917 | 83 | 17 | 1672 | 2810 |
| | 4 | 2617 | 150 | 0 | 1383 | 1744 |
| | 5 | 5733 | 1017 | 0 | 3375 | 3335 |
| | 6 | 3300 | 517 | 0 | 1908 | 1968 |
| Noviembre (nortes) | 1 | 1583 | 33 | 0 | 808 | 1096 |
| | 2 | 1267 | 0 | 0 | 1267 | |
| | 3 | 967 | 333 | 0 | 650 | 448 |
| | 4 | 1417 | 383 | 0 | 900 | 731 |
| | 5 | 1083 | 83 | 0 | 583 | 707 |
| | 6 | 750 | 100 | 0 | 425 | 460 |
| Total | | 104,817 | 6,750 | 67 | 37,211 | 58,643 |

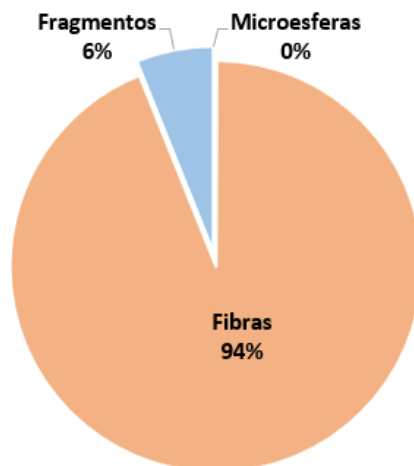


Figura 8. Porcentaje de microplásticos reportados por su morfología en la columna de agua del Arroyo Moreno.

El color de los microplásticos vario siendo el de mayor incidencia los microplásticos transparentes (65%) y azules (27%), también se encontraron colores como rosa (4%), verde, amarillo, blanco, morado, negro y naranja, pero en menor cantidad (Tabla 2) (Figura 9).

De acuerdo con su longitud, se encontraron microplásticos de entre 0.2 mm a 5 mm, sin embargo, la longitud promedio de fibras y fragmentos fue de 2 mm y todas las microesferas fueron de 0.5 mm (Tabla 3).

Tabla 2. Número total de color de microplásticos encontrados (No. de partículas L⁻¹): Fibras (Fb), Fragmentos (Fg) y Microesferas (Me), valor promedio (Prom.) y desviación estándar (D.E.) por estación y temporada climática.

| Mes/Temporada | Color | No. de partículas L ⁻¹ | | | Prom. | D.E. |
|--------------------|--------------|-----------------------------------|------|----|-------|-------|
| | | Fb | Fg | Me | | |
| Abril (secas) | Amarillo | 217 | 17 | 0 | 117 | 141 |
| | Azul | 18150 | 67 | 0 | 9108 | 12787 |
| | Morado | 483 | 17 | 0 | 250 | 330 |
| | Naranja | 67 | 0 | 0 | 67 | |
| | Negro | 200 | 167 | 0 | 183 | 24 |
| | Rojo | 17 | 17 | 0 | 17 | 0 |
| | Rosa | 1917 | 0 | 0 | 1917 | |
| | Transparente | 50717 | 2217 | 17 | 17650 | 28658 |
| | Blanco | 0 | 233 | 0 | 233 | 165 |
| | Verde | 1033 | 217 | 0 | 625 | 577 |
| | Café | 17 | 67 | 0 | 42 | 35 |
| Junio (lluvias) | Amarillo | 367 | 100 | 0 | 233 | 189 |
| | Azul | 8383 | 83 | 0 | 4233 | 5869 |
| | Morado | 67 | 33 | 0 | 50 | 24 |
| | Naranja | 50 | 0 | 0 | 50 | |
| | Negro | 67 | 17 | 0 | 42 | 35 |
| | Rosa | 1950 | 50 | 0 | 1000 | 1344 |
| | Transparente | 13867 | 1883 | 17 | 5256 | 7516 |
| | Blanco | 0 | 467 | 0 | 467 | |
| | Verde | 267 | 83 | 33 | 128 | 123 |
| Noviembre (nortes) | Amarillo | 117 | 83 | 0 | 100 | 24 |
| | Azul | 2583 | 133 | 0 | 1358 | 1732 |
| | Naranja | 0 | 33 | 0 | 33 | |
| | Negro | 17 | 17 | 0 | 17 | 0 |
| | Rosa | 183 | 67 | 0 | 125 | 82 |
| | Transparente | 4117 | 383 | 0 | 2250 | 2640 |
| | Blanco | 0 | 167 | 0 | 167 | |
| | Verde | 50 | 50 | 0 | 50 | 0 |

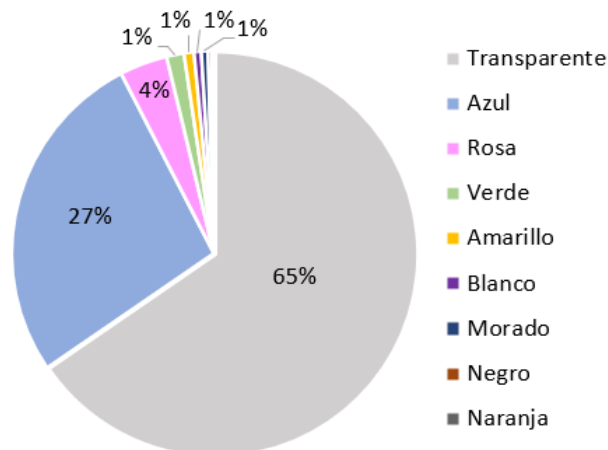


Figura 9. Porcentaje de microplásticos registrados por color en la columna de agua del Arroyo Moreno.

Tabla 3. Longitud promedio de microplásticos encontrados (Longitud): Fibras (Fb), Fragmentos (Fg) y Microesferas (Me), valor promedio (Prom.) y desviación estándar (D.E.) por estación y temporada climática.

| Mes/Temporada | Estación | Longitud (mm) | | | Prom. | D.E. |
|--------------------|----------|---------------|-----|-----|-------|------|
| | | Fb | Fg | Me | | |
| Abril (secas) | 1 | 2.3 | 2.3 | 0 | 2.3 | 0 |
| | 2 | 2.1 | 2.2 | 0.5 | 1.6 | 1 |
| | 3 | 2.1 | 1.8 | 0 | 1.9 | 0 |
| | 4 | 2.0 | 1.6 | 0 | 1.8 | 0 |
| | 5 | 2.1 | 2.4 | 0 | 2.2 | 0 |
| | 6 | 2.0 | 2.0 | 0 | 2.0 | 0 |
| Junio (lluvias) | 1 | 1.9 | 2.2 | 0.5 | 1.5 | 0.9 |
| | 2 | 2.1 | 2.9 | 0.5 | 1.8 | 1.2 |
| | 3 | 1.9 | 3.2 | 0.5 | 1.9 | 1.4 |
| | 4 | 1.9 | 2.3 | 0 | 2.1 | 0.3 |
| | 5 | 2.1 | 2.5 | 0 | 2.3 | 0.3 |
| | 6 | 2.2 | 2.4 | 0 | 2.3 | 0.2 |
| Noviembre (nortes) | 1 | 2.0 | 3 | 0 | 2.5 | 0.7 |
| | 2 | 1.7 | 0 | 0 | 1.7 | |
| | 3 | 1.9 | 1.9 | 0 | 1.9 | 0.0 |
| | 4 | 2.0 | 1.7 | 0 | 1.9 | 0.2 |
| | 5 | 2.1 | 2.6 | 0 | 2.4 | 0.3 |
| | 6 | 2.1 | 1.7 | 0 | 1.9 | 0.3 |
| Promedio total | | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 |

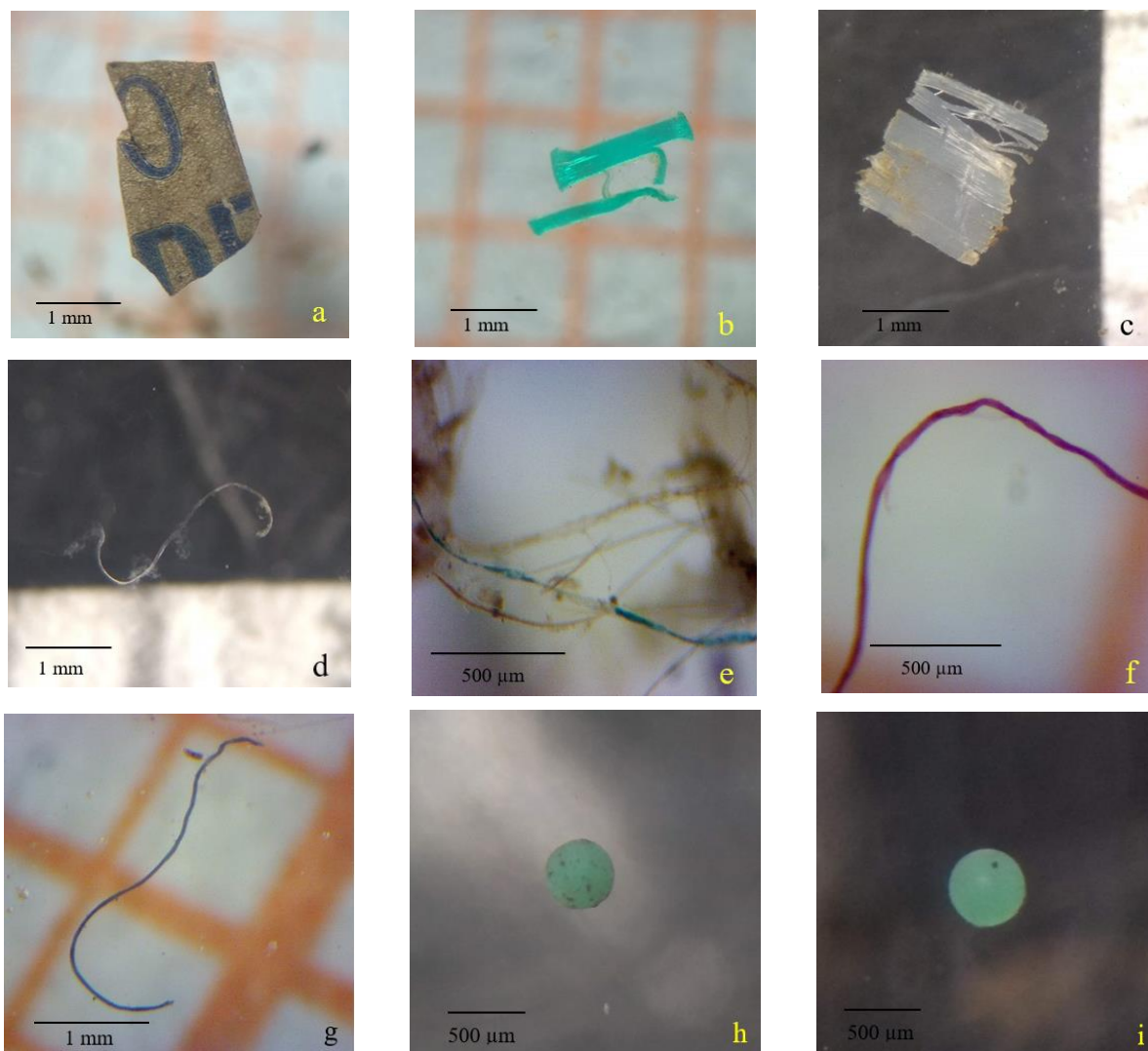


Figura 10. Imágenes obtenidas en microscopio estereoscópico (40x) de microplásticos encontrados en las muestras de agua: fragmentos irregulares (a, b, c); fibras de diferentes colores (d, e, f, g); microesferas (h, i).

Según los resultados, se observa que en la salida del Arroyo Moreno (estación 1) se concentró la mayor cantidad de fibras en las tres temporadas climáticas y el punto más alejado a la costa es el que presentó la menor cantidad (estación 6), en la presencia de los fragmentos la zona urbana (estación 2), el canal de la Zamorana (estación 4) y la salida de la termoeléctrica (estación 5) influyeron en el aumento de este microplástico para la temporada de lluvias y secas, sin embargo en la temporada de nortes la dinámica cambió siendo más abundantes en la zona protegida (estación 3) y en el canal de la Zamorana (estación 4), lo que puede explicarse por los fuertes vientos y mezcla de la columna de agua propia de la temporada climática, finalmente las microesferas solo se observaron en las estaciones uno, dos y tres, principalmente estación dos ubicada en la zona urbana en temporada de lluvias (Figura 11), en general las fibras son las que predominaron en todas las temporadas climáticas (Figura 12).

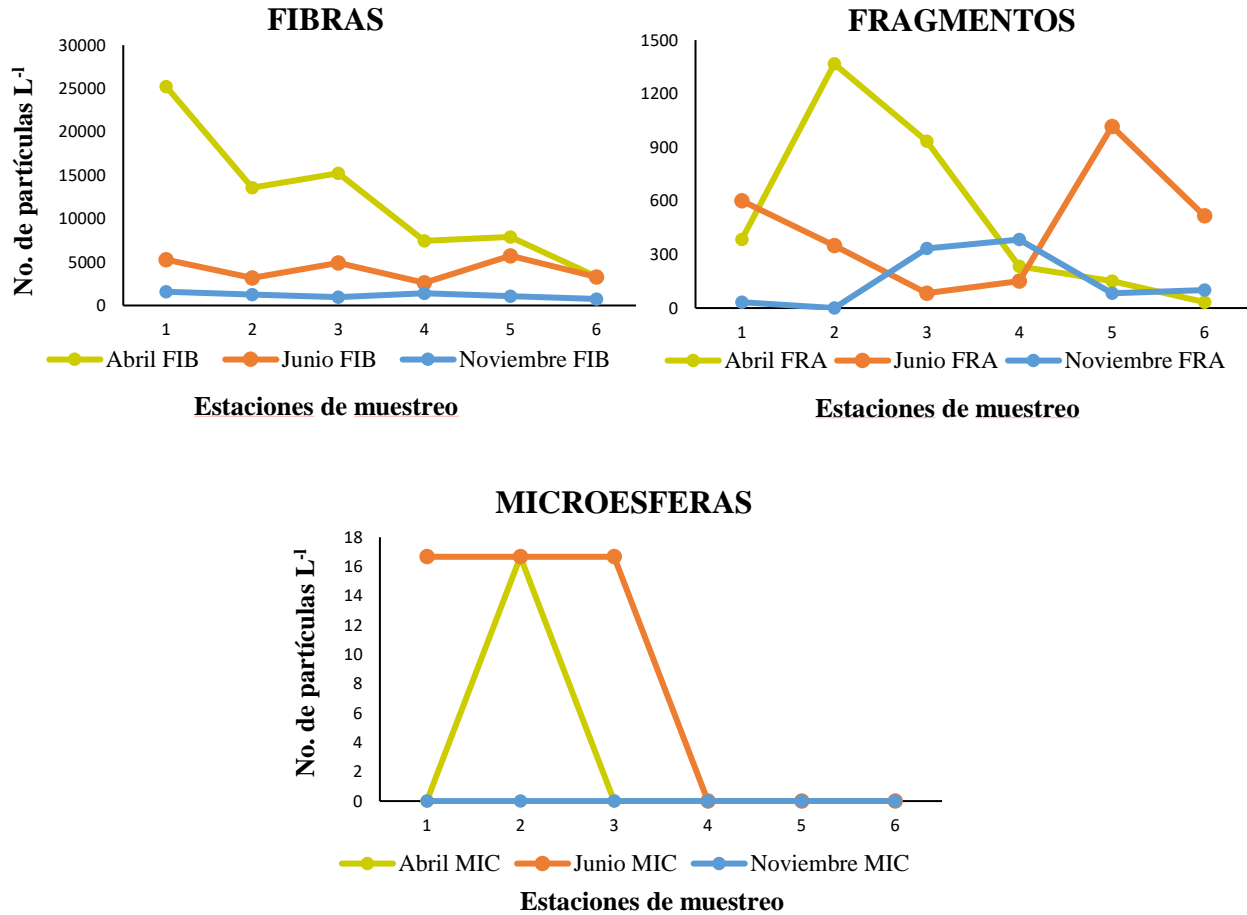


Figura 11. Abundancia de microplásticos (No. de partículas L⁻¹) según su morfología (fibras, fragmentos, microesferas) encontrados por cada temporada climática (abril, junio, noviembre) en la columna de agua del Arroyo Moreno.

La prueba de normalidad arrojó una p de 0.67 (Abril), 0.79 (Junio) y 0.89 (Noviembre), lo que indica que los datos presentan una distribución normal, al realizar la prueba de ANOVA se observó una p de 0.344 para las estaciones y 0.003 para las temporadas climáticas, lo que indica que hay diferencias significativas en la cantidad de microplásticos encontrados según la temporada climática en la que se encuentre, particularmente la prueba de Tukey mostró que la temporada de Abril muestra diferencias significativas contra Junio ($p = 0.02$) y Noviembre ($p=0.002$), mientras que entre Junio y Noviembre no se encontraron diferencias significativas ($p = 0.46$).

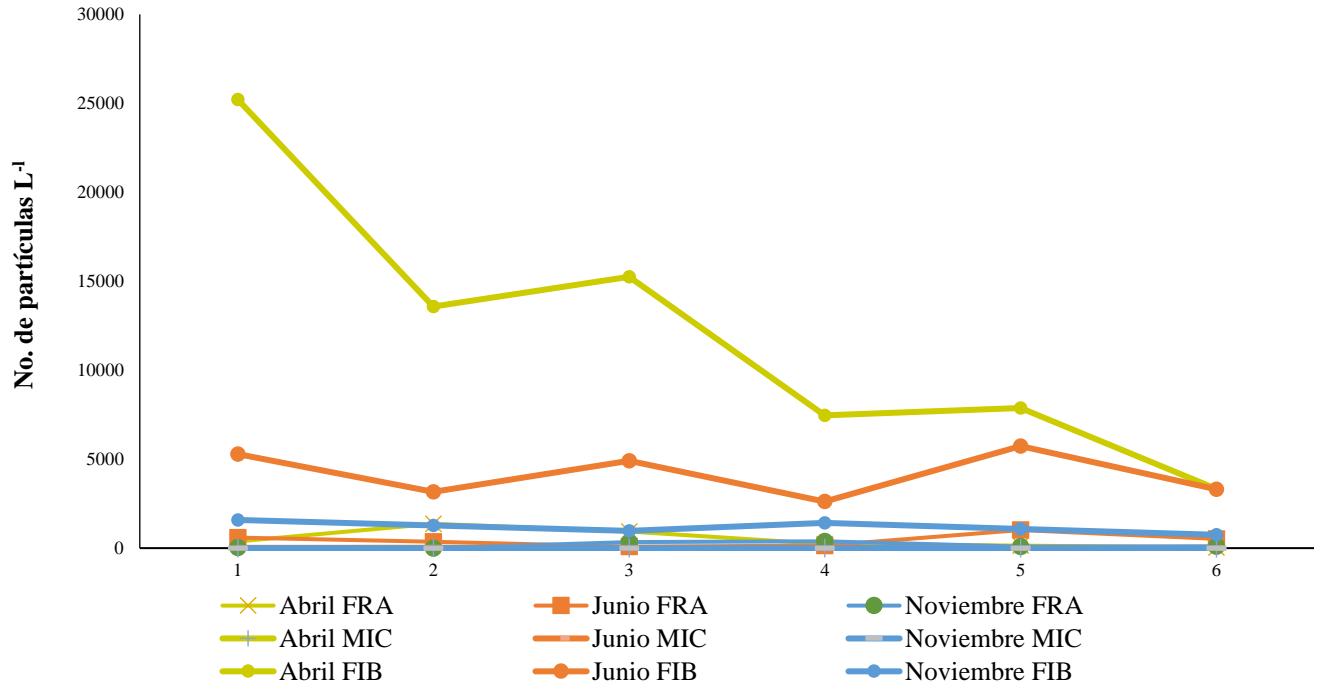
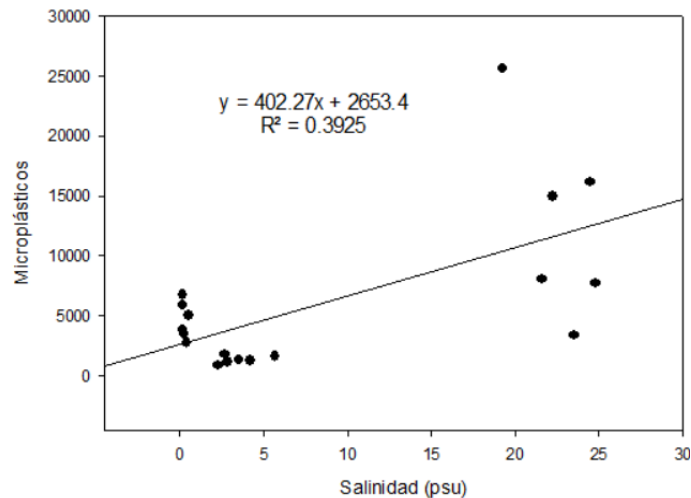


Figura 12. Conjunto de abundancias de microplásticos (No. de partículas L⁻¹) según su morfología (fibras, fragmentos, microesferas) encontrados por cada temporada climática (abril, junio, noviembre) en la columna de agua del Arroyo Moreno.

Al analizar el comportamiento de los microplásticos con las características hidrológicas presentes en el Arroyo Moreno, se observa una relación, aunque débil, entre estas variables ambientales y la presencia de microplásticos, particularmente la salinidad se considera una variable importante ya que determinara la densidad del agua y esta a su vez puede influir en la distribución de microplásticos en la columna de agua, el análisis de la salinidad con el total de microplásticos encontrados mostró una p de 0.005, sin embargo al analizar su relación con los microplásticos según su morfología, la distribución de las fibras fue la única en mostrar una relación con esta variable ($p = 0.0048$) (Figura 13).



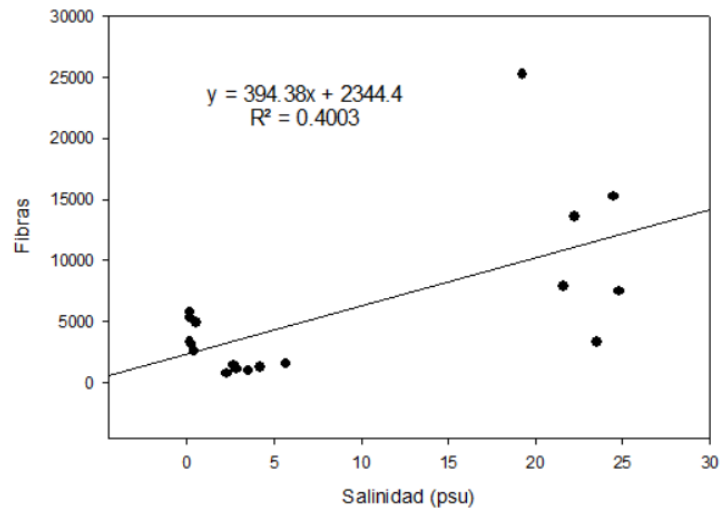


Figura 13. Relación entre la salinidad (psu)/ total de microplásticos encontrados y salinidad (psu)/ total de fibras encontradas, con línea de tendencia y ecuación correspondiente.

Al comparar las abundancias encontradas según el color, el índice de Shannon (Tabla 4) indica que en el mes de abril tuvo una ligera dominancia de microplásticos transparentes y azules, relacionándolo con la Tabla 2, mientras que en las otras dos temporadas climáticas muestra una mayor diversidad expresando que hubo una mayor similitud entre las abundancias de los diferentes colores de microplásticos. En cuanto a la morfología de microplásticos (fibras, fragmentos y microesferas) el índice de Shannon muestra que a pesar de tener un leve aumento en la diversidad en las temporadas de lluvias y nortes (Figura 14) con la diversidad más alta de 0.56, en todas las temporadas climáticas fueron predominantes las fibras (Tabla 1), en cuanto a los microplásticos encontrados por cada estación, en el punto uno y seis en la época de secas se presentó una menor diversidad, a partir de la estación cinco fue aumentando la diversidad hasta su punto más alto en la estación dos (0.314) y volvió a descender para la estación uno, en la época de lluvias los puntos uno, dos, cinco y seis mostraron la diversidad más alta para la temporada, relacionando estos datos a la influencia de la zona urbana y la salida de la termoeléctrica, mientras que en la temporada de nortes el punto dos no mostró diversidad al presentar solo fibras y el punto más alto en la estación tres, esta estación a pesar de no tener la mayor cantidad de microplásticos mostró una mayor similitud entre sus abundancias.

Tabla 4. Índice de Shannon de acuerdo con los colores encontrados en cada temporada climática

| Índice de diversidad según color de microplásticos por temporada climática | | | |
|--|--------|-------|-----------|
| | Abril | Junio | Noviembre |
| Shannon_H | 0.8657 | 1.118 | 1.059 |

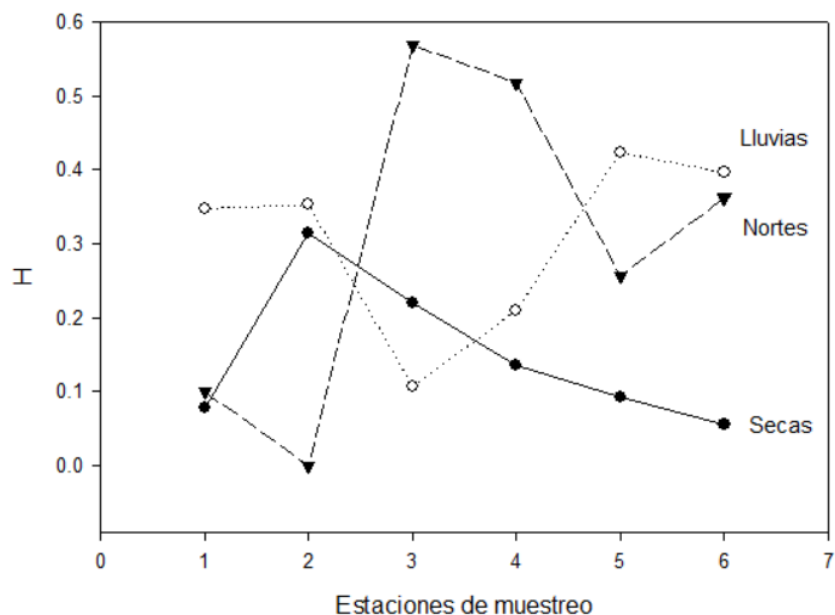


Figura 14. Índice de diversidad según morfología de microplásticos por temporada climática y estaciones de muestreo

7.0 DISCUSIÓN

La contaminación por plásticos en los ecosistemas acuáticos es una preocupación actual y mundial, siendo una amenaza para los ecosistemas y organismos, especialmente los ríos y estuarios son una vía de transporte clave para que los microplásticos ingresen a los océanos del mundo, a pesar de ello, el conocimiento sobre el destino de los desechos plásticos en los estuarios es limitado (Biltcliff-Ward *et al.*, 2022), incluyendo en el estado de Veracruz (Narciso-Ortiz *et al.*, 2020). Debido a la dinámica particular de cada sistema estuarino estos experimentan variaciones significativas en la acumulación de microplásticos, influenciados por características ambientales y por las bajas condiciones hidrodinámicas (Sánchez-Hernández *et al.*, 2021).

Salas-Monreal *et al.* (2020) reportaron las variaciones temporales de las condiciones ambientales del río Jamapa y su efluente el Arroyo Moreno, estableciendo que existen tres temporadas climáticas muy marcadas, la de nortes con frentes fríos y bajas temperaturas del agua, seguida de la temporada de secas, en la cual deja de llover, aumenta la salinidad y la temperatura, por lo tanto disminuye la oxigenación del agua, y la temporada de lluvias caracterizada por una gran descarga de agua dulce de los ríos, lo que concuerda con los parámetros hidrológicos reportados durante el presente trabajo.

En el Arroyo Moreno se encontraron densidades promedio de microplásticos que varían según la temporada climática, secas 12,642 partículas L^{-1} , lluvias 4,631 partículas L^{-1} y nortes 1,333 partículas L^{-1} , a pesar de la similitud de metodologías estos resultados fueron mayores a los

diversos estudios realizados por Soledad (2021) en el Río de la Plata, Argentina, por Zhao *et al.* (2014) en el estuario Yangtze, China, por Olivatto *et al.* (2019) en la bahía Guanabara, Brasil y por Sánchez-Hernández *et al.* (2021) en el río de Tecolutla, Veracruz, donde reportan microplásticos de entre 164 partículas m^{-3} , 4,137.3 partículas m^{-3} , 21.3 partículas m^{-3} y 191 partículas L^{-1} respectivamente, pero menores a los reportados por Lima *et al.* (2015) en el río Goiana, Brasil en donde se encontraron 26.1 partículas $100 m^{-3}$ de 0.58-3.88 mm. Incluyendo que Narciso *et al.* (2020) al realizar diferentes muestreos a lo largo de la costa de Veracruz, desde el río la Antigua hasta Boca del Río identificaron la presencia de plásticos, 29% microplásticos, de 784 μm aproximadamente en todos los ríos muestreados, incluyendo en el Río Jamapa, cuenca aledaña al Arroyo Moreno, determinando la zona susceptible a la contaminación por plásticos debido a su proximidad a una variedad de actividades humanas, aunque no mencionan específicamente la cantidad de microplásticos encontrados, demuestra la presencia de microplásticos en una zona aledaña al Arroyo Moreno.

Particularmente según su morfología en la mayoría de los estudios reportan una dominancia de fibras en sus áreas de estudio, específicamente Sánchez-Hernández *et al.* (2021) reportan 99% fibras y 0.5% fragmentos de 1.73 mm en promedio, Fernández-Severini *et al.* (2019) en el estuario Bahía Blanca, Argentina, reportan 98.5% fibras de 0.17 a 5 mm y Han *et al.* (2019) en el estuario Yellow River, China, con 93% fibras y 2.14% fragmentos de menos de 0.2 mm, similar a lo reportado en este trabajo con 94% fibras y 6% fragmentos, entre otros como Zhao *et al.* (2014) que además de mencionar que las fibras fueron predominantes, también menciona que las microesferas son el tipo de microplásticos menos frecuente. La predominancia de fibras es común en zonas donde ocurre la descarga de aguas residuales y practican actividades de pesca, como fibras textiles, cuerdas, líneas y redes de pesca, una vez en el medio ambiente, las fibras pueden alcanzar concentraciones de hasta miles de partículas por metro cúbico (Soledad, 2021; Fernández-Severini *et al.*, 2019), sin embargo, Olivatto *et al.* (2019) en la bahía Guanabara, Vidal *et al.* (2022) en la bahía de Buenaventura, Colombia y Zhang *et al.* (2019) en siete pequeños estuarios en Shanghai reportaron una mayor cantidad de fragmentos, 11 partículas/ m^3 , 62.2% y 96% respectivamente, lo cual se asoció a que el área de estudio está relacionada directamente a una región muy densamente poblada, sugiriendo la influencia de las zonas urbanas con la presencia de fragmentos, además, en la temporada de crecidas, los niveles de agua de los ríos de pequeña escala se pueden ver afectados por las mareas, que hacen flotar los microplásticos contenidos en los sedimentos del río (Yonkos *et al.*, 2014) y debido a su forma irregular inferirse que son de microplásticos secundarios (Vidal *et al.*, 2022).

El color es la característica menos descrita en los estudios siendo el color transparente el más reportado (Biltcliff-Ward *et al.*, 2022), pese a que sus características podrían influir en la absorción de microplásticos por la biota, como lo menciona Ory *et al.* (2017) donde al analizar muestras de Macarela mexicana (*Decapterus muroadsi*) en la Isla de Pascual encontraron microplásticos principalmente fragmentos azules similares en color y tamaño a las especies de copépodos azules consumidos por el mismo pez, sugiriendo que depredadores visuales están directamente expuestos a los microplásticos flotantes. En el presente estudio se encontró la predominancia de microplásticos transparentes (65%) y azul, el segundo más abundante (27%), lo que concuerda con

lo registrado por Han *et al.* (2019) mencionando que la mayoría de las fibras eran transparentes y por Zhao *et al.* (2014) (59% y 26% respectivamente) donde relacionan las fibras transparentes a hilo de pesca. También se encontraron fibras de otros colores que pueden estar asociadas a descargas de aguas residuales de origen doméstico como consecuencia del lavado de ropa (Brown *et al.*, 2011). Si bien las fibras transparentes pueden ser fabricadas así desde su origen o ser resultado de la degradación del color por su exposición al sol (Ruíz-Reyes *et al.*, 2023), ya que, durante las etapas avanzadas de degradación, los desechos plásticos generalmente se decoloran (GESAMP, 2015), lo anterior se relaciona a que en el presente trabajo se encontraron fibras que parecían ser azules, pero ya presentaban partes transparentes (Figura 10e). De cualquier forma, se utilizan comúnmente grandes cantidades de plásticos transparentes en redes, sedales de pesca, cuerdas de nylon de polifilamento azul y estos pueden perderse, desecharse inadecuadamente o dañarse durante su uso en el estuario (Dantas *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2019).

Además del color, otro de los factores que afecta la interacción de los microplásticos con los organismos en la columna de agua es el tamaño. Es probable que el tamaño y la densidad de los desechos plásticos determinen su posición vertical dentro de la columna de agua y también influyan en la medida en que se transportan (Brown *et al.*, 2010). Está establecido que los microplásticos son partículas de 1nm a 5 mm (GESAMP, 2015), no obstante, los microplásticos que se han encontrado interactuando con el zooplankton son de menor a 1 mm (Cole *et al.*, 2013), como lo ejemplifica Soledad (2021) en su trabajo, donde un intervalo de frecuencia de tamaño que coincide con los tamaños más comunes de los organismos del plancton es de 500 μm . Al igual que Zhang *et al.* (2019), quienes registraron el 95% de microplásticos con un intervalo de 0.02 a 2.53 mm, la longitud predominante en el presente estudio fue de 2 mm, a pesar de que no se encuentra dentro del intervalo para afectar al zooplankton, puede afectar a otros organismos de la cadena trófica.

Como se observa, dependiendo del tamaño, la forma y la densidad de la partícula, esta tendrá un comportamiento y será transportada de manera diferente en los cuerpos de agua, donde el flujo y las corrientes de aire fomentan este traslado (Horton y Dixon, 2017), lo que puede generar que los microplásticos depositados a lo largo del estuario se acumulen en la parte externa impulsados por la corriente y el viento, similar a lo observado en el Arroyo Moreno, en donde a lo largo de las estaciones de muestreo se observaron diferencias entre las abundancias de los microplásticos, mostrándose una mayor cantidad en la boca del estuario (estación 1) y la menor cantidad en la parte más interna del estuario (estación 6). Vidal *et al.* (2022) también reportan un aumento de microplásticos del estuario interno al externo de 197 595.2 a 287 924.4 partículas/km², relacionando los datos a que la densidad de los microplásticos puede ser menor acumulándose fácilmente en la superficie y ser retenidos por la influencia marina.

Además, es probable que el plástico tenga mayores tasas de fragmentación en áreas que experimentan una fuerte acción de las olas y abrasión por partículas de sedimento, si bien esto puede explicar la mayor abundancia de desechos microplásticos en sitios más expuestos hacia la desembocadura del estuario (Brown *et al.*, 2010). Sin embargo, por su ubicación en la zona conurbada de Veracruz, Boca del Río-Medellín, recibe agua pluvial, escurrimientos de aguas

residuales de la zona urbana, aguas residuales industriales, y lixiviados de un basurero clausurado y abandonado ubicado en el medio del manglar, cerca del canal de La Zamorana, otros casos puntuales son los drenajes de la colonia Miguel Alemán y el caudal proveniente de la planta termoeléctrica con una temperatura promedio de 34°C (Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente, 2006), lo que hace que la distribución de las abundancias de microplásticos no tenga un gradiente marcado, ya que a la salida del caudal de la planta termoeléctrica (estación 5), se vio un aumento de microplásticos y en medio del área protegida (estación 3). Pese a que el total de los microplásticos no mostró a la zona urbana (estación 2) con la mayor cantidad, si fue la que presentó mayor cantidad de fragmentos y microesferas al igual que Yonkos *et al.* (2014) que mencionan una correlación positiva entre las concentraciones de microplásticos y la densidad de población, obteniendo la mayor cantidad de microplásticos en la zona más poblada (563 g/km² con 550 personas/km²) y Zhang *et al.* (2019) mencionan que el punto con mayor cantidad de microplásticos (44.93 ítems L⁻¹), principalmente fragmentos (96%) está influenciada por la cercanía de las altas actividades humanas de la zona urbanizada.

Por lo tanto, procesos físicos como las mareas y vientos en zonas costeras pueden transportar, suspender o enterrar los microplásticos y afectar la distribución espacial y temporal de los mismos, tanto en el sedimento como en la columna de agua (Wu *et al.*, 2019). Como se muestra, las tendencias estacionales en abundancia pueden variar, dependiendo de la susceptibilidad del compartimento estuarino, la ubicación de la muestra, a la precipitación y al lavado y deposición de desechos como lo menciona Biltcliff-Ward *et al.* (2022) quienes al realizar un metaanálisis de la abundancia de microplásticos en estuarios, reportaron las diferencias que presentaban los estudios según el gradiente de mareas, la circulación y la estratificación que se puede presentar por las diferencias de agua dulce y salina, afectando la turbulencia, la mezcla, el transporte y la abundancia de microplásticos dentro del estuario, explicando así, que existen varios factores para que las abundancia de los microplásticos cambien en cada región.

Lima *et al.* (2015) observaron la interacción entre la temporada climática, el área de muestreo y la profundidad, encontrándose diferencias significativas para los tres factores, con microplásticos de 0.58-3.88 mm durante todo el año predominando en las aguas del fondo de la boca del estuario durante la última temporada de lluvias, sugiriendo que la estacionalidad y profundidad del estuario influirá en la distribución del plancton y los microplásticos en el mismo, lo cual concuerda con el presente trabajo, ya que se identificaron cambios en las concentraciones de microplásticos a lo largo de las temporadas climáticas. Algunos trabajos reportaron un aumento de microplásticos en la temporada de nortes o lluvias (Sánchez- Hernández *et al.*, 2021; Yonkos *et al.*, 2014; Vidal *et al.*, 2022; Lima *et al.*, 2015), debido a que las fuertes lluvias aumentan la cantidad de desechos plásticos que ingresan a los sistemas costeros, y los fuertes vientos, más la acción de las olas asociadas, crean una mezcla vertical dentro de la columna de agua que resuspende temporalmente los microplásticos de los sedimentos, además, las partículas de plástico por su superficie y pequeña masa, pueden flotar y ser transportadas con facilidad. Vidal *et al.* (2022) en la bahía de Buenaventura, Colombia, mencionan que solo encontraron pellets (0.4%) en la época de lluvia, similar a lo encontrado en el presente trabajo donde, la mayor cantidad de microesferas fue reportada en la temporada de lluvias, justificado por esta mezcla vertical de la columna de agua.

En el caso particular del Arroyo Moreno, la mayor cantidad de microplásticos se encontraron en la temporada de secas, igual a lo reportado por Costa *et al.* (2011) (22.25 partículas/m³), lo que sugiere que las precipitaciones pueden afectar el transporte de microplásticos hacia los hábitats costeros, Han *et al.* (2019) al estudiar la distribución de los microplásticos en el agua superficial del estuario Yellow River, China, mencionan que algunos sistemas estuarinos pueden contener mayores cantidades de plástico durante la estación seca, en este caso 930 partículas L⁻¹, potencialmente debido a la reducción del flujo del río, igual que Li *et al.* (2023) en un río urbano en Guangzhou, China, quienes encontraron que a través del área urbana, los microplásticos aumentaban en la estación de secas (4.21 partículas m⁻³) por el gran aporte de extensas actividades antropogénicas y al lento caudal de agua en las zonas urbanas. Lo que indica que las precipitaciones pueden afectar el transporte de microplásticos dentro o fuera de los hábitats costeros (Soledad, 2021).

Este comportamiento se puede explicar al considerar que en temporada de secas no hay altas precipitaciones, pero los escurrimientos de aguas residuales de la zona urbana y otras fuentes de microplásticos alrededor del arroyo continúan, además, los regímenes de mareas de los estuarios también pueden facilitar el transporte de microplásticos desde las aguas marinas al canal del estuario (Biltcliff-Ward *et al.*, 2022) y estos frentes de salinidad de las aguas marinas pueden actuar como una barrera para la acumulación de plásticos (Acha *et al.*, 2003; Lima *et al.*, 2015). Un ejemplo de esto es que Lima *et al.* (2015) reportaron que los microplásticos presentaron las densidades más bajas en el estuario medio (2.1 partículas 100 m⁻³), y estuvieron bien representados en el estuario superior e inferior (6.5 y 17.5 partículas 100 m⁻³, respectivamente), justificado por el encuentro de las riberas.

Un estuario se caracteriza por marcados gradientes de salinidad horizontales y verticales, el agua menos densa (pluvial) y por lo tanto más ligera, fluye fuera del estuario en la parte superficial y un flujo más profundo trae agua del mar al estuario (Acha *et al.*, 2003). Es decir, en las temporadas de lluvias y nortes, el Arroyo Moreno presentó una salinidad promedio de 0.27 y 3.53 psu respectivamente, lo que demuestra la carga de agua pluvial en el estuario, que a su vez pudo permitir el desplazamiento de los microplásticos al mar, y en la época de secas la salinidad promedio fue de 23 psu, manteniéndose similar a lo largo de todo el estuario, lo que muestra la influencia del agua marina en el estuario que pudo facilitar la acumulación de microplásticos en el mismo.

Una propiedad clave que influye en el comportamiento de los plásticos es la densidad con respecto a la densidad del agua de mar. Los objetos que contienen un vacío, como una botella, tenderán a flotar inicialmente, pero una vez que los objetos pierden su integridad, es la densidad del plástico la que determinará si los objetos flotan o se hunden (GESAMP, 2015). Como se sabe la salinidad tiene un papel clave para determinar la densidad del agua y así influir en la distribución de los microplásticos en la columna de agua (Biltcliff-Ward *et al.*, 2022), Han *et al.* (2019) hacen una breve suposición al mencionar que los puntos con un aumento de microplásticos pudieron deberse al aumento de la salinidad y densidad del agua por la marea, siguiendo ese planteamiento, se realizó una prueba para determinar si existía una relación con esta variable y la presencia de

microplásticos, a pesar de mostrar una relación estadísticamente significativa ($p < 0.05$) el valor de correlación ($R^2 = 0.39$) mostró que las variables no se mueven de manera tan similar, por lo tanto podría decirse que los microplásticos se desplazan siguiendo el movimiento principal del agua, estando estrictamente asociado a la salida/entrada al estuario de acuerdo a la temporada climática más que a la variación propia de las variables hidrológicas como la salinidad.

8.0 CONCLUSIÓN

Los estuarios son fuentes importantes de microplásticos (1nm – 5mm) para el medio marino y se han convertido en un problema actual. Con su dinámica particular, la abundancia de microplásticos en la columna de agua variará de acuerdo con variables hidrodinámicas, climáticas y el tipo de ambiente deposicional, así como a la resuspensión de plásticos que ya se encuentran en sistemas acuosos. Dentro de su morfología es evidente que las fibras son uno de los rubros más importantes y se confirma que la pesca es una fuente clave para el ingreso de microplásticos al ambiente.

El Arroyo Moreno presentó microplásticos en todas las muestras de agua, fibras predominantemente, de color transparente y con 2 mm de longitud, teniendo una predominancia en la temporada de secas, influenciado por la reducción del flujo del estuario y un flujo más profundo del mar al estuario, en la temporada de lluvias y nortes se observa que el alto flujo de agua pluvial facilita la salida de microplásticos del estuario al mar y este permite la resuspensión de microplásticos como microesferas, ya que se presentaron en mayor cantidad en esta temporada. El canal proveniente de la planta termoeléctrica CFE Dos Bocas mostró tener un impacto en la cantidad de microplásticos que entran al estuario, así como la zona urbana al presentar el mayor número de fragmentos y microesferas. Sin embargo, a pesar de que no se mostró una fuerte correlación con las variables hidrológicas la descarga de agua pluvial si influye en el acumulamiento de los microplásticos a lo largo del estuario.

Estos ecosistemas necesitan ser estudiados y preservados con mayor detalle, ya que a través de éstos ingresan la mayoría de MP al medio marino.

9.0 LITERATURA CITADA

- Auta, H. S., Emenike, C. U. & Fauziah, S. H. 2017. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, 102, 165–176.
- Acha, E. M., Mianzan, H. W., Iribarne, O., Gagliardini, D. A., Lasta, C., & Daleo, P. 2003. The role of the Río de la Plata bottom salinity front in accumulating debris. *Marine Pollution Bulletin*, 46(2), 197–202. doi:10.1016/s0025-326x(02)00356-9

- Aké-Castillo, J. A., Rodríguez-Gómez, C. F. & Buendía, A. L. 2016. Arroyo Moreno: Un Manglar en la Ciudad. *Ciencia y Luz*, Universidad Veracruzana. Dirección General de Difusión Cultural. <http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/48553>
- Azuz-Adeath, I. 2019. Procesos y Ciclos de la Costa. In: Rivera-Arriaga, E., P. Sánchez-Gil y J. Gutiérrez (Eds.). *Tópicos de Agenda para la Sostenibilidad de Costas y Mares Mexicanos*. Universidad Autónoma de Campeche, pp. 181-193
- Biltcliff-Ward, A., Stead, J. L. and Hudson, M. D. 2022. The estuarine plastics budget: A conceptual model and meta-analysis of microplastic abundance in estuarine systems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 275, 107963. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.107963>
- Borges-Ramírez, M. M., Mendoza-Franco, E. F., Escalona-Segura, G., & Osten, J. R. 2020. Plastic density as a key factor in the presence of microplastic in the gastrointestinal tract of commercial fishes from Campeche Bay, Mexico. *Environmental Pollution*, 267, 115659. doi:10.1016/j.envpol.2020.115659
- Browne, M. A., Galloway, T. S., & Thompson, R. C. 2010. Spatial Patterns of Plastic Debris along Estuarine Shorelines. *Environmental Science & Technology*, 44(9), 3404–3409. doi:10.1021/es903784e
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. 2011. Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9175–9179. doi:10.1021/es201811s
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. & Galloway, T. S. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2588–2597.
- Costa, M.F.; Silva-Cavalcanti, J.S. & Barletta, M., 2011. Plastics buried in the inter-tidal plain of an estuarine system. *Journal of Coastal Research*, SI 64 (Proceedings of the 11th International Coastal Symposium), 339-343. Szczecin, Poland, ISSN 0749-0208
- Dantas, D.V., Barletta, M. & da Costa, M.F. 2012. The seasonal and spatial patterns of ingestion of polyfilament nylon fragments by estuarine drums (Sciaenidae). *Environ Sci Pollut Res* 19, 600–606. <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0579-0>
- De Sá, L. C., Oliveira, M., Ribeiro, F., Lopes, T. & Norman, M. 2018. Review Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: What do we know and where should we focus our efforts in the future?. *Science of the Total Environment*, 645, 1029–1039.
- Di Mauro, R., Kupchik, M. J., & Benfield, M. C. (2017). Abundant plankton-sized microplastic particles in shelf waters of the northern Gulf of Mexico. *Environmental Pollution*, 230, 798–809. doi:10.1016/j.envpol.2017.07.030
- Escobar-Condor, E. W., Izquierdo-Villasante, Y., Macedo-Riva, A., Remuzgo-Panduro, G., & Huiman Cruz, A. 2020. Impacto de la ingesta de residuos plásticos en peces. *Revista*

Kawsaypacha: Sociedad Y Medio Ambiente, (4), 79-92.
<https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.201902.004>

- Fernández-Severini, M. D., Villagran, D. M., Buzzi, N. S., & Chatelain, S. G. 2019. Microplastics in oysters (*Crassostrea gigas*) and water at the Bahía Blanca Estuary (Southwestern Atlantic): An emerging issue of global concern. *Regional Studies in Marine Science*, 100829. doi:10.1016/j.rsma.2019.100829
- Flores-Ocampo, I. Z. & Armstrong-Altrin, J. S. 2023. Abundance and composition of microplastics in Tampico beach sediments, Tamaulipas State, southern Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 191, 114891. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114891>
- Flores-Tapia, C. E. y Flores-Cevallos, K. L. 2021. Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos: Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk y Kolmogórov-Smirnov. *Societas. Revista de Ciencias Sociales y Humanísticas*, 23(2), 83-97.
- Franco, F. Y. y Macías, M. K. 2022. Tipos de microplásticos presentes en tres playas del municipio de Tuxpan, Veracruz. Tesis de Ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache, México. 46 p.
- Frias, J., Filgueiras, A., Gago, J., Pedrotti, M., Suaria, G., Tirelli, V., Andrade, J., Nash, R., O'Connor, I., Lopes, C., Caetano, M., Raimundo, J., Carretero, O., Viñas, L., Antunes, J., Bessa, F., Sobral, P., Goruppi, A., Aliani, S., & Gerdts, G. 2019. Standardised protocol for monitoring microplastics in seawater. *Microplastics Analyses in European Waters*. 10.13140/RG.2.2.14181.45282
- García-Villalpando, J. A., Castillo-Morales, A., Ramírez-Guzmán, M. E., Rendón-Sánchez, G. & Larqué-Saavedra, M. U. 2001. Comparación de los procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, HSU y Bechhofer para selección de medias. *Agrociencias*, 35(1), 79-86.
- García-Villar, A. M., Montoya-Mendoza, J., & Chávez-López, R. 2019. Historical approach of the fish species composition in arroyo moreno, veracruz, mexico. *BIOCYT Biología Ciencia Y Tecnología*, 12(45-48). <https://doi.org/10.22201/fesi.20072082.2019.12.72323>
- GESAMP. 2015. "Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment" (Kershaw, P. J., ed.). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 p.
- GESAMP. 2016. "Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment" (Kershaw, P.J., and Rochman, C.M., eds). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 93, 220 p.
- Han, M., Niu, X., Tang, M., Zhang, B.-T., Wang, G., Yue, W., ... Zhu, J. 2019. Distribution of microplastics in surface water of the lower Yellow River near estuary. *Science of The Total Environment*, 135601. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135601

- Horton, A. A., & Dixon, S. J. 2017. Microplastics: An introduction to environmental transport processes. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 5(2), e1268. doi:10.1002/wat2.1268
- Koelmans, A. 2015. Modeling the Role of Microplastics in Bioaccumulation of Organic Chemicals to Marine Aquatic Organisms. A Critical Review. In: Bergmann, M., Gutow, L. and K. Michael (Eds.). *Marine Anthropogenic Litter*. Springer Open, pp. 309-324. DOI 10.1007/978-3-319-16510-3_11
- Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., & Shruti, V. C. 2020. Review of current trends, advances and analytical challenges for microplastics contamination in Latin America. *Environmental Pollution*, 267, 115463. doi:10.1016/j.envpol.2020.115463
- Löder, M. and Gerdts, G. 2015. Methodology Used for the Detection and Identification of Microplastics—A Critical Appraisal. In: Bergmann, M., Gutow, L. and K. Michael (Eds.). *Marine Anthropogenic Litter*. Springer Open, pp. 201-227. DOI 10.1007/978-3-319-16510-3_8
- López-Portillo, J.; L. R. Gómez; A. L. Lara-Domínguez; A. Ávila-Ángeles y A. D. Vázquez-Lule. Caracterización del sitio de manglar Arroyo Moreno, en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2009. Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F
- López-Vidal, A. 2014. *Educación Ambiental No Formal en Humedales con algún tipo de Impacto Antropogénico en Veracruz: Una propuesta de diseño*. Tesis de Maestría en Gestion Ambiental para la Sustentabilidad, Universidad Veracruzana. 156 p.
- Li, T., Liu, K., Tang, R., Liang, J. R., Mai, L., & Zeng, E. Y. (2023). Environmental fate of microplastics in an urban river: Spatial distribution and seasonal variation. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 322, 121227. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121227>
- Lima, A.R.A., Barletta, M., & Costa, M. F. 2015. Seasonal distribution and interactions between plankton and microplastics in a tropical estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 165, 213-225. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.05.018>
- Lusher, A. 2015. Microplastics in the Marine Environment: Distribution, Interactions and Effects. In: Bergmann, M., Gutow, L. and K. Michael (Eds.). *Marine Anthropogenic Litter*. Springer Open, pp. 245-307. DOI 10.1007/978-3-319-16510-3_10
- Lusher, A. L., Hollman, P. C.H. & Mendoza-Hill, J.J. 2017. *Microplastics in fisheries and aquaculture: Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety*. FAO Documento técnico de pesca y acuicultura. Roma, Italia, (615): 140 p.
- Médez, A. 2013. *Análisis del estado actual de conservación del área natural protegida Arroyo Moreno, (Boca del Río, Veracruz), bajo un enfoque de intervención ecológica*. Tesis de Maestría en Ecología Tropical, Universidad Veracruzana. 88 p.

- Moreno, C. E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- Napper, I. E. & Thompson, R. C. 2020. Plastic Debris in the Marine Environment: History and Future Challenges. *Global Challenges*, 4(6), 9. <https://doi.org/10.1002/gch2.201900081>.
- Narciso-Ortiz, L., Coreño-Alonso, A., Mendoza-Olivares, D., Lucho-Constantino, C. A., & Lizardi-Jiménez, M. A. 2020. Baseline for plastic and hydrocarbon pollution of rivers, reefs, and sediment on beaches in Veracruz State, México, and a proposal for bioremediation. *Environmental Science and Pollution Research*. doi:10.1007/s11356-020-08831-z
- Núñez, D. L. 2022. Identificación y caracterización de microplásticos en sedimentos y organismos de cuatro lagunas costeras de Veracruz, México. Tesis de Licenciatura, Ciencias de la Tierra, UNAM, México. 50 p.
- Olivatto, G. P., Martins, M. C. T., Montagner, C. C., Henry, T. B., & Carreira, R. S. 2019. Microplastic contamination in surface waters in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 139, 157–162. doi:10.1016/j.marpolbul.2018.12.042
- Ory, N. C., Sobral, P., Ferreira, J. L., & Thiel, M. 2017. Amberstripe scad *Decapterus muroadsi* (Carangidae) fish ingest blue microplastics resembling their copepod prey along the coast of Rapa Nui (Easter Island) in the South Pacific subtropical gyre. *Science of The Total Environment*, 586, 430–437. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.01.175
- Pascual, M., Barral, M. P., Poca, M., Pessag, N., García Silva, L., Albariño, R., Romero, M. E., & Jobbágy, E. G. 2022. Ecosistemas acuáticos continentales y sus servicios: Enfoques y escenarios de aplicación en el mundo real. *Ecología Austral*, 32(1-bis), 195–212. <https://doi.org/10.25260/EA.22.32.1.1.1290>
- Pérez, J. G. 2014. La industria del plástico en México y el mundo. *Comercio exterior*, 64(5), 6.
- Phillips, M. B. & Bonner, T. H. 2015. Occurrence and amount of microplastic ingested by fishes in watersheds of the Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 100, 264–269. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.08.041>
- Ruíz-Reyes, C.I.; Lango-Reynoso, F.; Castañeda-Chávez, M.d.R.; Moran-Silva, A. 2023. Microplastics on Beaches in the Nautla-Vega de Alatorre Turtle Nesting Area, Veracruz. *Microplastics*, 2, 230–241. <https://doi.org/10.3390/microplastics2030019>
- Salas-Monreal, D., Díaz-Hernández, A., Áke-Castillo, J. A., Granados-Barba, A. y Riverón-Enzástiga, M. L. 2020. Variación anual de los parámetros hidrográficos en la confluencia del río Jamapa y arroyo Moreno (México). *Intropica*, 15, (1), 59–65. <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.3402>
- Sánchez-Gil, P., Day, J. W. y Yáñez-Arancibia, A. 2019. Eco-Diversidad: Enfoque Ecosistémico Costero Marino. In: Rivera-Arriaga, E., P. Sánchez-Gil y J. Gutiérrez (Eds.). Tópicos de

Agenda para la Sostenibilidad de Costas y Mares Mexicanos. Universidad Autónoma de Campeche, pp. 1-23

- Sánchez-Hernández, L. J., Ramírez-Romero, P., Rodríguez-González, F., Ramos-Sánchez, V. H., Márquez Montes, R. A., Romero-Paredes Rubio, H., Sujitha, S. B., & Jonathan, M. P. 2021. Seasonal evidences of microplastics in environmental matrices of a tourist dominated urban estuary in Gulf of Mexico, Mexico. *Chemosphere*, 277, 130261. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130261>
- Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente. 2006. Programa de Manejo del Área Natural Protegida “Arroyo Moreno”. *Registro Estatal de Espacios Naturales Protegidos*, 10, 103 p.
- Selvam, S., Jesuraja, K., Venkatramanan, S., Priyadarsi, D. R. & Jeyanthi, V. 2021. Hazardous microplastic characteristics and its role as a vector of heavy metal in groundwater and surface water of coastal south India. *Journal of Hazardous Materials*, 402, 123786. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123786>
- Shruti, V.C., Pérez-Guevara, F. & Kutralam-Muniasamy, G. 2021. The current state of microplastic pollution in the world's largest gulf and its future directions. *Environmental Pollution*, 291, 118142. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118142>
- Soledad, R. 2021. *Estudio de microplásticos en la columna de agua, sedimento intermareal y biota residente en la costa del estuario del Río de la Plata (Franja Costera Sur)*. Tesis de Doctorado en Ciencias Naturales, Universidad Nacional de La Plata y la Facultad de Ciencias Naturales y Museo. 225 p.
- Spiegel, M. R. 1992. Correlación múltiple y parcial. In: Estadística. 2nd. McGrawHill. USA
- Thompson, R. C., Moore, C. J., von Saal, F. S. & Swan, S. H. 2009. Review. Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 364, 2153–2166. doi:10.1098/rstb.2009.0053
- Vega Cendejas, M. E. 2019. Ecología Funcional: Hacia la Comprensión Funcional de los Ecosistemas y de su Biodiversidad. In: Rivera-Arriaga, E., P. Sánchez-Gil y J. Gutiérrez (Eds.). Tópicos de Agenda para la Sostenibilidad de Costas y Mares Mexicanos. Universidad Autónoma de Campeche, pp. 23-41
- Vidal, L., Molina, A. & Duque, G. 2021. Increase in microplastic pollution in the surface waters of Buenaventura Bay, Colombian Pacific. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 50(2), 113-132. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2021.50.2.1032>
- Wessel, C., Lockridge, G., Battiste, D. and Cebrian, J. 2016. Abundance and characteristics of microplastics in beach sediments: Insights into microplastic accumulation in northern Gulf of Mexico estuaries. *Marine Pollution Bulletin*, 109, 178–183. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.002>

- Williamson, C. E., W. Dodds, T. K. Kratz, and M. A. Palmer. 2008. Lakes and streams as sentinels of environmental change in terrestrial and atmospheric processes. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6:247-254. <https://doi.org/10.1890/070140>.
- Wu, F., Pennings, S. C., Tong, C., & Xu, Y. 2019. Variation in microplastics composition at small spatial and temporal scales in a tidal flat of the Yangtze Estuary, China. *Science of The Total Environment*, 134252. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.134252
- Yonkos, L. T., Friedel, E. A., Perez-Reyes, A. C., Ghosal, S., & Arthur, C. D. 2014. Microplastics in Four Estuarine Rivers in the Chesapeake Bay, U.S.A. *Environmental Science & Technology*, 48(24), 14195–14202. doi:10.1021/es5036317
- Zar, J. H. 2010. *Biostatistical Analysis*. 5th Ed. Pearson Prentice Hall. New Jersey
- Zhang, J., Zhang, C., Deng, Y., Wang, R., Ma, E., Wang, J., ... Zhou, Y. 2019. Microplastics in the surface water of small-scale estuaries in Shanghai. *Marine Pollution Bulletin*, 149, 110569. doi:10.1016/j.marpolbul.2019.110569
- Zhao, S., Zhu, L., Wang, T., & Li, D. 2014. Suspended microplastics in the surface water of the Yangtze Estuary System, China: first observations on occurrence, distribution. *Marine pollution bulletin*, 86(1-2), 562–568. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.032>